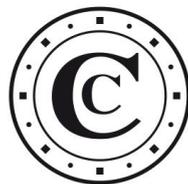


Cour des comptes



COMPARAISON DE 10 STRATÉGIES NATIONALES SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Avril 2023

Sommaire

Introduction.....	5
Chapitre I La position dominante américaine, concurrencée par la Chine, est une forte contrainte que les stratégies nationales des autres pays prennent toutes en compte.	7
Chapitre II L’Union européenne intervient de façon croissante, pour réguler les usages, financer la recherche, poser de nouvelles règles pour la gestion des données européennes et favoriser l’émergence de champions européens industriels	15
I - Des règles normatives communes encadrant l’usage	17
A - La proposition de règlement établissant des règles harmonisées en matière d’intelligence artificielle	17
B - La législation sur les marchés numériques (<i>Digital Markets Act</i> , DMA)	18
C - La législation sur les services numériques (<i>Digital services Act</i> , DSA)	19
II - Les programmes budgétaires de soutien à la recherche contenant une partie réservée à l’IA.	19
A - Le programme Horizon 2020 (2014 – 2020) et le programme Horizon Europe (2021-2027).....	20
B - Le programme pour une Europe numérique (<i>Digital Europe</i>).....	21
C - Le programme UE pour la santé (<i>EU4Health</i>).....	21
D - Le développement d’une nouvelle capacité « de calcul européenne.....	22
III - De nouvelles règles pour la gestion des données européennes et l’émergence de champions européens industriels.	22
A - Favoriser une gestion européenne des données	22
B - Les projets importants d’intérêt européen commun (PIIEC).	24
C - Le contrôle des acquisitions étrangères dans l’UE.....	25
Chapitre III La stratégie nationale française n’est pas en décalage par rapport à celles des pays examinés.....	27
I - La stratégie nationale française ne paraît décalée ni dans le temps, ni dans sa forme.	27
II - Sur le fond, les stratégies nationales de ces dix pays traitent toutes des mêmes thèmes que la stratégie nationale française.	30
A - Le renforcement d’un nombre ciblé de centres de compétences transdisciplinaires pour la recherche en IA est une tendance générale.....	30
B - Les programmes de création de chaires.....	31
C - Le développement de la formation	32
D - Le développement de capacités de calcul pour les laboratoires de recherche publics est partout recherchée	34

E - Le renforcement de l'attractivité.....	36
F - La coopération partenariale internationale.....	37
G - Le transfert des résultats de la recherche vers le monde économique.....	38
H - Les règles d'usage et les normes.	40
Annexes.....	43

Introduction

La Cour a examiné d'autres stratégies nationales sur l'intelligence artificielle. Pour ce faire, elle s'est appuyée sur les services techniques et de coopération et les services économiques de nos ambassades dans une dizaine de pays. Les pays ont été choisis en fonction de leur importance, de la nécessité d'un minimum de disponibilité et de fiabilité des sources ainsi que d'un socle minimum de convergence sur les règles en matière d'usage de l'IA. Au total, l'étude a porté sur deux pays du continent Nord-américain (États-Unis, Canada), six pays européens, dont quatre de l'Union européenne (Allemagne, Finlande, Italie, Pays-Bas) et deux proches de l'Union européenne (Royaume-Uni, Suisse) et enfin deux du reste du monde (Israël, Japon). Des questionnaires ont été envoyés au premier semestre 2022 à nos ambassades. Une mission sur place a été organisée en plus par l'ambassade de France à Berlin. La Cour tient à souligner la très grande qualité des échanges avec nos ambassades et des réponses apportées dans un délai très court et tient à les en remercier. Elle remercie aussi l'ambassadeur pour le numérique qu'elle a rencontré. Bien entendu, les analyses développées dans ce commentaire n'engagent pas les postes diplomatiques français.

La Cour a aussi examiné l'action de l'Union européenne, compte tenu de son importance pour la stratégie nationale française. Elle a eu de nombreux contacts avec notre Représentation permanente auprès de l'Union européenne, le Secrétariat général des affaires européennes et la Commission européenne. Encore une fois, la Cour tient à remercier ces interlocuteurs pour la qualité de leur contribution.

Pour résumer les conclusions de ces comparaisons, il est d'abord nécessaire de rappeler le rôle de deux autres acteurs : les États-Unis, dont la position dominante est une forte contrainte pour tous les autres pays et la Chine, très fort compétiteur. C'est dans ce contexte que l'Union européenne intervient de façon croissante, pour réguler les usages, financer la recherche et favoriser l'émergence d'une gestion des données européennes et d'une industrie en Europe autour de l'IA. Ce sont, comme on le verra, des interventions indispensables pour consolider les stratégies nationales européennes, dont la stratégie nationale française.

À partir, ensuite, des exemples de stratégies nationales, quelques caractéristiques communes se dégagent. Elles montrent que la stratégie nationale française n'est pas en décalage par rapport à la tendance mondiale, ni dans le temps, ni dans les thèmes dont elle traite.

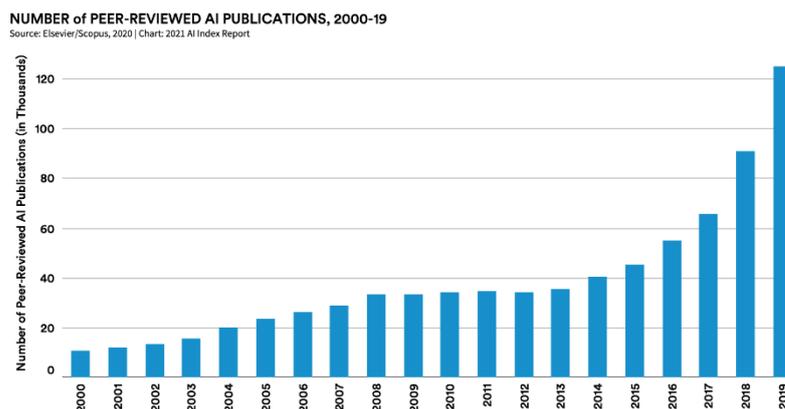
Chapitre I

La position dominante américaine, conurrencée par la Chine, est une forte contrainte que les stratégies nationales des autres pays prennent toutes en compte.

La position dominante américaine est une évidence, mais elle mérite d'être rappelée car la recherche en intelligence artificielle dans les autres pays est sous cette forte contrainte. Les acteurs américains dominent dans tous les segments, avec une forte concurrence de la Chine. Pour l'Europe, il y a asymétrie.

Nous dressons ici une vue d'ensemble de la production scientifique en IA dans le monde et aux États-Unis, de 2000 à 2020, en nous référant au *AI Index Report* de l'Université Stanford ainsi qu'à la base de données *Lens.org*. Le graphique ci-dessous montre la progression des publications scientifiques en IA depuis 2000, avec une croissance qui devient exponentielle (doublement tous les trois ans) à partir de 2015. Les publications en IA ont représenté 3,8 % des publications scientifiques totales en 2019, contre 1,3 % en 2011.

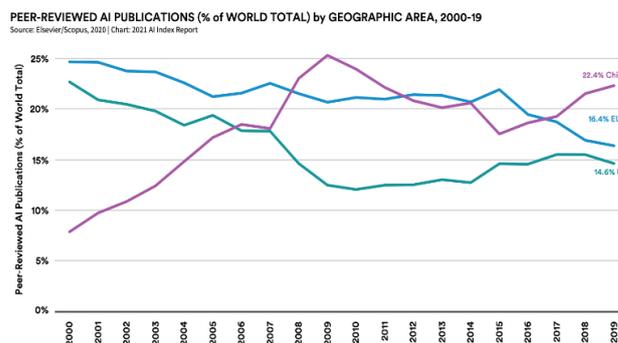
Graphique n° 1 : évolution du nombre de publications scientifiques en IA dans le monde 2000-19 revues par les pairs



Source : Elsevier/Scopus 2020- AI index report 2021

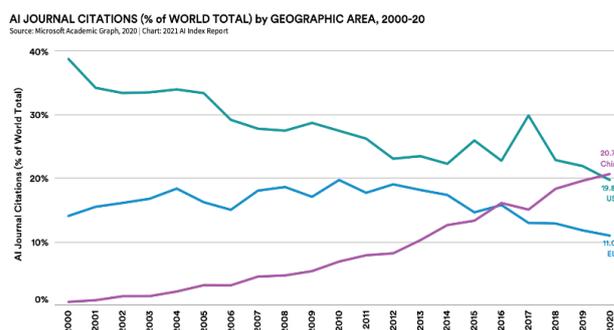
Si les États-Unis conservent une production très élevée en matière de publications en intelligence artificielle (18 000 en 2019), ils ont été rattrapés, et même dépassés, par la Chine dans la plupart des domaines de recherche en IA. La Chine a publié beaucoup plus d'articles de recherche en IA que les États-Unis en 2020 (22 % du total, contre 14,6 %). En revanche, en termes de citations, la Chine et les États-Unis sont au coude-à-coude, ce qui semble indiquer une meilleure qualité des publications américaines.

Graphique n° 2 : part dans le total mondial des publications sur l'AI revues par les pairs



Source : Elsevier/Scopus 2020- AI index report 2021

Graphique n° 3 : part dans le total mondial des citations de publications scientifiques sur l'IA revues par les pairs

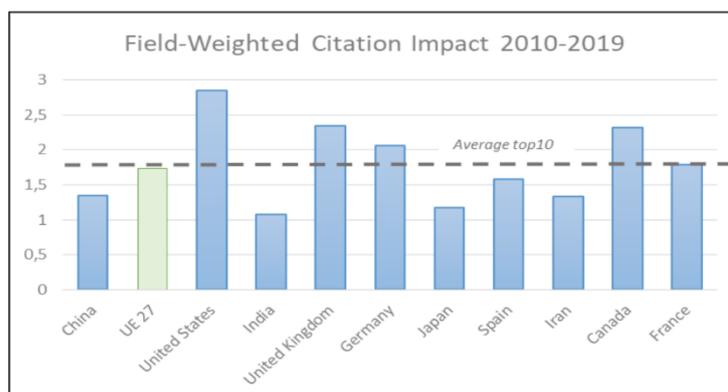


Source : Microsoft Academic Graph, 2020 et 2021 AI index report

Afin d'évaluer plus précisément la qualité de la recherche au sein d'un pays, nous pouvons nous référer au *Field-Weighted Citation Impact* (FWCI), qui permet de mesurer l'impact des publications scientifiques qui ont été publiées. Un score de 1 représente la moyenne mondiale, tandis qu'un score supérieur signifie que l'on publie mieux que la moyenne¹. Ainsi, bien que la Chine publie le plus en IA, la qualité de ses papiers reste faible par rapport à l'Europe et aux États-Unis. *A contrario*, les États-Unis se situent dans la tranche haute en ce qui concerne la qualité des publications (2,84 contre 1,35 pour la Chine). Ceci, couplé à la grande quantité de papiers publiés, semble indiquer que les États-Unis demeurent le pays le plus influent pour la recherche en IA, bien que l'Europe et la Chine s'en rapprochent.

¹ Par exemple, un score de 1,5 indique que l'on publie 1,5 fois plus que la moyenne mondiale

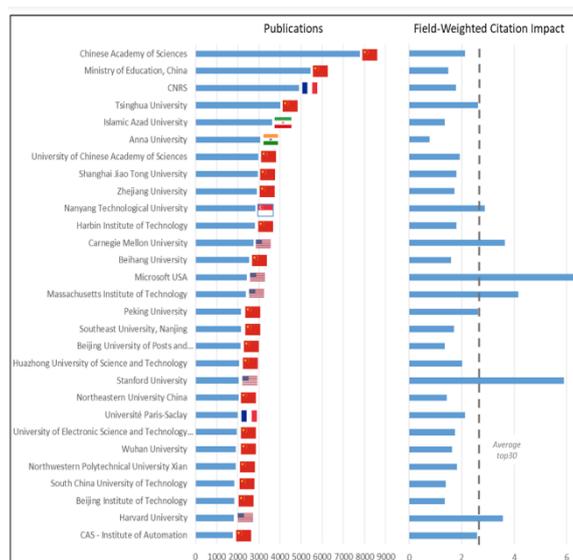
Graphique n° 5 : indice d'impact des publications scientifiques (FWCI – Field Weighted Citation impact)



Source : AI index report

Le rapport produit par le *think-tank Macro Polo*, qui s'intéresse au *top tier AI researchers* (les 20 % les meilleurs selon certains critères quantitatifs), contient aussi des indications intéressantes par institution :

Graphique n° 6 : les meilleures institutions pour les publications en IA dans le monde

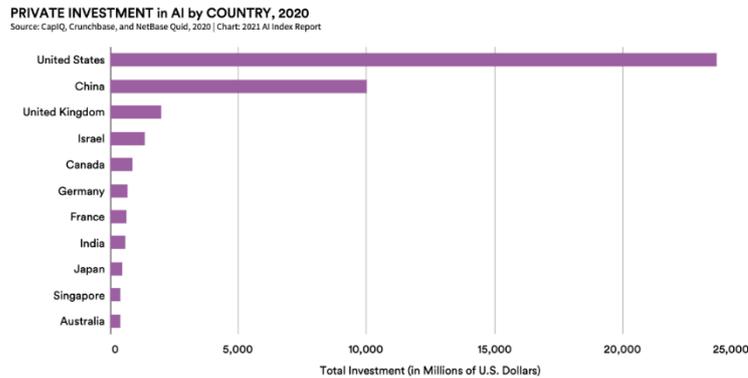


Source : think tank Macro Polo

Le secteur privé américain enfin est très dynamique en IA et investit massivement dans cette technologie, comme le montrent les trois graphiques ci-dessous.

Les entreprises américaines y ont investi 23,5 Md\$ en 2020, contre 10 Md \$ pour la Chine (n° 2) et à peine 2 Md\$ pour l'Europe (n° 3). Les États-Unis pèsent ainsi pour près de 55 % de l'investissement privé en IA dans le monde.

Graphique n° 7 : investissement du secteur privé en IA par pays, 2020

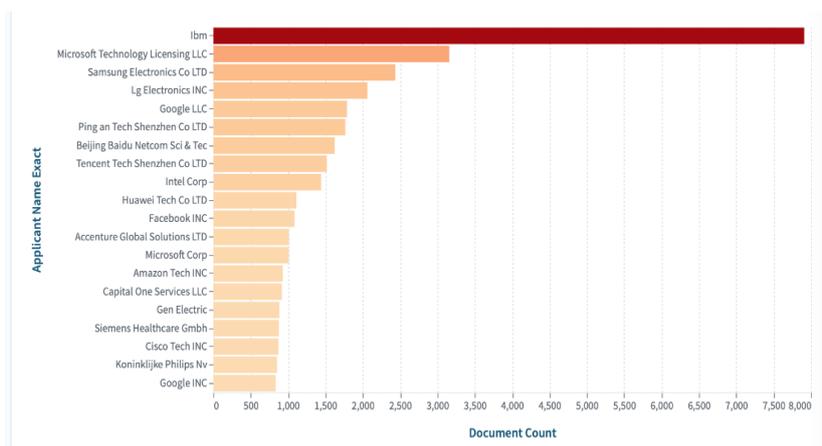


Source : CapIQ, Crunchbase and NetBase Quid, 2020 - 2021 AI Index Report

Les grands acteurs américains du numérique sont tous très impliqués dans l'IA. Nous avons en tête les GAFAMI : Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft et IBM. Ils dominent déjà largement le marché avec leurs homologues chinois des BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi) et Huawei. Les GAFAMI publient presque tous leurs algorithmes d'IA en open-source. Ces grandes entreprises se distinguent surtout par la qualité des données d'entraînement et l'efficacité de leur modèle économique.

En observant le classement des entreprises par le nombre de dépôts de brevets en IA, les États-Unis et la Chine sont au même niveau (sept entreprises dans le top 20 pour chaque pays). Néanmoins, si on prend en compte que la plupart des grandes entreprises chinoises sont largement subventionnées et accompagnées par l'État, que les publications de recherche des GAFAMI sont davantage citées et qu'ils exportent bien plus leurs solutions dans le reste du monde que leurs homologues chinois, l'écosystème américain de la tech reste le plus dynamique et le plus influent.

Graphique n° 8 : meilleures entreprises en matière de dépôt de brevets en IA dans le monde



Source : rapport Mapping U.S. Multinationals' Global AI R&D Activity (CSET)

La carte suivante, issue de rapports du CSET² illustrent la répartition géographique des entreprises de l'IA dans le pays.

²<https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Privately-Held-AI-Companies-by-Sector.pdf>

Carte n° 1 : pourcentage des États fédérés dans le total des entreprises IA

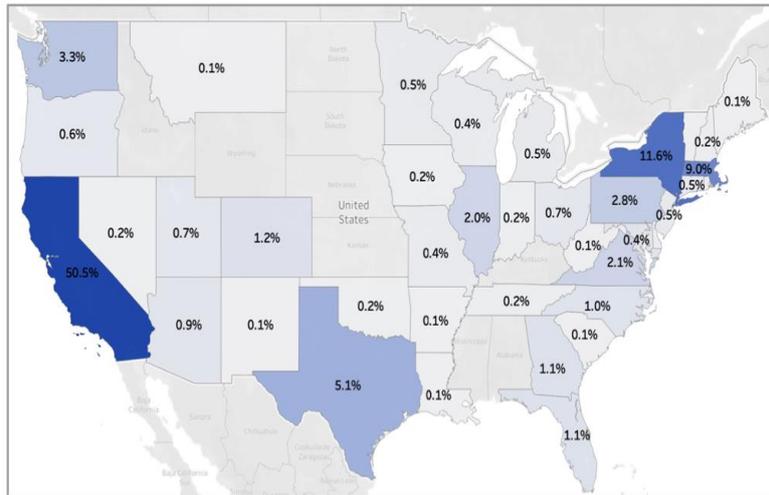


Figure 2 shows the percentage total of AI companies by state.

Source : CSET

Concernant les montants globaux investis, le rapport *Private Equity Investment in Artificial Intelligence* de l'OCDE donne aussi quelques ordres de grandeur. On en extrait notamment le tableau suivant (start-up) qui montre l'importance du financement américain : un investissement 70 fois plus important que celui de la France, ce qui, ramené à l'échelle des pays, représente quatre fois plus d'investissement.

Tableau n° 1 : total des investissements des start-up, par pays et par secteur, 2012-2020, en M\$

Total investments from 2012 to 2020 by industry and country of start-up, in USD millions

	Mobility and autonomous vehicles	Healthcare, drugs and biotechnology	Business processes and support services	IT infrastructure and hosting	Media, social platforms, marketing	Financial and insurance services	Digital security	Robots, sensors, IT hardware	Logistics, wholesale and retail	Consumer products	Construction and air conditioning	Education and training activities	Other	Total
United States	52 423	21 866	19 510	18 029	13 027	12 076	10 534	5 880	6 627	5 081	2 193	1 643	4 624	173 513
United Kingdom	163	1 599	1 611	1 259	1 275	1 960	650	788	101	43	7	54	58	9 567
Israel	217	906	302	1 129	517	120	925	1 294	151	22	40		304	5 926
Germany	122	505	718	455	746	1 276	167	187	30	5	14	63	386	4 675
Canada	30	709	364	796	745	405	56	451	108	39		25	495	4 224
Japan	814	272	509	653	577	497	60	234	40	58	20	100	110	3 944
France	94	402	196	451	673	265	93	56	166	81	65	18	25	2 585

Source : OCDE - Private Equity Investment in Artificial Intelligence rapport

Chapitre II

L'Union européenne intervient de façon croissante, pour réguler les usages, financer la recherche, poser de nouvelles règles pour la gestion des données européennes et favoriser l'émergence de champions européens industriels

Ces interventions sont indispensables pour consolider les stratégies nationales européennes.

Le 21 avril 2021, la Commission a franchi une nouvelle étape dans le développement d'une politique européenne propre dans le domaine de l'Intelligence artificielle (IA). D'une part, elle a proposé un cadre juridique sur l'IA³. Ces nouvelles règles, lorsqu'elles seront adoptées, seront directement applicables dans tous les États membres. D'autre part, la Commission a publié en 2021 un nouveau plan coordonné 2021 sur

³<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/DOC/?uri=CELEX:52021PC0206&from=FR>. Doct COM (2021) 206 final. Proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil établissant des règles harmonisées concernant l'intelligence artificielle (législation sur l'intelligence artificielle) et modifiant certains actes législatifs de l'Union.

l'intelligence artificielle⁴. Il s'agit d'un engagement conjoint de la Commission et des États membres. Il définit les domaines de coopération et encourage les États membres à développer des plans stratégiques nationaux. Les axes de travail sont déclinés autour de quatre thèmes principaux⁵ : poser les conditions permettant le développement de l'IA, faire de l'Europe le lieu de l'excellence du laboratoire au marché, assurer que l'IA est une force positive pour la société, construire des stratégies de *leadership* dans les secteurs à fort impact. Cette approche est complétée par de nouvelles règles concernant les machines⁶, qui visent à accroître la confiance des utilisateurs dans la nouvelle génération polyvalente de produits en adaptant les dispositions relatives à la sécurité.

2021 est une étape majeure dans l'affirmation d'une véritable stratégie de construction d'un pôle européen. Mais il est utile de rappeler les étapes précédentes, marquées par différents textes et documents d'orientation ou normatifs. L'Union européenne n'a en effet pas découvert le domaine de l'IA en 2021. Les principales étapes précédentes ont été les suivantes :

- 2018 : publication de la stratégie européenne en matière d'intelligence artificielle⁷ et du premier plan coordonné⁸ qui vise 20 Md€ d'investissements publics et privés ;
- 2019 : lignes directrices pour une IA digne de confiance⁹, élaborées pour la Commission européenne par un groupe d'experts indépendants de haut niveau sur l'IA ;
- 2020 : liste d'évaluation pour une IA digne de confiance, élaborée aussi par le groupe d'experts ;
- 2020 : livre blanc de la Commission sur l'IA, accompagné d'un rapport sur les conséquences de l'IA, de l'internet des objets et de la robotique sur la sécurité et la responsabilité.

Il faut aussi signaler que la Commission européenne fournit différents instruments permettant d'avoir une vue globale ou particulière

⁴<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/coordinated-plan-artificial-intelligence-2021-review>. Doct COM (2021) 205 final Fostering a European approach to Artificial Intelligence.

⁵ COM (2021) 205 final du 21 avril 2021.

⁶ COM(2021)202 Proposition de règlement relatif aux machines.

⁷ COM (2018) 237.

⁸ COM(2018) 795.

⁹ COM (2019) 168 final.

sur le domaine de l'IA et du numérique. Ainsi, le portail *AI Watch* peut-il être interrogé sur les capacités industrielle, technologique et de recherche, et les initiatives politiques dans les États membres. Le DESI (*Digital Economy and Society Index*) est un rapport publié chaque année par la Commission sur le domaine numérique (économie et société) qui contient des données détaillées agrégées et par États-membre. La plateforme Cordis concerne plus particulièrement le programme Horizon 2020 (2014-2020).

La question des règles d'usage et des normes a pris de l'ampleur avec la montée en puissance des usages et l'utilisation d'un volume croissant de données pour les recherches. Aux États-Unis, l'approche est celle de la *light touch regulation*. Cette approche, encouragée par les GAFAM, a eu tendance à s'imposer. Elle pose un problème en Europe, aggravé par la nature extraterritoriale de certaines législations américaines.

L'approche européenne est différente. Elle repose sur l'idée d'IA de confiance, ce qui implique de poser un cadre européen pour l'usage des données.

Au total, l'UE intervient pour soutenir les stratégies nationales de trois façons : en définissant des règles normatives communes encadrant l'usage, en instituant divers programmes budgétaires de soutien à la recherche, en posant de nouvelles règles pour favoriser une gestion européenne des données et l'émergence de champions européens industriels.

I - Des règles normatives communes encadrant l'usage

A - La proposition de règlement établissant des règles harmonisées en matière d'intelligence artificielle

La proposition est sans préjudice du règlement général sur la protection des données¹⁰ et de la directive en matière de protection des données dans le domaine répressif¹¹, mais elle complète ces actes avec un ensemble de règles harmonisées concernant la conception, le développement et l'utilisation de certains systèmes d'IA.

¹⁰ Règlement (UE) 2016/679, le RGPD.

¹¹ Directive (UE) 2016/680.

L'approche de la proposition de règlement est fondée sur les risques et distingue quatre niveaux pour les systèmes d'IA : risque inacceptable, risque élevé, risque limité, risque minime.

Ce cadre juridique, en cours d'examen au Conseil et au Parlement européen, s'appliquera pour tout système d'IA mis sur le marché dans l'Union ou dont l'utilisation a une incidence sur des personnes situées dans l'UE. La classification des risques repose sur la finalité assignée au système d'IA, conformément à la législation existante de l'UE en matière de sécurité des produits. Les États membres seront chargés de l'application et d'un contrôle du respect du règlement. La proposition de règlement prévoit des sanctions en cas de non-respect, en millions d'euros et en pourcentage du chiffre d'affaires mondial total réalisé au cours de l'exercice précédent. Un comité européen de l'intelligence artificielle sera constitué de représentants des États membres et d'experts indépendants. Il formulera des recommandations et avis à l'intention de la Commission concernant les systèmes d'IA à haut risque. Les fournisseurs d'applications qui ne sont pas à haut risque pourront garantir que leur système d'IA est digne de confiance en élaborant leur propre code de conduite volontaire ou en adhérant au code de conduite d'une association représentative.

Deux points sont importants pour les stratégies nationales des États membres en matière de recherche en IA : les systèmes et applications d'IA importés devront être conformes à ce cadre, et la proposition de législation prévoit une gouvernance pyramidale du contrôle du respect de la règle.

B - La législation sur les marchés numériques (*Digital Markets Act, DMA*)

Présentée par la Commission en décembre 2020, après avoir été examiné et amendé par le Conseil et le Parlement européen, elle est entrée en vigueur à compter du 1^{er} janvier 2023.

Le règlement *Digital Markets Act* (DMA) vise à renforcer la contestabilité et l'équité des marchés sur lesquels opèrent les grandes plateformes numériques (les contrôleurs d'accès ou *gatekeepers* en anglais), en leur imposant des règles comportementales *ex ante*. Le DMA est le premier texte systémique appréhendant les stratégies, répandues dans les marchés de l'économie numérique, d'enfermement des utilisateurs, consommateurs et entreprises, dans leurs écosystèmes par des acteurs « incontournables », sans permettre l'émergence d'offres alternatives. Une dizaine de *gatekeepers* qualifiés sur la base de seuils quantitatifs et qualitatifs seront assujettis à une série d'obligations et d'interdictions

encadrant leurs comportements sur les marchés concernés. Le règlement sera mis en œuvre par la Commission.

C - La législation sur les services numériques (*Digital Services Act, DSA*)

La législation sur les services numériques (en anglais : *Digital Services Act, DSA*), est un texte législatif proposé par la Commission européenne. C'est une proposition sœur de la législation sur les marchés numériques (*Digital Markets Act, DMA*). La législation est entrée en vigueur au début de 2023.

La législation sur les services numériques (DSA) a pour objectif de renforcer la lutte contre les contenus illicites et préjudiciables publiés et diffusés *via* les plateformes. Si le DSA, comme c'est la règle actuellement, maintient que les sociétés qui hébergent des données de tiers ne sont pas responsables de leur contenu à moins qu'elles sachent qu'il est illégal¹¹, le nouveau texte introduit de nouvelles obligations visant à contraindre l'hébergeur à retirer un contenu déclaré comme illégal. Le nouveau texte permet également aux régulateurs de vérifier la façon dont fonctionnent les algorithmes, dont les décisions de retrait de contenus sont prises et dont les publicitaires ciblent les usagers. La plupart de ces mesures s'appliquent seulement aux plateformes qui ont plus de 45 M d'utilisateurs dans l'Union européenne. Parmi ces plateformes figurent : Facebook, YouTube, Twitter et TikTok.

II - Les programmes budgétaires de soutien à la recherche contenant une partie réservée à l'IA.

Les deux principaux programmes sont les programmes Horizon Europe et Pour une Europe numérique (*Digital Europe*). La Commission prévoit d'investir 1 Md€ par an dans l'intelligence artificielle par ces deux programmes. Mais il y a aussi le programme européen pour la santé et l'investissement dans le cadre de l'entreprise commune EuroHPC pour un supercalculateur européen.

A - Le programme Horizon 2020 (2014 – 2020) et le programme Horizon Europe (2021-2027)

Horizon 2020 comprenait trois piliers : l'excellence scientifique, la primauté industrielle et les défis sociétaux. Le pilier 1 « excellence scientifique » inclut le Conseil européen de la recherche, les technologies futures et émergentes (au sein du *Human Brain Project*) et les actions Marie Skłodowska-Curie. Le pilier 2 « primauté industrielle » recouvre en particulier les TIC, les nanotechnologies, les matériaux avancés, les biotechnologies, les systèmes de fabrication et de traitement avancés et l'espace. Enfin, le pilier 3 « défis sociétaux » inclut particulièrement la santé, l'évolution démographique, le bien être, la sécurité alimentaire, l'agriculture durable, la recherche marine et maritime et la bio-économie, les énergies sûres propres et efficaces, les transports intelligents, verts et intégrés, la lutte contre le changement climatique, l'utilisation efficace des ressources et les matières premières et la notion de société inclusives, novatrices et sûres. Le total des financements a été de l'ordre de 80 Md€. L'analyse des bénéficiaires est possible depuis la base de données *Cordis dashboard*.

Horizon Europe, qui lui a succédé, a aussi trois piliers : le pilier I l'excellence scientifique (Conseil européen de recherche, les actions Marie Skłodowska-Curie, les infrastructures de recherche), le pilier II (*clusters* 1 santé, 2 culture créativité et société inclusive, 3 sécurité civile pour la société 4 digital, industrie et espace, 5 climat, énergie et mobilité, 6 alimentation bioéconomie ressources naturelles agriculture et environnement, ainsi que le centre de recherche commun) et le pilier III sur l'Europe plus innovante (conseil européen de l'innovation, écosystèmes européens d'innovation). Enfin, il y a un pilier transversal qui a pour objet l'élargissement de la participation et le renforcement de l'espace européen de la recherche. L'enveloppe sur la période prévue est de l'ordre de 100 Md€.

Dans Horizon Europe, dans le pilier II, c'est plus particulièrement dans le *cluster* 4 (digital, industrie et espace) que la recherche en IA sera financée. Pour le budget 2021/2022, dans ce *cluster* 4, la Commission estime que 29 % des 4 278 M€ prévus, soit 1 245 M€, sont destinés à la recherche en IA.

B - Le programme pour une Europe numérique (*Digital Europe*)

Le programme pour une Europe numérique (*Digital Europe*) est un nouveau programme de financement axé sur l'introduction de la technologie numérique auprès des entreprises, des citoyens et des administrations publiques. Il complète le financement disponible au titre d'autres programmes de l'UE, tels que Horizon Europe et le MIE, le mécanisme pour la relance et la résilience et les fonds structurels. Il vise les projets dans cinq domaines clés (supercalculateurs, IA, cyber sécurité, technologies numériques, compétences numériques avancées). Des travaux sont en cours pour lui assigner un sixième objectif de financement de semi-conducteurs, en lien avec le règlement sectoriel en négociation. L'enveloppe pour les cinq objectifs a été arrêtée à 7,5 Md€ pour la période 2021-2027.

Le 10 novembre 2021, la Commission a adopté trois programmes de travail dans ce cadre, pour un financement total de 1,98 Md€. Le principal programme de travail doté d'une enveloppe de 1,38 Md € se concentrera sur les investissements dans les domaines de l'IA, de l'informatique en nuage et des espaces de données, des infrastructures de communication quantique, des compétences numériques avancées et de l'élargissement de l'utilisation des technologies numériques dans l'ensemble de la société, jusqu'à la fin de 2022.

Parallèlement à ce programme de travail principal, la Commission a publié deux programmes de travail spécifiques : le premier doté d'un budget de 269 M€ jusqu'à la fin de 2022, axé sur le financement de projets dans le domaine de la cybersécurité, le second sur le fonctionnement du réseau de pôles européens d'innovation numérique (budget 329 M€) jusqu'à la fin de 2023).

C - Le programme UE pour la santé (*EU4Health*)

Ce programme dispose d'un budget de 5,3 Md€ (prix courants). Il vise quatre objectifs généraux et 10 objectifs spécifiques. L'objectif 4 « renforcer les systèmes de santé et leur résilience et améliorer l'utilisation efficace des ressources » comprend l'objectif spécifique renforcer les données relatives à la santé, les outils et services numériques et la transformation numérique des soins de santé ». Le programme l'UE pour

la santé est mis en œuvre au moyen de programmes de travail annuels. Le programme pour 2021 a été adopté¹².

D - Le développement d'une nouvelle capacité » de calcul européenne

Dans le cadre de l'entreprise commune EuroHPC (supercalculateur européen), la France s'est montrée intéressée par l'hébergement d'un supercalculateur exascale, et ce, avant même la négociation du Règlement au Conseil en 2021 (*Règlement (UE) 2021/1173 du Conseil du 13 juillet 2021 établissant l'entreprise commune pour le calcul à haute performance européen et abrogeant le règlement (UE) 2018/1488*). Elle prépare ainsi un projet de candidature pour héberger sur son territoire un supercalculateur exascale, qui sera déposé lorsque l'appel à projets sera lancé. Cet appel à projets devrait être ouvert fin 2022, ce qui amène à envisager une ouverture du supercalculateur aux utilisateurs fin 2024/début 2025. Il est à ce stade envisagé que la candidature française soit portée et déposée par GENCI, associé au CEA en tant que site d'hébergement.

III - De nouvelles règles pour la gestion des données européennes et l'émergence de champions européens industriels.

A - Favoriser une gestion européenne des données

La stratégie sur les données du 19 février 2020 pour une Europe adaptée à l'ère numérique, qui a pour objectif le développement d'une économie européenne de la donnée, notamment à la faveur du développement du marché des données industrielles, vise à proposer un cadre de gouvernance intersectorielle pour l'accès et l'utilisation des données, investir dans les infrastructures afin de développer l'interopérabilité et les capacités à héberger et traiter les données dans le but de créer un marché européen d'informatique en nuage, développer les compétences liées aux données et, enfin, créer des espaces européens communs dans des secteurs clés et des domaines d'intérêt public (industrie, environnement, mobilité, santé, finance, énergie, agriculture, etc.).

¹² C(2021) 4793 final, du 24 juin 2021.

1 - La proposition de règlement sur la gouvernance européenne des données (règlement sur la gouvernance des données) (novembre 2020)

Afin de stimuler la production et le partage des données au sein du marché intérieur, la Commission a publié, le 25 novembre 2020, une proposition de règlement sur la gouvernance des données (*Data Governance Act*, DGA), qui constitue l'une des premières déclinaisons opérationnelles de la stratégie européenne pour les données. Ce règlement, adopté le 30 mai 2022 par le Conseil et le Parlement européen, fixe notamment les conditions de réutilisation, au sein de l'Union, de certaines catégories de données détenues par des organismes publics et privés, fixe un cadre d'autorisation pour de nouveaux acteurs que seront les « services d'intermédiation de données » afin d'accroître la confiance dans la fourniture de services de partage de données au sein de l'Union et d'éviter la fragmentation du marché intérieur, et fixe les règles de la collecte et le traitement de données mises à disposition à des fins altruistes par des personnes ou des entreprises. Des dispositions ayant pour but de limiter l'exposition aux législations extraterritoriales et de promouvoir le recours aux traités d'entraide judiciaire dans le cadre des demandes d'accès provenant d'autorités non européennes sont aussi prévues.

2 - La proposition de règlement fixant des règles harmonisées pour l'équité de l'accès aux données et de l'utilisation des données (règlement sur les données1) (février 2022)

La proposition de règlement sur les données (*Data Act*), publiée le 23 février 2022, est la deuxième grande initiative législative de la stratégie européenne pour les données de février 2020, après le règlement sur la gouvernance des données. Elle vise à établir un droit d'accès et de portabilité des données produites par les objets connectés, à définir les conditions et les modalités selon lesquelles les organismes publics et de l'Union peuvent accéder aux données détenues par les entreprises, dans des circonstances exceptionnelles, instaurer un droit pour les utilisateurs à la portabilité de leurs données entre services d'informatique en nuage (*cloud*), imposer des obligations aux fournisseurs de *cloud* destinées à réduire l'exposition aux accès internationaux illégaux des données hébergées dans l'UE et imposer aux opérateurs d'espaces de données et aux services de traitement de données de développer des standards et spécifications techniques permettant l'interopérabilité des données et services.

3 - *Cloud* souverain

Sous l'impulsion de la France et de l'Allemagne dès 2019, le projet d'infrastructure sécurisée de données européennes de nouvelle génération GAIA-X a été lancé. Une déclaration commune des 27 États membres a, en outre, été signée le 15 octobre 2020, afin de lancer une alliance européenne pour les données industrielles et le *cloud*. Enfin, un « projet important d'intérêt européen commun » (PIIEC) sur les infrastructures et services *cloud* de nouvelle génération, initié par la France et l'Allemagne et réunissant 11 États membres, a été pré-notifié en avril 2022. En parallèle, le règlement sur la cybersécurité (UE) 2019/881 prévoit la mise en place de schémas européens de certification dont la préparation a été confiée à l'agence européenne chargée de la sécurité des réseaux et de l'information (ENISA), qui s'appuie sur les travaux du groupe européen de certification de cybersécurité (GECC) dont l'avis n'est pas contraignant. L'une des questions posées pour ces schémas concerne le critère d'immunité aux lois extraterritoriales du schéma européen pour le *cloud* (*European Cybersecurity Certification Scheme for Cloud Services*, EUCS).

B - Les projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC).

Le soutien public apporté par les États membres aux projets d'entreprise participant à un PIIEC constitue une aide d'État en vertu des règles de l'UE. Il s'agit d'une application de l'article 107, paragraphe 3, point b) du TFUE¹³.

Le 25 novembre 2021, la Commission a adopté une communication révisée sur les règles en matière d'aides d'État en faveur de projets importants d'intérêt européen commun (la « communication PIIEC »). Elle s'applique depuis le 1^{er} janvier 2022. Elle établit des critères au regard desquels la Commission devra apprécier le soutien octroyé par les États membres au PIIEC transfrontière qui permettent de remédier aux défaillances du marché et favorisent une innovation de rupture dans des secteurs et technologies clés, ainsi que les investissements dans les infrastructures, et qui ont des répercussions positives sur l'économie de l'UE au sens large. Certains PIIEC concernent la filière numérique, et donc sa composante intelligence artificielle.

Deux PIIEC sont plus particulièrement axés sur des objectifs numériques :

¹³ Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne.

- électronique/connectivité : objectif de redévelopper en Europe la production d'intrants essentiels aux produits numériques et dans l'industrie plus généralement ;
- *cloud* : objectifs de renforcer la souveraineté numérique européenne, renforcer la filière européenne du *cloud* et doter l'Europe des infrastructures et des services *cloud* considérés comme essentiels pour prendre part aux innovations majeures liées à la numérisation de la société.

C - Le contrôle des acquisitions étrangères dans l'UE.

Le cadre européen pour le filtrage des investissements directs étrangers (IDE) est devenu opérationnel le 11 octobre 2020. Le 25 mars 2020, la Commission avait publié des orientations à l'intention des États membres, appelant notamment tous les États membres à mettre en place un mécanisme de filtrage.

Chapitre III

La stratégie nationale française n'est pas en décalage par rapport à celles des pays examinés

I - La stratégie nationale française ne paraît décalée ni dans le temps, ni dans sa forme.

Dans tous les pays examinés, la numérisation des usages a fait sentir massivement ses effets dans tous les domaines à partir du début des années 2010. Le développement de nouveaux algorithmes a suivi à marche forcée. Au milieu des années 2010, la question des règles d'usage est apparue avec la montée en puissance non pas linéaire mais exponentielle de certains opérateurs économiques, ce qui a entraîné une réflexion et des orientations des États. Souvent, il y a d'abord eu de premiers documents de « stratégie numérique ». Puis, à partir de 2016-2017, les premiers documents de la famille des « stratégies nationales en IA » sont apparus¹⁴. Depuis, des rapports d'étape et des mises à jour actualisent chacune de ces stratégies.

Partout, une action publique existait avant (financement et organisation de laboratoires, d'écoles doctorales, des capacités de calcul, etc.). Simplement, il n'y avait pas eu formulation d'une doctrine générale d'action.

¹⁴ États-Unis : trois rapports produits par l'administration Obama entre octobre et décembre 2016, du *NSTC* et de *l'Executive Office of the President*. Japon : 2017. Canada : 2017. Allemagne : 2018. Finlande : 2019. Italie : novembre 2021. Pays-Bas : 2019. Royaume-Uni : 2018. Suisse : 2019. Israël : 2019.

En général, l'origine des documents de stratégie est toujours la même : un comité d'experts, *ad hoc*, du monde de la recherche, associant de façon variable des acteurs privés. Le rapport Villani n'est pas une exception. Il est plutôt la règle. Quelle forme et quel contenu budgétaire ont ces « stratégies nationales de l'IA » ?

Ce sont des documents qui fixent des orientations, définissent des priorités d'action et d'organisation, et qui, lorsqu'ils sont endossés par les autorités publiques, contiennent des indications budgétaires valant pour plusieurs années, avec plus ou moins de précision.

Mais, dans aucun des 10 pays étudiés, la Cour n'a eu connaissance d'un document exhaustif, tant sur le détail des actions fixées, que sur le total des crédits publics dépensés ou engagés, avec un chiffrage sur la base de coûts complets. Cela tient à la multiplicité des acteurs (universités, instituts de recherche, fondations, secteur privé), à la nature pluriannuelle des dépenses (appels à projets, s'ajoutant aux financements « en base »), à la nature partenariale des financements (public et privé). Cela tient, enfin, au périmètre, qui peut lui-même évoluer au cours de la mise en œuvre du document de stratégie

Plus un pays a une stratégie affirmée, plus le document de stratégie nationale débouche sur des chiffrages précis, même incomplets. C'est notamment le cas des États-Unis, dans les documents budgétaires pour le Congrès (dépense civile retracée dans le programme *NITRD*¹⁵), du Canada, qui vient de publier la seconde phase de sa stratégie¹⁶ (juin 2021), de l'Allemagne¹⁷

¹⁵ *Networking and information technology Research and Development*, 1,6 Md€, pour le total des années fiscales 2020 à 2022, sans prendre en compte les dépenses du ministère de la défense, le financement provenant des États, des universités des organisations à but non lucratif et surtout des entreprises. Les données les plus récentes à ce sujet montrent que le financement fédéral ne représente que 20 % du financement de la recherche : près des trois quarts sont portés par le secteur privé. Il n'est pas possible de faire une règle de trois directement pour obtenir les chiffres pour l'IA. Il faut cependant garder ces ordres de grandeur en tête.

¹⁶ Cette deuxième phase de cette stratégie¹⁶ prévoit un investissement de 443 M\$ canadien (335,6 M€ au taux de change du 11 juillet 2022) sur 10 ans, déjà décidé dans le budget annuel 2021. Mais ce montant devrait être augmenté, parce que certaines dépenses ne sont prévues que jusqu'en 2026 et devront être poursuivies après, notamment en faveur des trois centres de compétences à la pointe de la recherche et de la formation.

¹⁷ Au plan budgétaire, l'État allemand avait prévu de débloquer un total de 3 Md\$ pour la mise en œuvre de sa stratégie jusqu'en 2025 avec un effet de levier attendu sur les entreprises, sur la recherche et au niveau des *Länder*, qui permettrait de doubler ces moyens. Mais, dans le cadre de son plan de relance contre la crise de la covid 19, le gouvernement fédéral a promis d'augmenter ses dépenses en IA de 3 Md\$ à 5 Md\$ pour la période 2019-2025. Le gouvernement a jusqu'à présent alloué un total de plus de 3,5 Md\$ pour la période 2019-2025. Sur ce montant, environ 1,5 Md\$ a été inscrit en

(mais il faut ajouter l'action des *Länder*), de la Finlande (annonces d'engagements dans différents documents budgétaires), des Pays-Bas¹⁸ (un volet important du fond national de croissance, qui est un fonds uniquement d'investissement, avec un fort effet de levier), du Royaume-Uni¹⁹ (différentes annonces gouvernementales de 2019 à 2021 après une première stratégie publiée en avril 2018).

Bien sûr, ce lien entre transparence de la dépense publique et effectivité de la stratégie nationale en IA n'est pas sans exception. Aux États-Unis, les programmes de recherches en IA du secteur de la défense sont volontairement opaques. En Israël, le document de stratégie n'a pas encore conduit à un document budgétaire global et la stratégie dans le domaine de la défense (2022) n'a pas été officiellement chiffrée. En Italie, la première stratégie publiée en 2021 n'identifie que des sources de financement « possibles » (certaines ayant depuis été mobilisées, cependant).

Au total, à la lumière de ces caractéristiques formelles, et compte tenu des indications budgétaires qu'elle contient, la stratégie nationale française ne paraît

trois tranches dans les budgets fédéraux de 2019 à 2021. 2 Md\$ supplémentaires ont été mis à disposition dans le cadre du plan de relance contre la crise de la covid-19 et étaient disponibles à partir de juillet 2021 ou seront budgétisés dans le budget fédéral 2022 et au-delà.

¹⁸ Le Fonds national de croissance (FNC) est un programme d'investissement du gouvernement doté d'une enveloppe de 20 Md€ jusqu'en 2025. Dans le cadre de l'appel à projets de 2021 du FNC, le consortium privé AINed, qui met en œuvre la stratégie, a obtenu un premier financement à hauteur de 276 M€ pour réaliser des projets d'intelligence artificielle. La logique inhérente du FNC est que le FNC subventionne 50 % des dépenses induites par les projets, le reste devant émaner d'autres fonds, publics ou privés. L'effet de levier recherché est le doublement de l'enveloppe. Au total, pour la période 2021-2027, au moins 2,1 Md€ de dépenses sont prévues pour des dépenses d'investissement pour NL AIC (*Nederlandse AI Coalitie*, cf. Annexe n° 2 : La Stratégie IA des Pays-Bas) pour la période 2021-2027, dont 1,05 Md€ du fonds national de croissance (fonds publics). À cette enveloppe au titre du FNC, il faut ajouter d'autres annonces qui figurent déjà dans la stratégie de 2019, de l'ordre de 45 M€ par an (différents programmes sectoriels, portés par différents ministères), ainsi que les 18 M€ pour les capacités de calcul (cf. *supra*) et le financement de l'autorité de protection des données personnelles.

¹⁹ *Innovation Eye Limited* est une société créée en mars 2019 par *Big Innovation Centre Limited Deep Knowledge Analytics Ltd*. C'est un consortium d'entreprises privées et d'organisations non commerciales. Elle fournit des analyses publiques aussi bien pour les groupes interparlementaires et les comités parlementaires que pour les entreprises. Ses rapports sont très détaillés. Selon le rapport de 2021 d'*Innovation Eye*, depuis 2014, le gouvernement britannique a investi plus de 2,3 Md£ sur l'intelligence artificielle toutes actions confondues (formations, centres de recherche, soutiens aux infrastructures technologiques, soutien aux start-up, soutien aux projets d'innovation spécifiques comme la mobilité, la santé).

pas être une stratégie d'engagement « faible ». Elle est précise, même si ses différents volets renvoient à des documents d'engagement budgétaires multiples.

II - Sur le fond, les stratégies nationales de ces dix pays traitent toutes des mêmes thèmes que la stratégie nationale française.

Tous les écosystèmes sont confrontés à des problèmes assez comparables qui nécessitent d'attirer des ressources humaines et financières croissantes.

On peut citer sept thèmes, liés entre eux : le renforcement d'un certain nombre ciblé de centres de compétence transdisciplinaires pour la recherche, les programmes de création de chaires, la formation, le développement des capacités de calcul, l'attractivité, la coopération partenariale internationale, le transfert des résultats de la recherche vers le monde économique, les règles d'usage et les normes.

A - Le renforcement d'un nombre ciblé de centres de compétences transdisciplinaires pour la recherche en IA est une tendance générale.

La France a fait le choix de soutenir quatre Instituts 3IA (MIAI Grenoble, ANITI Toulouse, Prairie Paris, 3IA côte d'Azur), auxquels se sont ajoutés trois centres d'excellence (SCAI, AI Paris, data IA).

On observe le même mouvement de concentration ciblé dans toutes les autres stratégies, y compris outre-atlantique²⁰. En Europe, on mentionnera l'Allemagne, dont la stratégie est postérieure à celle de la France. Ses centres sont situés à Berlin (BIFOLD), Dresde/Leipzig (ScaDS.AI), Dortmund/St. Augustin (ML2R), Munich (MCML) et Tübingen (Tübingen AI Center), auxquels s'ajoute le DFKI (le Centre allemand de recherche pour l'intelligence artificielle).

À chaque fois, la concentration s'opère à partir de l'existant, sur la base d'un appel à projets ou à manifestation d'intérêt. Dans les pays où la recherche d'excellence est déjà concentrée dans quelques universités ou quelques structures, la concentration est encore plus naturelle (Finlande, Pays-Bas, Royaume-Uni²¹, Suisse²²). L'objectif est toujours le même : non pas créer de nouvelles structures juridiques, mais concentrer une expertise transdisciplinaire.

B - Les programmes de création de chaires.

Ils visent en particulier les centres de compétence que chaque pays a choisi de soutenir. Les stratégies les plus abouties y associent des moyens et des objectifs chiffrés. En France, un objectif de 100 chaires avait été fixé initialement. Deux autres stratégies qui affichent aussi des programmes de création de chaires méritent une mention en particulier, le Canada²³ et

²⁰ Aux États-Unis, la *National Science Foundation* a créé sept centres en 2020, 11 en 2021. Au Canada, trois centres de recherche et innovation en IA ont été constitués dès 2017 : l'Amii (*Alberta Machine Intelligence Institute*) basé à l'Université d'Alberta à Edmonton, le Mila (l'Institut québécois d'intelligence artificielle – *Quebec Artificial Intelligence Institute*, anciennement *Montreal Institute for Learning Algorithms*), l'Institut Vecteur à Toronto, créé en 2017 en partenariat avec l'Université de Toronto, la province de l'Ontario et des promoteurs du secteur privé, ainsi que le professeur Geoffrey Hinton (Université de Toronto).

²¹ Le *Alan Turing Institute* a été fondé en 2015 à l'initiative du gouvernement britannique par l'intermédiaire de l'*EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council)*. Soutenu par cinq universités à sa fondation, il en réunit désormais 13. On doit ajouter le *Center for Artificial Intelligence* à l'*University College London (UCL)*, l'*Imperial College*, qui est l'université qui produit le plus de publication dans le domaine de l'IA au Royaume-Uni, l'Université d'Oxford et l'Université de Cambridge.

²² Les quatre principaux centres de recherche en Suisse d'origine publics sont l'*ETH AI Center* à Zurich (École polytechnique fédérale de Zurich), le *Swiss Data Science Center* à Lausanne, le *Center for Artificial Intelligence in Medicine* à Berne et l'Institut d'Intelligence artificielle perceptive dans le Valais.

²³ C'est, par exemple, grâce au programme des chaires d'IA que le Canada a attiré et retenu les meilleurs talents de la recherche en IA. 109 chercheurs en IA de calibre mondial travaillent actuellement dans les instituts de l'IA du Canada. Avec 86,5 M\$ sur cinq ans, ce programme offre à des chercheurs un financement à long terme afin de soutenir leurs programmes de recherche et de les aider à former des étudiants en chercheurs. Chacune des chaires reçoit un financement spécial de cinq ans pour appuyer l'excellence en recherche dans le domaine de l'apprentissage automatique. En 2018 et 2019, 80 Chaires ont ainsi été créées en partenariat avec les trois instituts canadiens en IA, ainsi que plusieurs universités et hôpitaux à travers le pays. Depuis 2017, plus de 100 chercheurs de haut niveau ont été recrutés au Canada pour occuper un poste de chaire de recherche en intelligence artificielle au CIFAR. De ce nombre,

l'Allemagne²⁴. Sans objectif chiffré, le Royaume-Uni poursuit le même objectif, la qualité et les moyens des centres de recherches universitaires britanniques permettent de recruter des profils élevés. Les centres de compétence helvétiques attirent aussi beaucoup, compte tenu de leur qualité mais aussi de l'attractivité générale du pays.

C - Le développement de la formation

Cette question est devenue prioritaire parce que les prévisions de besoins en ressources humaines sont en très forte croissance, dès le court terme, avec une forte mobilité internationale en faveur du pays ou du secteur le plus offrant.

Toutes les stratégies visent à créer de nouvelles écoles doctorales d'abord, mais ensuite à développer les formations à tous les niveaux et dans une approche pluridisciplinaire. Cette orientation vise non plus seulement les formations les plus élevées, mais tous les niveaux, y compris avant les études supérieures. Le développement des instituts pluridisciplinaires, et les programmes de création de

la moitié sont des chercheurs étrangers invités à venir travailler au Canada dans le cadre de la stratégie et de ses investissements, conformément au ratio-cible fixé dans la Stratégie nationale.

²⁴ Alors qu'en 2018, l'annonce de la création de 100 chaires avait suscité de nombreuses critiques et que la commission d'experts sur la recherche et l'innovation jugeait l'objectif difficilement atteignable, le gouvernement a annoncé en mai 2022 avoir atteint son objectif.

Les 100 chaires créées et pourvues au niveau national sont réparties comme suit :

- université technique de Munich, université de Tübingen : chacune 10 chaires ;
- université Louis-et-Maximilien de Munich, université de Stuttgart : chacune six chaires ;
- université technique de sciences appliquées d'Aix-la-Chapelle, université de Bielefeld, FAU Erlangen-Nuremberg, institut de technologies de Karlsruhe : chacune quatre chaires ;
- université Humboldt de Berlin, université de Bonn, université technique de Braunschweig, université technique de Dortmund, université technique de Dresde : chacune trois chaires ;
- universités de Bochum, Brême, Francfort-sur-le-Main, Giessen, Göttingen, Hambourg, Constance, Magdebourg, Marbourg et Leipzig ainsi que l'université technique d'Ilmenau : chacune deux chaires ;
- universités de Bayreuth, Duisburg-Essen, Düsseldorf, Hanovre, Heidelberg, Kiel, Coblenche-Landau, Cologne, Oldenburg et Wurtzbourg, les universités techniques de Darmstadt, Hambourg et Kaiserslautern ainsi que l'université catholique d'Eichstätt-Ingolstadt et l'université de la Sarre : chacune une chaire.

La répartition des canaux de création des 100 chaires est la suivante :

- la fondation Alexander von Humboldt a permis de pourvoir huit chaires ;
- la mise en place des six centres de compétences en IA a conduit à la création de 15 nouvelles chaires d'IA ;
- le programme *Tenure Track* (59) ;
- les programmes de la DFG (*Deutsche Forschungsgesellschaft*) (7) ;
- les coopérations entre les instituts de recherche extra-universitaires et les universités (11).

chaires, ne sont que des aspects particuliers d'une orientation plus large que l'on constate dans toutes les stratégies : développer la formation à tous les niveaux.

Aux États-Unis, l'offre de formation se développe dans toutes les directions²⁵. Au Canada, la tendance est identique²⁶. En Europe, de nombreux pays ont commencé à se mobiliser. En Allemagne, la stratégie nationale se concentre d'abord sur les cinq centres de compétence nationaux choisis, mais il faut ajouter l'action des *Länder*, très actifs en particulier dans le sud de l'Allemagne, notamment en Bavière et dans le Bade-Wurtemberg²⁷. Les stratégies régionales complètent l'action du *Bund*. La Finlande se mobilise aussi²⁸. Au Royaume-Uni, la stratégie nationale inclut des financements pour

²⁵ Le *Federal 5-Year STEM Education Strategic Plan*, créé en décembre 2018 par le *National Science and Technology Council's Committee on STEM Education* (CoSTEM), souligne les objectifs de l'éducation STEM. Le décret présidentiel *Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence* de 2019 insiste lui aussi sur la question de la formation en STEM à grande échelle. Concernant l'enseignement supérieur, chaque agence propose des programmes de financement et de bourses visant à faire avancer la recherche en l'IA, à l'instar du *National Science Foundation Graduate Research Fellowship Program* (GRFP) ou du *National Defense Science and Engineering Graduate Fellowship*. L'administration fédérale estime qu'elle doit former son personnel : le *AI Training Act* vise à aider les employés fédéraux à comprendre l'IA et à s'informer sur les nouvelles technologies. De leur côté, les entreprises ne sont pas en reste. Les grands groupes proposent tous des formations à divers niveaux : ils disposent des compétences et de la réputation puisqu'ils sont aux avant-postes de la recherche. À titre d'exemples : le Programme de formation d'INTEL, le dossier "changer la manière d'apprendre" (Accenture).

²⁶ Ceci est également visible avec la forte hausse dans les inscriptions en informatique et mathématique : le pays a enregistré une augmentation de 26 % en mathématique, en informatique et en science de l'information depuis 2015-2016 (avec seulement une augmentation de 3 % des inscriptions dans l'ensemble des programmes d'enseignement supérieur). Les universités canadiennes sont généralement classées parmi le top 100 des institutions en informatique mondiale d'après *CSRanking*. Entre 2020 et 2022, l'université de Toronto se classe en 18^e place, l'Université de Waterloo en 35^e place et l'université de British Columbia en 54^e place sur le classement de 2022.

²⁷ Dans l'enseignement supérieur, l'agenda bavarois sur les hautes-technologies prévoyait la création de 1 000 chaires permanentes, dont 100 dédiées à l'intelligence artificielle. Parmi elles, 50 sont destinées à renforcer les quatre nœuds de compétences en IA, tandis que la seconde moitié a fait l'objet d'un appel à concours auprès des établissements d'enseignement supérieur de Bavière. La sélection a été opérée par une commission d'experts. Au total, 112 chaires ont été créées, parmi lesquelles 45 étaient pourvues (40,2 %) au 1^{er} avril 2022. Réparties sur l'ensemble du territoire bavarois, elles couvrent en outre l'ensemble des domaines de spécialisation des nœuds du réseau bavarois en IA (robotique intelligente, mobilité, santé, sciences des données). La création de chaires s'accompagne de ressources humaines et matérielles. Ainsi, un poste de professeur des universités, deux postes d'assistants de recherche et un demi-poste de secrétaire sont attribués à chaque nouvelle chaire. À cela s'ajoutent une dotation initiale de 250 000 € et des ressources matérielles courantes à hauteur de 150 000 € par an du gouvernement bavarois. L'attribution de ces dernières est prévue jusqu'à fin 2023 dans un premier temps. Les établissements d'enseignement supérieur complètent le financement des chaires.

²⁸ Les grandes universités proposent plus de 250 cours individuels cours d'IA, 40 programmes de niveau master, 19 programmes de niveau licence et 3 programmes de doctorat. Les universités de sciences appliquées sciences appliquées proposent 26 programmes d'études sur le sujet. Au total, environ 6 300 étudiants suivent chaque année au moins un cours en l'IA dans les universités finlandaises chaque année. Plusieurs centaines d'étudiants sont diplômés des programmes d'IA chaque année.

la réadaptation au marché du travail. La Suisse a bien inclut la formation à l'IA dans son dispositif national d'éducation à tous les niveaux²⁹. En Israël, l'effort est particulièrement soutenu³⁰. Au Japon, c'est une réforme en profondeur de tout le système éducatif qui est visée³¹.

D - Le développement de capacités de calcul pour les laboratoires de recherche publics est partout recherchée

L'autre voie consiste à utiliser les très grandes capacités de calcul proposées par les entreprises privées, surtout américaines. Tous les pays y recourent. Mais tous les pays tiennent à développer une capacité publique. Les exigences de croissance sont gigantesques ; elles sont soutenues par

²⁹ Les principaux établissements d'enseignement supérieur proposant des formations en IA ou dans des domaines connexes sont les deux écoles polytechniques (EPFL et ETHZ), l'université de Genève, l'université de Neuchâtel, les Hautes Écoles Spécialisées (HES) dans les domaines des sciences « exactes » (à l'instar de la HES de Lucerne). Les formations en IA sont principalement de niveau Master. Le nombre d'étudiants exact en IA est difficile à obtenir, mais on peut estimer que l'ordre de grandeur est d'une centaine. À ce chiffre, il faut ajouter les autres formations en physique, sciences de l'ingénieur, informatique, mathématique, etc., qui peuvent également délivrer des cours en IA, sans que cela soit l'objet premier de la formation. Les EPF et HES en général entretiennent des liens très étroits avec les entreprises et proposent des formations correspondant aux besoins des entreprises. Des entreprises sont fréquemment associées à des projets universitaires liés à l'IA.

³⁰ L'instance en charge de l'enseignement supérieur israélien, le Conseil de l'Enseignement supérieur (*Council for Higher Education* – CHE) a inscrit dans son plan pluriannuel 2017 – 2022 l'objectif d'augmenter le nombre d'étudiants et de professeurs dans les filières de l'ingénierie et des sciences informatiques. Cette mesure a permis aux départements de sciences informatiques des universités d'engager davantage de professeurs avec un focus sur l'IA et de dispenser davantage de cours portant sur les technologies IA. Le nombre d'étudiants de première année en high-tech est passé d'environ 6 000 par année en 2012 à 7 000 en 2016 et devrait atteindre environ 11 000 en 2022. Le nombre de diplômés au niveau master et doctorat a augmenté de 150 % entre 2007 et 2018, passant de 60 à 90 diplômés par an.

³¹ La révision de la stratégie 2021 prévoit : le développement des universités qui proposent des sujets liés aux sciences de l'information en mettant davantage l'accent sur les subventions aux universités privées d'ici à 2024 ; la mise en place d'un examen permettant d'obtenir un « passeport informatique » pour les étudiants ; le renforcement de la coopération avec les entreprises, qui fournira et partagera ses données réelles avec les universités et enverra ses salariés pour y enseigner ; la mise en place dans les collèges techniques de cursus de mathématiques, science des données et IA ; l'organisation d'un consortium d'universités et de collèges techniques en mathématiques et en sciences des données, ainsi que le développement d'un système de soutien éducatif à l'échelle nationale ; la mise en place de plusieurs nouveaux types de programmes éducatifs misant sur la diversité des matières proposées, et mesure de leur efficacité ; la mise en place de programmes de doctorats interdisciplinaires compétitifs à l'échelle internationale afin de favoriser l'émergence d'un corps enseignant, l'emploi de professeurs étrangers et le développement de doubles diplômés.

l'évolution des processeurs³². Il existe un classement mondial, régulièrement mis à jour³³.

Les États-Unis disposent de ressources exceptionnelles comme le *Summit scientific supercomputer* du laboratoire national *Oak Ridge* (DOE) et le *Frontier supercomputer* qui sont parmi les plus puissants ordinateurs conçus pour accélérer l'innovation en IA. Ils peuvent compter aussi sur *Frontera* (NSF), le plus important système HPC dédié au monde académique et le *Pleiades supercomputer* de la NASA qui dispose de nouveaux modules IA. Au Canada, la stratégie comprend aussi un volet capacités de calcul³⁴.

Dans l'Union européenne, en dehors de la France (le supercalculateur Jean Zay, 36,85 petaflops par seconde), d'autres pays membres développent aussi leurs capacités : la Finlande (dans le cadre d'un consortium nordique³⁵), les Pays-Bas³⁶, la Suisse. L'Italie, qui a une

³² La loi dite de Moore, observée depuis le début des années 1970, indique que le nombre de transistors dans un processeur double tous les deux ans. Les processeurs traditionnels, dits CPU (*Central Processing Unit*) et GPU (*Graphics Processing Unit*), sont les composants de calcul les plus communs du marché. Les performances desdits composants reposent sur la loi de Moore. Les microprocesseurs "more than Moore", comme les ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) ou FPGA (*Field-Programmable Gate Array*), commencent néanmoins à émerger et l'effort de recherche en ce sens s'intensifie pour anticiper les besoins de performances de demain.

³³ June 2022 | *TOP500*.

³⁴ 40 M\$ pour l'Alliance de recherche numérique du Canada sur cinq ans de 2022-2023 à 2026-2027 pour fournir une capacité informatique destinée aux chercheurs en IA.

³⁵ Lumi, le premier supercalculateur pré-exaflopique développé par EuroHPC, l'entreprise commune européenne pour le calcul à haute performance, a été inauguré à Kajaani, en Finlande, le 13 juin 2022. Il est considéré comme "le plus écologique d'Europe" et le troisième au niveau mondial. Il est uniquement alimenté par des énergies renouvelables, utilise des systèmes de refroidissement naturels et réutilise sa chaleur résiduelle pour alimenter jusqu'à 20 % du chauffage urbain local. Lumi devrait afficher un pic de performance de 550 pétaflops (550 millions de milliards d'opérations en virgule flottante par seconde). Lumi appartient à l'entreprise commune EuroHPC et est géré par un consortium de 10 pays ayant une longue tradition et des connaissances en matière de calcul scientifique : Finlande, Belgique, République tchèque, Danemark, Estonie, Islande, Norvège, Pologne, Suède et Suisse. Il est cofinancé à hauteur de 144,5 M€ par EuroHPC. La France ne participe pas au consortium Lumi, ayant décidé d'attendre l'appel à manifestation d'intérêt pour héberger et opérer une machine exascale prévu à fin 2022. La France ne contribue donc pas directement à cette acquisition mais indirectement via le budget européen puisque EuroHPC en finance 50 %. Les chercheurs français pourront postuler aux appels à projets ouverts sur la partie européenne de ce supercalculateur (50 %). Récemment, en novembre 2022, Atos a livré au consortium universitaire Cineca, en Italie, avec une puissance de calcul de 175 pétaflops, le supercalculateur Leonardo.

³⁶ Le supercalculateur Snellius porté par SURF³⁶ remplacera Cartesius. Lancé en 2013, ce dernier était devenu obsolète (vitesse de 1,8 petaflops). Le coût du remplacement s'élèvera à 20 M€ : 18 seront portés par le gouvernement et 2 par SURF. Le nouveau supercalculateur atteindra une vitesse évaluée au plus bas à 13,6 ; au plus haut à 21,5 petaflops. Il sera installé à Amsterdam, sur le site du Parc des Sciences, dans la tour dite *Data Tower*, et sera accessible à tous les chercheurs néerlandais. La construction durera cinq ans. Il est par ailleurs prévu de l'actualiser deux fois au cours des prochaines années. Le nouveau supercalculateur sera doté de

capacité de calcul³⁷, se préoccupe de son développement dans sa stratégie de 2021. Mais il est clair que pour atteindre les puissances de demain, c'est l'échelon européen qui sera nécessaire. Un appel à manifestation d'intérêt européen (EuroHPC) pour héberger et opérer une machine exascale³⁸ est prévu à fin 2022.

Israël cherche aussi à combler ce qui est ressenti par le monde de la recherche dans ce pays comme une lacune.

E - Le renforcement de l'attractivité.

Le renforcement de l'attractivité pour les chercheurs et les formateurs est probablement le thème le plus commun à toutes les stratégies, parce que chacun mesure l'âpreté de la compétition, à tous les niveaux et que la ressource humaine est un prérequis pour attirer les ressources financières. C'est ce qui explique les efforts de concentrations (les centres d'excellence), de formation (les programmes de chaires) et le renforcement des capacités de calcul. Les systèmes de recherche et de formation de tous les pays examinés sont tous confrontés au même problème : l'attractivité des conditions salariales offertes par les grands opérateurs privés américains en particulier.

La tendance qui se dégage est que les stratégies nationales les plus abouties sont celles qui cherchent à offrir au chercheur ou au formateur un emploi satisfaisant au regard de quatre facteurs : la durabilité de l'emploi (ce qui fait de la durabilité des financements du recrutement des chercheurs ou des formateurs une question centrale), la qualité de l'emploi (de l'enseignement ou de la recherche), sa rémunération, les conditions générales de vie dans le pays.

Les efforts sont multiples et dans toutes les directions, y compris la simplification des procédures administrative et les conditions de vie.

Les États-Unis sont le pays qui domine³⁹. Le Canada est très volontariste : il a posé comme condition à son programme de chaires que la moitié revienne à des chercheurs venant de l'étranger. L'Allemagne attire par la localisation de ses centres de compétence qui s'ajoute à la visibilité dans la durée de leurs financements (désormais, depuis 2022, à

processeurs AMD EPYC de dernière génération (7H12) et de la dernière génération de processeurs de Nvidia GPUs (A100).

³⁷ Par exemple, l'infrastructure HPC CINECA-INFN, les infrastructures IIT HPV, le centre de calcul du CNR.

³⁸ Un ordinateur exascale est un système informatique stocké dans des armoires, à l'intérieur d'entrepôts ou de bâtiments utilisés par la recherche.

³⁹ Le pays est bonne position pour ce qui est de la capacité à attirer depuis l'extérieur les talents de très haut niveau, en général, et particulièrement en IA. Le rapport produit par le *think-tank Macro Polo*, qui s'intéresse au *top tier AI researchers* (les 20 % les meilleurs selon certains critères quantitatifs), montre que la grande majorité (60 %) de ceux-ci travaillent actuellement aux États-Unis, dans des universités ou des entreprises.

sept ans). Pour lutter contre sa position géographique, la Finlande développe toute une série d'initiatives spécifiques⁴⁰. La Suisse conforte ses facteurs naturels forts d'attractivité⁴¹. Le Japon a fait de l'arrivée de chercheurs étrangers une priorité.

F - La coopération partenariale internationale.

Le partenariat international dans la recherche est un complément indispensable pour consolider l'attractivité. Mais le partenariat doit apporter et être ascendant. Les centres de recherches les plus réputés sont ceux qui réussissent à attirer les meilleurs partenaires. C'est une tendance très sélective, de forte compétition. Elle est elle-même encouragée par le fait que les décisions de financements sont souvent précédées d'évaluations par des comités scientifiques eux même internationaux. La concentration de l'excellence se fait sentir aussi par cette voie.

Toutes les stratégies nationales encouragent sous certaines conditions d'excellence la coopération internationale. Il en résulte deux mouvements.

Le premier est le développement de la coopération bilatérale sous des formes diverses assez connues : échanges de chercheurs (mobilités),

⁴⁰ Quatre initiatives de l'État finlandais sont à noter :

- la procédure accélérée pour l'obtention des permis de travail/résidence pour les spécialistes ;
- les mesures prises en faveur du maintien en Finlande des étudiants internationaux (extension de la validité du permis de séjour) ;
- le projet HEI LIFE (*Higher Education Institutions' Support for International Academics and Staff - Living, Integration, Family and Employment in Finland*) vise à créer des modèles nationaux pour les établissements d'enseignement supérieur finlandais afin de soutenir l'intégration des universitaires et du personnel internationaux et de leurs familles. Le projet est financé par le ministère de l'éducation et de la culture ;
- le ministère des affaires économiques et de l'emploi participe également à un projet de recherche qui vise à déterminer comment renforcer l'attractivité de la Finlande auprès des experts internationaux et des expatriés afin d'endiguer la pénurie de main-d'œuvre qualifiée qui constitue déjà un obstacle à la croissance dans de nombreux secteurs.

⁴¹ Le secteur de l'IA en Suisse jouit de l'attractivité habituelle et déjà connue et reconnue de la Suisse, qui n'a pas mis en place d'instruments d'activité pour le secteur de l'IA. Pour les ingénieurs et chercheurs, il est à souligner l'attractivité très forte de la Suisse pour les acteurs du monde de la recherche. En effet, la qualité de vie y est bonne voire très bonne, les salaires élevés, les infrastructures de travail modernes et les équipes de collaborateurs très compétentes. Pour les étudiants, les frais d'inscriptions dans les universités suisses sont raisonnables (environ 1 500 CHF par semestre dans les meilleures écoles) et les chances d'y rentrer sont relativement élevées. Ensuite, le grand soutien apporté aux étudiants entrepreneurs (notamment par un soutien financier et le mentorat) pour développer leurs projets entrepreneuriaux est aussi une raison de rester en Suisse. *Idem* pour les jeunes diplômés, qui trouvent un emploi après leurs études souvent avec des salaires plus élevés qu'en France (et dans beaucoup de pays en Europe).

programmes communs de recherche, voire institutions communes de recherche.

Le second prend la forme de réseaux, à l'initiative d'un ou plusieurs centres de recherche. Ils offrent des possibilités d'échanges très enrichissantes au bénéfice des chercheurs, mais aussi des étudiants. Cette nouvelle forme se développe rapidement. En Europe, on notera l'importance croissante qu'ils prennent, notamment les réseaux CLAIRE⁴² et ELLIS⁴³. Le rayonnement d'un centre de compétence se mesure aussi dans la participation à ces réseaux dont les critères d'admission fixés dans leurs chartes.

G - Le transfert des résultats de la recherche vers le monde économique

Aux États-Unis, l'avance prise est considérable. Le secteur privé américain est très dynamique en IA et investit massivement dans cette technologie.

Les grands acteurs américains du numérique sont tous très impliqués dans l'IA. Les GAFAMI sont en tête : Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft et IBM. Ils dominent déjà largement le marché avec leurs homologues chinois des BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi) et Huawei. Les GAFAMI publient presque tous leurs algorithmes d'IA en open-source. Ces grandes entreprises se distinguent surtout par la qualité des données d'entraînement et l'efficacité de leur modèle économique.

Toutes les stratégies des autres pays cherchent à encourager ce transfert du laboratoire de recherche vers le secteur privé. Lorsque le pays est fédéral, les États fédérés investissent beaucoup à ce niveau. C'est le cas au Canada⁴⁴ (Ontario, Alberta, Colombie Britannique, Québec, Nouveau-

⁴² *Confederation of laboratories for Artificial Intelligence Research in Europe* (445 laboratoires et institutions), 37 pays.

⁴³ *European Laboratory for Learning and Intelligent systems*.

⁴⁴ Sur le budget de 443,8 M\$ lié au renouvellement de la Stratégie pancanadienne en matière d'IA, annoncée par le gouvernement en 2021, plus de 40 % des fonds seront consacrés à la commercialisation (applications), soit 185 M\$ pour favoriser la mise sur le marché et la valorisation des technologies et innovations dans l'IA. L'étape du passage du laboratoire au grand public prend le plus souvent la forme de la création d'entreprise. Ce lien université-recherche-start-up est illustré par les résultats de l'Université de Toronto. On compte plus de 81 start-up de l'IA issues de l'Université de Toronto.

Brunswick) et en Allemagne (Bavière, Bade-Wurtemberg⁴⁵). On observe bien sûr les mêmes efforts en Finlande⁴⁶, aux Pays-Bas⁴⁷, au Royaume-Uni⁴⁸, ou en Suisse⁴⁹.

⁴⁵ Le *Land* a élaboré une stratégie numérique interministérielle dès 2017 (*Digitalisierungsstrategie – digital@bw*) sous l'égide du Ministère pour le numérique du Bade-Wurtemberg, dont l'IA fait partie intégrante. La stratégie identifie les forces du *Land*, notamment dans les domaines de la mobilité, de l'automobile, de la production, de la santé et de la médecine. La *Cyber Valley* apparaît comme l'un des instruments centraux déployés par le *Land* afin de tirer profit des atouts économiques et scientifiques de la région en IA.

La stratégie en faveur du transfert de technologie s'appuie sur :

- la création et le renforcement d'un écosystème régional en IA (*Cyber Valley*) et européen (réseau européen *ELLIS*) dense
- l'implication forte des industriels dans ces écosystèmes notamment par l'intermédiaire de fondations (fondation Dieter Schwarz, fondations Hector) ;
- la création de quatre *Science Data Centers*, financés à hauteur de 8 M€.

⁴⁶ *Business Finland* dispose, par exemple, actuellement d'un programme de financement appelé *Leading companies and ecosystems* qui peut inclure des investissements dans l'IA, mais pas seulement. Dans le cadre de ce programme, un montant maximum de 20 M€ est réservé pour l'entreprise dirigeante et maximum 50 M€ pour les autres entreprises de l'écosystème (pour une durée de trois à cinq ans). En 2020, six projets/écosystèmes ont ainsi été financés et six autres en 2021. Parmi ces projets, on peut citer notamment le projet AISA (*Artificial Intelligence for Situational Awareness*) de 12 M€ dirigé par Nokia et qui vise à accélérer l'adoption de la 5G et de l'IA par l'industrie finlandaise. Ce projet est financé conjointement par *Business Finland* et les entreprises participantes.

⁴⁷ NL AIC est la principale enceinte de dialogue pour les acteurs publics, privés et du monde de la recherche pour coordonner leur action. NL AIC est organisée en groupes de travail thématiques (start-up, R&D, acceptabilité sociale, etc.) ou consacrés à des domaines d'application, appuyés par une administration⁴⁷ composée :

- du bureau central (*Coalition Desk*), chargé du support opérationnel ;
- du bureau des programmes (*Program Team*), chargé de la coordination des groupes de travail ;
- du bureau stratégique, qui représente les composantes de la « quadruple hélice ».

Au sein de NL AIC, un groupe de travail « Recherche et Innovation » a été constitué. Ce dernier coopère avec une multiplicité d'acteurs dans le domaine de la recherche sur l'IA. Ils font cela en assurant une veille dans ce domaine pour identifier les tendances émergentes et repérer les possibles failles dans la stratégie néerlandaise. Le groupe de travail joue aussi un rôle d'entremise en matière de partenariats sur des sujets spécifiques.

Les universités jouent un rôle prépondérant dans la gouvernance du plan d'action stratégique en matière d'IA et de l'agenda de recherche correspondant. Siègent au sein de la NL AIC les universités d'Amsterdam (UvA et VU), Breda, Eindhoven, Enschede (Twente), Leyde, Maastricht, Nimègue (Radboud) et Utrecht, ainsi que les instituts technologiques HAN (Nimègues, Arnhem) et Saxion (Enschede).

⁴⁸ Plusieurs outils sont disponibles pour favoriser l'innovation :

Le *Knowledge Transfer Network* (KTN) est un Département de UKRI. Il met à disposition un panel d'experts en charge d'identifier où le transfert de technologie est possible. Les chercheurs peuvent solliciter le panel pour avis. Les activités du KTN ne sont pas limitées au secteur public et sont mises aussi à disposition des entreprises.

H - Les règles d'usage et les normes.

Comme indiqué plus haut (cf. partie 2), aux États-Unis l'approche est celle de la *light touch regulation*. Et cette approche, encouragée par les GAFAMI a eu tendance à s'imposer. Elle pose un problème en Europe, aggravé par la nature extraterritoriale de certaines législations américaines. L'approche européenne est différente. Elle repose sur l'idée d'IA de confiance, ce qui implique de poser un cadre pour la recherche et ses applications.

L'autre grand outil est plus local, c'est-à-dire propre aux universités : ce sont les bureaux de transfert de technologie. C'est un véritable accompagnement de proximité pour les chercheurs, mais seules les universités très bien développées peuvent se permettre de mettre en place ce type de structure interne, les autres auront recours au KTN. On peut citer : *Oxentia/Oxford University Innovation* pour l'université d'Oxford, *Imperial Entreprise* pour l'*Imperial College London*, *Cambridge entreprise Lab* pour Cambridge. Certaines structures comme *Oxentia* aident les universités les plus modestes qui ne possèdent pas de bureau de transfert. Certaines universités mettent en place des incubateurs, comme c'est le cas pour l'*Imperial College London*.

En ce qui concerne le soutien financier des chercheurs, il y a pléthore d'outils mis en place par le gouvernement. Ils sont gérés par *InnovateUK*, les fondations (*Charities*) ou par NESTA (agence britannique d'innovation sociale). À la marge, il y a aussi des crédits d'impôts utilisables pour les entreprises.

⁴⁹ En Suisse, il y a une très forte imbrication de la recherche et de l'industrie, avec des financements conséquents du Conseil Fédéral à travers l'agence de financement de la recherche InnoSuisse, par exemple, qui permet de passer du projet de recherche au prototype industriel puis à un produit commercialisable. InnoSuisse permet donc aux industriels de se lancer aux côtés de la recherche en diminuant le risque financier pour les industriels jusqu'à le rendre acceptable. Les innovations sont systématiquement valorisées, par la création de start-up ou d'entreprises.

L'innovation est à l'initiative des entreprises ou des établissements d'enseignement supérieur, notamment les Écoles polytechniques fédérales (deux EPF, de Lausanne et Zurich) et les Hautes écoles spécialisées (neuf HES).

Le financement de projets liés à l'innovation peut aussi être réalisé directement par les deux écoles polytechniques (à Lausanne et Zurich). Elles ont, par exemple, financé à hauteur de 30 MCHF le projet SwissData Center de la Confédération assurant la promotion de l'innovation dans la science des données et de la recherche multidisciplinaire, regroupant entre 30 et 40 spécialistes de données.

Les HES jouent un rôle particulier dans ces transferts. À titre d'exemple, en 2017, 69 % des entreprises ayant pratiqué des TST l'ont fait avec au moins une HES (*via* des projets de R&D, des réseaux institutionnels, des formations continues ou réseaux professionnels). À noter que pour les HES, ces transferts technologiques représentent une part non négligeable dans leurs recettes totales (environ 25 % en moyenne sur la dernière décennie).

Les parcs d'innovation : les parcs suisses de l'innovation sont pilotés par la fondation *Switzerland Innovation* (budget de 350 MCHF à son lancement en 2015), sise à Berne et financée par le secteur privé. *Via* ces parcs d'innovation, les universités et hautes écoles peuvent collaborer étroitement avec l'économie et ainsi permettre aux entreprises suisses et étrangères dotées de départements de recherche et développement de s'y établir.

Les positions américaines et européennes restent encore éloignées mais des efforts de convergence se dessinent. La question de l'accès aux données reste un irritant très sensible. Aux États-Unis, le débat sur la responsabilité des plateformes numériques évolue depuis 2022. Les années récentes avaient déjà vu notamment deux affaires avoir de larges retombées médiatiques : l'affaire de la société Cambridge Analytica⁵⁰ et l'audition au Sénat américain de l'ex-ingénieure de Facebook Mme Frances Haugen⁵¹. Mais plus récemment, la Cour Suprême a commencé en 2022 l'examen de deux affaires (Gonzales *versus* Google, Twitter *versus* Taamneh) où les plaignants réclament que Google et Twitter soient tenus responsables des recommandations formulées par leurs algorithmes. La question du « bouclier légal » en vigueur depuis 1996 est posée (la section 230 du *Communication Decency Act* de 1996).

Cette question de la réglementation des normes et des usages de l'Intelligence artificielle est devenue si importante que toutes les stratégies nationales la mentionnent. Leur volet international comprend nécessairement un chapitre sur ce point.

En Europe, la convergence des systèmes nationaux a appelé une intervention forte à l'échelon de l'Union européenne (cf. le *Digital Service Act*, le *Digital Market Act*, le projet de règlement sur l'IA proposé en avril 2021 par la Commission adoptés en 2022). On mentionnera aussi l'importance de cette question dans la stratégie canadienne et les initiatives communes franco-canadiennes⁵². Pour le dialogue avec l'Europe, l'enceinte la plus significative est le TTC. Lancé en juin 2021, le *EU-US Trade and Technology Council* (TTC) est un forum entre les deux entités visant à coordonner leurs approches sur les enjeux économiques et

⁵⁰ La Société Cambridge Analytica aurait utilisé les données personnelles de 87 millions de personnes, données recueillies et exploitées à leurs insu, dans le cadre de la campagne en 2016 de Donald Trump.

⁵¹ En octobre 2021, Mme Frances Haugen, lanceuse d'alerte, a expliqué certaines pratiques internes à la société Facebook posant de graves problèmes éthiques.

⁵² La France et le Canada sont des partenaires dans le développement d'une intelligence artificielle responsable et éthique. Les deux pays ont travaillé de concert lors des G7 de 2018 et de 2019, présidés respectivement par le Canada et par la France, pour :

- adopter en juin 2018 à Montréal la déclaration franco-canadienne sur l'intelligence artificielle ;
- déclarer en mai 2019 la volonté commune de créer un Groupe international - d'experts sur l'intelligence artificielle, le G2AI ;
- lancer avec les pays du G7 et de l'OCDE en mai 2019 le *Global Partnership for AI* (Partenariat mondial pour l'intelligence artificielle, PMIA) afin de créer une instance de réflexion mondiale permettant d'éclairer les pays sur l'utilisation de l'intelligence artificielle et éviter ses dérives qui bénéficiera de la création de deux centres d'expertise qui seront construits à Paris et à Montréal.

technologiques. On observe dans les stratégies nationales d'Israël⁵³ et du Japon⁵⁴ un suivi attentif de ces efforts de convergence.

53 En octobre 2020, un rapport a été publié sur les perspectives israélienne en termes d'éthique et de gouvernance du secteur de l'IA, intitulé *Harnessing Innovation: Israeli Perspectives on AI Ethics and Governance*.

54 Le Japon est actif dans les discussions sur l'éthique conduites dans des cadres internationaux tels que l'OCDE, l'Unesco ou le Partenariat mondial sur l'IA (GPAI) dont il prendra la présidence en 2023, après la France. Lors du sommet du G20 à Osaka (juin 2019), les membres du G20, sous l'impulsion du Japon, ont adopté les *G20 AI principles*. Il s'agit de principes non contraignants rédigés lors du « G20 commerce et économie digitale » à Tsukuba en juin 2019 et dérivés des recommandations de l'OCDE sur l'IA. Ces *G20 AI principles* font la promotion d'une IA centrée sur l'humain, respectant l'éthique et les valeurs démocratiques, transparente, explicable, sûre et responsable.

Sur le volet des échanges de données, le Premier ministre japonais Shinzo Abe a introduit début 2019 le concept de *Data Free Flow with Trust* (DFFT). Ce concept promeut l'interopérabilité des données entre différents pays, afin que le partage de celles-ci permette le développement de solutions IA plus performantes et de plus grande confiance. La déclaration finale du G20 a repris ce concept et lancé le *Osaka Track*, processus visant à trouver un cadre de régulation de l'économie digitale, en particulier sur les échanges de données internationaux.

Une décision d'adéquation des systèmes de protection des données a été adoptée en janvier 2019, entre le Japon et l'UE.

Annexes

Annexe n° 1 : continent américain	44
Annexe n° 2 : pays de l'Union européenne et autres pays européens	120
Annexe n° 3 : reste du monde	185

Annexe n° 1 : continent américain

États-Unis: la stratégie du plus fort

1. La stratégie fédérale : faire la course en tête, en compétition avec la Chine, en coopération avec des alliés, avec des enceintes de pilotage dédiées et des financements fédéraux ciblés.

1.1 Une priorité politique affirmée

En mai 2016, la Maison Blanche a mis en place un sous-comité spécifique au sein du *National Science and Technology Council* (NSTC). Des sessions de travail publiques ont eu lieu de mai à juillet 2016 et les conclusions de ces travaux ont donné lieu à trois rapports produits par l'administration Obama entre octobre et décembre 2016, du NSTC et de l'*Executive Office of the President*.

L'arrivée au pouvoir de l'administration Trump a marqué un coup d'arrêt et un recul des initiatives de l'État fédéral. Mais en fin de mandat, constatant les progrès spectaculaires de la Chine, l'administration Trump a présenté une série de plans d'action pour réaffirmer l'hégémonie américaine en IA⁵⁵ ; la doctrine est de laisser l'innovation fructifier, proposer des solutions numériques, et de pratiquer une réglementation minimale (*light touch regulation*, le RGPD européen a été considéré comme une entrave).

Pour l'administration Biden, la compétition avec la Chine reste un enjeu central. Sous la supervision de l'OSTP⁵⁶, formalisée dans la *National AI Initiative*, un pilotage fédéral s'est dessiné. Plusieurs textes de la nouvelle administration ont fondé cette approche⁵⁷. Ces orientations

⁵⁵ Le *National AI R&D Strategic Plan* (2019) qui détermine les priorités pour la recherche en IA, notamment la Sécurité, l'éthique et la création de standards scientifiques ; le *Federal Data Strategy 2020 action Plan* qui émet des propositions pour la digitalisation de l'administration, le *US Leadership in AI Plan* (2019) qui propose une stratégie pour que les États-Unis restent en tête dans la course mondiale à l'IA, le décret *Maintaining American leadership in AI* signé en février 2019 qui propose les grandes lignes d'une stratégie nationale pour l'IA, prescrit une hausse des dépenses de R&D et la création de sept instituts spécialisés financés par la *National Science Foundation* (NSF).

⁵⁶ *Office of Science and Technology Policy*, créé par une loi de 1976, rattaché à la Présidence.

⁵⁷ La *National Strategy for Critical and Emerging Technologies* du NSTC (2020) donne les lignes directrices d'une stratégie pour assurer le *leadership* technologique des États-Unis en développant l'innovation domestique et en protégeant les technologies. Le *AI in Government Act* de 2020 donne un cadre pour l'adoption et l'utilisation de l'IA

stratégiques concernant l'écosystème IA sont à replacer dans un contexte plus large, la compétition avec la Chine⁵⁸.

1.2. La compétition avec la Chine

Les États-Unis ont clairement identifié la menace chinoise et craignent d'être dépassés au niveau technologique d'ici 2030. Certains, comme le sénateur de Virginie Mark Warner, ont qualifié la situation actuelle d'un "*Sputnik Moment*"⁵⁹, significatif d'une réelle peur de la montée en puissance chinoise et d'une ambiance de Guerre froide dans les discours officiels. Dans cette lutte technologique, les Américains souhaitent être les leaders et défendre la liberté et les droits de l'homme face à la dérive autoritaire chinoise. Ils souhaitent susciter l'adhésion et diffuser leurs standards de gouvernance des technologies à travers le monde

La scène politique américaine n'est pas unanime sur les mesures à adopter face à la Chine, en dépit d'un consensus bipartisan remarquable sur la menace qu'elle représente. Concrètement, les coopérations scientifiques avec la Chine, y compris dans ce secteur devenu sensible, mesurées par les co-publications restent à un niveau très élevé et continuent d'augmenter malgré l'image projetée de "découplage". La Chine reste de loin le principal partenaire scientifique des États-Unis (voir l'analyse bibliographique des co-publications ci-après).

au sein de l'administration fédérale américaine. Le *National AI Initiative Act* de 2020 est devenu loi le 1^{er} janvier 2021 et prévoit un programme coordonné à l'échelle fédérale pour accélérer la recherche et l'application de l'IA pour la prospérité économique et la sécurité nationale du pays. La mission de la *National AI Initiative* est de conserver le *leadership* des États-Unis dans la recherche et le développement de l'IA, de garantir l'utilisation d'une IA digne de confiance dans les secteurs public et privé, et de préparer la main-d'œuvre américaine actuelle et future à l'intégration des systèmes d'IA dans tous les secteurs de l'économie et de la société. Le rapport final de la NSCAI (2021) met l'accent sur les enjeux de sécurité nationale autour de l'IA et propose notamment une protection accrue des technologies, le renforcement des formations STEM, une hausse des financements de la recherche, une adoption rapide de l'IA par l'armée et la création d'une coalition technologique des démocraties.

⁵⁸ Sur le plan législatif, le projet de loi le plus emblématique est l'*U.S. Innovation and Competition Act* (USICA), voté en juin 2021 par le Sénat et dont les principales dispositions ont été votées en février 2022 par la Chambre des représentants, dans une version largement remaniée et intitulée *America COMPETES Act of 2022*.

⁵⁹<https://foreignpolicy.com/2020/10/29/us-china-sputnik-moment-technology-competition-semiconductors/>

1.3 Des enceintes de pilotage dédiées

1.3.1. Politique générale : la priorité des technologies émergentes, dont l'IA

La notion de technologies émergentes est l'outil politique fondamental du discours américain. Il sert à justifier l'engagement massif, légitimer l'implication de l'État sous toute ses formes, y compris industrielle, et à fédérer les alliés autour d'un projet commun. Dans son rapport publié en février 2022, le NSTC a identifié 19 technologies émergentes⁶⁰ critiques dont l'IA. L'IA est perçue comme un enjeu de puissance.

1.3.2 La manière d'intervenir : l'État catalyseur, la collaboration avec le secteur privé un besoin

La description qui va suivre sur l'organisation du soutien à la recherche en IA pourrait donner l'impression d'un empilement sans fin, d'une multiplication de couches administratives, les ressources étant sans communes mesures avec ce que nous connaissons en Europe, qu'importe la logique d'organisation. Mais ce n'est qu'une impression. Le pilotage public est simplement dominé par une philosophie générale : le rôle de l'État est d'être un catalyseur, la coopération avec le secteur privé est un besoin. Puis cette philosophie est ensuite déclinée en suivant cinq principes :

- C'est à l'administration de s'adapter à l'objet de la recherche et non l'inverse : l'administration doit donc être agile.

Au sein de l'administration, on constate la mise en place de nombreux organes spécialisés, souvent temporaires et mêlant des experts du privé, du public et du monde de la recherche (voir détail plus loin, NAIIO, NAIAC, NSCAI). Ce système permet à l'État américain de disposer d'une grande flexibilité, car il peut créer des structures temporaires de coordination, qui n'ont pas toujours vocation à perdurer

⁶⁰ Liste des technologies émergentes critiques : *Advanced Computing, Advanced Engineering Materials, Advanced Gas Turbine Engine Technologies, Advanced Manufacturing, Advanced and Networked Sensing and Signature Management, Advanced Nuclear Energy Technologies, Artificial Intelligence, Autonomous Systems and Robotics, Biotechnologies, Communication and Networking Technologies, Directed Energy, Financial Technologies, Human-Machine Interfaces, Hypersonics, Networked Sensors and Sensing, Quantum Information Technologies, Renewable Energy Generation and Storage, Semiconductors and Microelectronics, Space Technologies and Systems.*

dans le temps et forment une couche supplémentaire et plus souple au-dessus d'une administration plus stable. Ce type d'organisation permet une expertise accrue grâce à la présence de professionnels de l'industrie et de la recherche au sein des comités exécutifs, une mise en œuvre plus rapide et une proximité accrue avec le terrain.

- Ce sont les entreprises et les universités qui ont l'initiative de la recherche.

L'État joue un rôle de suiveur et de facilitateur. Il faut laisser une marge de manœuvre pour l'innovation et l'expérimentation. Cette approche est à la base de la doctrine de la « *light-touch regulation* ». Le gouvernement cherche à faire converger le secteur privé avec les intérêts et le positionnement politique des États-Unis, mais l'administration rencontre des difficultés à s'imposer face aux entreprises, notamment les GAFAMI.

- Le secteur de la défense est une source importante de financement et tout n'est pas sur la place publique.

- Une fertilisation croisée des initiatives publiques et privées est recherchée dans ce domaine.

- La formation joue un rôle crucial.

Les États-Unis souhaitent renforcer leur système éducatif et l'offre de formation en IA. Ils ne veulent pas seulement former des experts en IA, mais aussi des utilisateurs finaux (managers dans les entreprises, membres de la société civile, dirigeants politiques). Le but est aussi d'attirer davantage les talents étrangers.

1.3.3 Les agences : les directions scientifiques, les agences de RD, les agences spécialisées en IA

Les agences concernées par les technologies émergentes sont nombreuses. Il faut distinguer les organes consultatifs sans budget dédié et les agences fédérales de financement qui disposent de fonds publics qu'elles sont libres d'administrer. Elles sont constituées d'un mélange de professionnels de la recherche, de l'administration publique et du secteur privé. Le panorama qui suit concerne les agences fédérales impliquées dans l'IA.

1.3.3.1 Les directions scientifiques de l'exécutif

L'*OSTP (Office of Science and Technology Policy)* est directement rattaché au bureau exécutif du Président des États-Unis. Il a à la fois un rôle de conseil auprès du cabinet du Président et un rôle de coordination au sein des agences fédérales.

Le *NSTC (National Science and Technology Council)* est une entité inter-agences composée de divers directeurs d'agences et dont le rôle est de coordonner les politiques américaines pour le développement technologique. Contrairement à l'*OSTP*, le *NSTC* est un organe purement consultatif qui fournit des recommandations.

1.3.3.2 Les agences fédérales de recherche et développement

La *NSF (National Science Foundation)* finance des programmes de recherche sur un modèle similaire à celui de l'ANR en France. Elle supervise les sept Instituts IA créés en 2020⁶¹. Pour 2022, un appel d'offre a été lancé qui prévoit de financer encore sept nouveaux instituts d'IA pour un budget de 140 M\$, soit 20 M\$ par institut. Son budget pour 2022 est de 690 M\$ pour l'IA.

Le *NIST (National Institute of Standards and technology)* est l'agence fédérale de référence pour le développement de guides de bonnes pratiques. Le caractère non obligatoire des normes du NIST facilite la collaboration des entreprises. Son budget IA est de 46 M\$.

Le *DoE (Department of Energy)* est le ministère le plus impliqué dans la politique industrielle et les enjeux technologiques. Il met à disposition aussi une importante puissance de calcul à partir de ses laboratoires nationaux. Son budget en 2022 est de 230 M\$.

Le *DoD (Department of Defense)* finance des projets dans les technologies émergentes pour l'armée et le renseignement. L'IA avec le quantique constitue l'une de ses deux principales priorités pour 2020-2030.

La *DARPA (Defense Advanced Research Project Agency)*, une agence du *DoD* finance des projets stratégiques pour la plupart secrets, trop risqués pour du capital privé mais avec un fort potentiel sur le long terme.

Le *HHS* (département de la santé) et celui de l'agriculture (*USDA*) consacrent respectivement 350 et 145 M\$ à la recherche en IA.

⁶¹ Les thématiques sont les suivantes: *Human-AI Interaction, AI for Advances in Optimization, AI and Advanced Cyberinfrastructure, AI in Computer and Network Systems, AI in Dynamic Systems, AI-Augmented Learning, AI-Driven Innovation in Agriculture and the Food System.*

1.3.3.3 Les agences spécialisées en IA

La prise de conscience de l'importance de l'IA a donné naissance à plusieurs sous-structures exécutives ou consultatives destinées à coordonner spécifiquement les questions d'IA non seulement entre les États mais aussi entre les multiples agences impliquées.

- Le *NIAI (National AI Initiative Office)* supervise les programmes de formation, le financement de la R&D, la coopération internationale et coordonne l'ensemble des agences fédérales sur le thème de l'IA. Le *NIAI* est chargé d'établir une stratégie nationale pour l'IA d'ici 2023.

- Le *SCAI (Select committee on AI)* est un comité du *NSTC* qui regroupe des membres de différents ministères pour coordonner la politique entre les Départements.

- La *NSCAI (National Security Commission on Artificial Intelligence)* est un organisme consultatif sur les enjeux de sécurité, de défense et de souveraineté nationale dans le domaine de l'IA. Elle a rendu un rapport final de 700 pages en mars 2021 et organisé un sommet regroupant une quinzaine de pays (dont la France) le 13 juillet 2021.

- La *NAIRRTE (National AI Research Ressource Task Force)* est chargé de proposer des directives pour créer une plateforme de partage des ressources en IA.

1.4 Les axes de recherche

En juin 2019, le *SCAI* du *NSTC* a publié un rapport⁶², préfacé par le *Deputy assistant to the Président for Technology*. La *NSCAI* a ensuite publié un second rapport en 2021 présentant des recommandations au Président et au Congrès pour « avancer dans le développement de l'intelligence artificielle, l'apprentissage-machine et les technologies associés afin de traiter largement les besoins liés à la sécurité nationale et à la défense des États-Unis ».

Ces deux documents, et particulièrement le second, peuvent être considérés comme l'énoncé d'une véritable stratégie de recherche et développement.

Les domaines clés recouvrent l'ensemble du spectre de l'IA : modèles plus performants, IA explicable, collaboration homme-machine, standards éthiques et normes techniques, sécurité et robustesse des systèmes IA, transparence et partage des données.

⁶² *The national Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan : 2019 Update.*

Les objectifs visant à assurer la supériorité (« *leadership* ») technologique sont tout aussi larges :

- développer et exporter des standards techniques et éthiques ;
- bâtir une infrastructure IA et un écosystème numérique de qualité ;
- développer des formations pour préparer le marché du travail à l'ère de l'IA ;
- faire de la recherche en IA une priorité nationale ;
- renforcer la protection des technologies et de la recherche ;
- accélérer l'adoption de l'IA pour la sécurité et la défense.

1.5 Des financements fédéraux ciblés

1.5.1 Les financements publics en IA, hors défense : le *supplement to the budget NITRD*

Les documents budgétaires américains sont complexes. Certaines initiatives multi-agences qui contribuent à l'élaboration de ces budgets sur des sujets spécifiques (Nano, IT, Global Change) produisent des documents séparés qui détaillent les budgets qui ont été octroyés sous leur autorité. Ce sont les *supplement to the budget*. C'est notamment le cas du programme *Networking and Information technology Research and Development (NITRD)*, dont les chiffres figurent dans un *supplement to the budget* produit avec le *NAIO*. Ce document⁶³ permet de détailler la répartition des crédits alloués par sous-thème et par agence. Mis en place en 1991, le programme *NITRD* est le principal mécanisme par lequel le gouvernement fédéral coordonne ses investissements dans les technologies de l'information et des réseaux (HPC, réseaux grande vitesse, cybersécurité, logiciel, gestion de l'information).

En 2022, le programme *NITRD* a demandé un budget de 1,7 Md\$ pour les investissements hors défense pour l'IA. Le document détaille la ventilation de ces sommes par agence et par sous-thème au sein de la nomenclature suivante :

Pour les sous-thèmes, la nomenclature est la suivante : *Artificial Intelligence (AI) R&D* ; *Computing-Enabled Human Interaction, Communications, and Augmentation (CHuman)* ; *Computing-Enabled Networked Physical Systems (CNPS)* ; *Cyber Security and Privacy (CSP)* ;

⁶³ <https://www.nitrd.gov/pubs/FY2022-NITRD-NAIO-Supplement.pdf>

Education and Workforce (EdW) ; Electronics for Networking and Information Technology (ENIT) ; Enabling R&D for High-Capability Computing Systems (EHCS) ; High-Capability Computing Infrastructure and Applications (HCIA); Intelligent Robotics and Autonomous Systems (IRAS) ; Large Scale Data Management and Analysis (LSDMA) ; Large Scale Networking (LSN); Software Productivity, Sustainability, and Quality (SPSQ).

Cela donne le tableau suivant pour la répartition selon les sous-thèmes :

Tableau n° 2 : document budgétaire – Supplement to the budget

2. Agency NITRD- and NAIIO-Related R&D Investments, FYs 2020–2022

Table 2. Agency Budgets by NITRD PCA for AI R&D,^a FYs 2020–2022 (p. 3 of 3)
FY2020 Budgets, Actual & Supplemental; FY2021 Budgets, Enacted & Supplemental; and FY2022 Budget Requests (\$ in millions)^b

Agency ^{a,c}	Fiscal Year ^d	12 NITRD Program Component Areas												Totals ^{a,e}	
		AI ^{a,f}	Human	CNPS	CSP	EdW	ENIT ^g	EHCS ^h	HCIA	IRAS	LSDMA	LSN	SPSQ		
USDA/NIFA	FY20	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.2
	FY21	123.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	123.9
VA	FY20	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9
	FY21	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9
FY21-5	FY21-5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
	FY22	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.7
TOTALS ^f	FY20	797.5	116.3	39.7	90.9	26.0	75.7	87.7	79.3	86.5	131.6	33.5	39.6	1,604.4	
TOTALS ^f	FY20-5	5.0	4.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	10.7	
TOTALS ^f	FY21	954.9	120.2	31.2	88.6	23.7	75.8	63.7	80.4	92.1	117.1	28.0	39.6	1,705.4	
TOTALS ^f	FY21-5	0.6	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	4.9	
TOTALS ^f	FY22	1,108.5	113.3	27.0	83.6	12.6	66.3	65.3	80.4	71.0	112.1	16.6	32.8	1,789.5	
Nondefense TOTALS ^f	FY20	797.5	110.6	38.7	75.4	16.3	5.4	71.8	77.1	53.2	121.4	27.2	31.4	1,426.0	
Nondefense TOTALS ^f	FY20-5	5.0	4.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	10.6	
Nondefense TOTALS ^f	FY21	954.9	102.3	30.8	75.9	13.6	3.6	57.7	78.8	55.8	109.5	19.7	31.7	1,534.4	
Nondefense TOTALS ^f	FY21-5	0.6	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	
Nondefense TOTALS ^f	FY22	1,108.5	107.8	27.0	79.2	12.1	2.9	59.6	80.4	39.6	107.6	12.9	32.5	1,670.2	

A1. Budget Table 2 Notes

a. DARPA and DOD direct AI R&D investments are not publicly available; DOD has reported AI R&D investments in PCAs other than AI. The table shows totals for all nondefense investments and for indirect defense investments in AI.

b. FY20 = FY2020 enacted budgets; FY20-5 = FY2020 supplemental budgets; FY21 = FY2021 enacted budgets; FY21-5 = FY2021 supplemental budgets; and FY22 = FY2022 proposed budgets. The budget supplemental figures for FY2021 and FY2022 have not been used to calculate changes between the FY2021 and FY2022 budget numbers. Please also see footnote 17 on p. 13.

c. For full names of agency subcomponents (departments and offices), please see the Abbreviations list at the end of this document.

d. (1) Examples of AI R&D investments reported under the AI PCA are R&D on general methods for machine vision; (primarily) machine learning; cybersecurity challenges unique to AI, e.g., ability to exploit flaws in an AI system's goals; algorithms for computational linguistics; and neuromorphic computing architectures or chips optimized for neural nets. (2) Examples of AI investments reported in other PCAs are R&D on robots (reported in IRAS); the data analysis and management ecosystem (reported in LSDMA); broad issues of human-machine interaction (reported in Human) and cybersecurity research (reported in CSP); and general neuromorphic computing (reported in EHCS).

e. DOE/NNSA Defense Programs reported AI R&D investments in the EHCS PCA.

f. The Electronics for Networking and Information Technology (ENIT) PCA is new for FY2022.

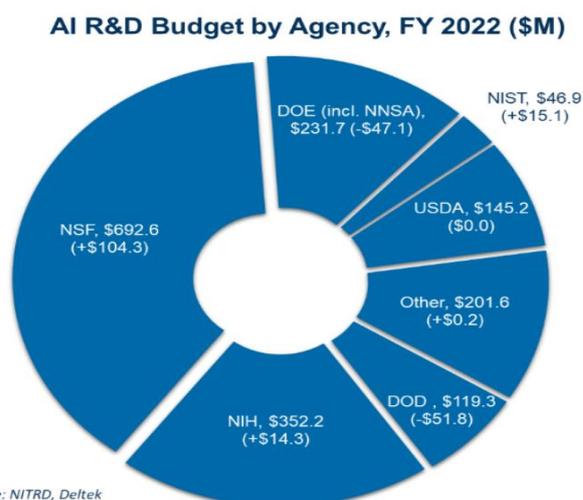
g. Totals might not sum exactly due to rounding.

Source : NITRD

La croissance est continue : 1 436 M\$ réalisé pour l'année fiscale (septembre 2019- septembre 2020, un budget supplémentaire inclus), 1 539 M \$ approuvé pour 2021, 1 670 M\$ pour 2022, soit en trois ans une augmentation de 16 % (pour rappel, recherche civile seule).

La répartition par agence pour l'année fiscale 2022 est la suivante :

Schéma n° 1 : répartition par agence fédérale des crédits de recherche en IA, année fiscale 2022



Source: NITRD, Deltek

Figures in parentheses reflect change compared to FY 2021 enacted budgets, including supplemental FY 2021 funding

Source : NITRD

NB : Les chiffres entre parenthèses reflètent les changements par rapport au budget 2021. Le Congrès peut ensuite amender ces propositions dans le cadre du processus budgétaire. Mais en général le domaine de l'IA fait l'objet d'un relatif consensus partisan.

Comme on le voit la plus grande part du financement (690 M \$), et de son augmentation, revient à la *NSF*, qui supervise les instituts IA. Les Département de la santé (350 M \$), de l'énergie (230 M \$) et de l'agriculture (145 M \$) ont aussi des niveaux de financement élevés. À eux quatre ces organismes représentent plus de 70 % des dépenses fédérales en IA.

Ces chiffres, qui sont les demandes budgétaires de l'exécutif peuvent ensuite être amendés par le Congrès. Mais le domaine de l'IA fait l'objet d'un relatif consensus bipartisan.

Pour obtenir une image globale du budget R&D des États-Unis, il faut prendre en compte en plus, au-delà du financement fédéral les financements provenant des États, des universités, des organisations à but non lucratif et surtout des entreprises. Les données les plus récentes à ce sujet montrent que le financement fédéral ne représente que 20 % du financement de la recherche, : près des trois quarts sont portés par le secteur

privé. Mais il n'est pas possible de faire une règle de trois directement pour obtenir les chiffres pour l'IA. Il faut cependant garder ces ordres de grandeur en tête.

1.5.2 Les crédits pour la recherche en IA du ministère de la défense.

La dépense de recherche du département de la défense (*DoD*) représente près de la moitié du budget fédéral de recherche. Mais la lecture directe du budget n'est pas transparente et le travail fait par le NITRD pour le budget hors défense n'est pas disponible. Les documents d'analyse concordent pour une estimation de l'ordre d'1 Md \$ qui se répartissent sur environ 600 projets. Le plus gros programme de formation lié à l'IA est celui concernant la modernisation des systèmes HPC (*High performance Computing Modernization program, HPCMP*, 200 M \$).

1.5.3 À l'échelle des États

Le financement de la recherche par les États est mineur. Mais il y a quelques exceptions. Certains ont des initiatives ponctuelles (Texas, Massachusetts). Un État se distingue cependant : l'État de Californie, qui s'intéresse à l'évolution du marché de l'emploi.

1.6 La coopération avec les alliés

1.6.1 Comment les États-Unis pèsent-ils sur la définition des standards internationaux ?

Après avoir fait preuve de réticences (pendant la période Trump), les États-Unis participent maintenant à diverses instances internationales dont l'objet est de mieux définir les cadres acceptables pour la gestion des données et les usages de l'IA. Sans rentrer dans le détail, mentionnons : *EU-US Trade and Technology Council (TTC)*, *OECD AI Principles (2019)*, *GPAI (Global Partnership on AI)*, *G7* et *G20*, *GPAI Partnership for AI*, *Bilateral partnership with the UK*.

Les documents qui cadrent la politique américaine en matière d'IA, notamment ceux de la NSCAI (sécurité et défense), plaident pour une approche agressive dans la définition des standards, notamment contre la Chine⁶⁴.

⁶⁴ On lit en particulier la recommandation suivante : “*Work with allies to develop international standards of practice for the development, testing, and use of AI-enabled and autonomous weapon systems*”. Plus globalement, la NSCAI encourage le NIST à être leader sur le sujet : “*NIST should provide and regularly refresh a set of standards, performance metrics, and tools for qualified confidence in AI models, data, and training environments, and predicted outcomes*”.

Le NIST est le principal organisme américain chargé de la proposition de standards. Non contraignants par nature, ces standards sont pourtant souvent adoptés à l'échelle du pays et au niveau international. Le *U.S. Leadership in AI* précise les modalités d'engagement de l'agence : *A Plan for Federal Engagement in Developing Technical Standards and Related Tools*. Ainsi le NIST pilote et participe au développement des standards techniques (y compris au niveau international) qui promeuvent l'innovation et la confiance du public dans les systèmes utilisant l'IA. Il travaille avec le gouvernement et les parties prenantes de l'industrie. Un large spectre de standard pour l'IA, les données, la mesure des performances, la gouvernance sont (et seront de plus en plus) une priorité pour une IA responsable et de confiance. Dans le cas de l'IA, le NIST a explicitement un rôle de coordination interagence qu'il exerce par le biais de l'*Interagency Committee on Standards Policy (ICSP)* et dans lequel a été mis en place un groupe de travail spécifique : *ICSP AI Standards Coordination Working Group*.

Le NIST s'est ainsi attaché à développer des outils d'évaluation des caractéristiques techniques des outils de l'IA de confiance. Il propose des *benchmarks*, jeux de données de référence, et des protocoles permettant des mesures quantitatives, et il explore les limites et les faiblesses que peuvent présenter les algorithmes sur différents aspects : précision, complexité, applicabilité et interprétabilité, confidentialité, fiabilité, robustesse, sûreté, sécurité, et biais - ainsi que comparaison aux performances humaines.

1.6.2 Le renforcement des accords technologiques internationaux

Les États-Unis multiplient les accords et les tentatives de rapprochement avec des pays de différentes régions du monde, *via* des partenariats mondiaux, régionaux ou bilatéraux, en utilisant un discours idéologique : "*like-minded countries*"⁶⁵, "*freedom loving countries*", etc. Initialement opposés au Partenariat Mondial pour l'Intelligence Artificielle (PMIA) lancé par la France et le Canada, les États-Unis l'ont finalement rejoint. Ce partenariat est perçu par les États-Unis comme une opportunité pour former une coalition technologique des démocraties face à la puissance émergente chinoise.

Les Américains souhaitent également se rapprocher de leurs partenaires asiatiques *via* le QUAD (États-Unis, Japon, Inde, Australie) afin de contrer l'influence chinoise dans cette région. Ils ont notamment

⁶⁵<https://www.brookings.edu/research/strengthening-international-cooperation-on-artificial-intelligence/>

créé en mars 2021 un *QUAD Emerging Technology Working Group* spécifiquement dédié aux enjeux technologiques. Le gouvernement américain multiplie les partenariats bilatéraux stratégiques.

Un comité de coopération scientifique et technologique entre le Japon et les États-Unis s'est réuni en mai 2019 et a appelé à une plus grande collaboration bilatérale dans des domaines tels que l'IA, le QIS et l'aérospatial⁶⁶. Lors de leur sommet en avril 2021, le Président Biden et le Premier ministre Suga ont annoncé le lancement d'un nouveau "partenariat pour la compétitivité et l'innovation", officiellement appelé Partenariat États-Unis-Japon pour la compétitivité et la résilience (*CoRe*), qui fournit un cadre pour de nouvelles initiatives.

Les États-Unis sont engagés dans plusieurs partenariats militaires qui ont des répercussions sur les sciences et les technologies. Déjà engagée avec les *Five Eyes* (Australie, Canada, Nouvelle-Zélande et Royaume-Uni) dans le cadre du *Technical Cooperation Program* (TTCP), la défense américaine entend également financer des programmes bilatéraux avec ses alliés.

Plus récemment, en septembre 2021, les États-Unis ont réaffirmé la primauté de leurs partenariats avec leurs alliés anglo-saxons, lors de la signature d'un accord trilatéral avec le Royaume-Uni et l'Australie, baptisé AUKUS.

1.6.3 Comment les États-Unis voient-ils l'Europe, dont la France ?

1.6.3.1 La coopération avec l'Union européenne reste un pivot

L'avance américaine sur le plan industriel et les divergences de vue transatlantiques sur les questions de régulation n'ont pas favorisé un travail de concert dans ce secteur ces dernières années, d'autant que l'attention était davantage tournée vers la Chine. Cependant, la qualité reconnue de la recherche européenne, au moins sur le plan théorique, le début de convergence sur les aspects réglementaires et la menace que, finalement, représentent les avancées de la Chine, amènent les États-Unis à accorder plus de crédit et d'attention à la coopération transatlantique.

Sur le plan de la coopération scientifique, cela se traduit à ce stade par la multiplication d'accords bilatéraux visant à renforcer la coopération et à des tentatives pour accéder, dans de meilleures conditions, aux programmes européens de recherche ; il n'existe pas d'accord-cadre à ce stade.

⁶⁶ https://www.mofa.go.jp/press/release/press4e_002440.html

Pour le dialogue avec l'Europe, l'enceinte la plus significative est le TTC. Lancé en juin 2021, le *EU-US Trade and Technology Council* (TTC) est un forum entre les deux entités visant à coordonner leurs approches sur les enjeux économiques et technologiques. Il se décline en plusieurs groupes de travail, consacrés, notamment, à : *Technology Standards* ; *Climate and Clean Tech* ; *Secure Supply Chains, Information and Communication Technology and Services (ICTS) Security and Competitiveness* ; *Data Governance and Technology Platforms* ; *Misuse of Technology* ; *Threat to Security and Human Rights* ; *Export Controls* ; *Investment Screening* ; *Promotion of Small- and Medium-sized Enterprises (SME)* ; *Access to and Use of Digital Tools* ; *Global Trade Challenges*.

La première rencontre s'est tenue à Pittsburgh en septembre 2021. La déclaration conjointe contient notamment un passage sur l'IA :

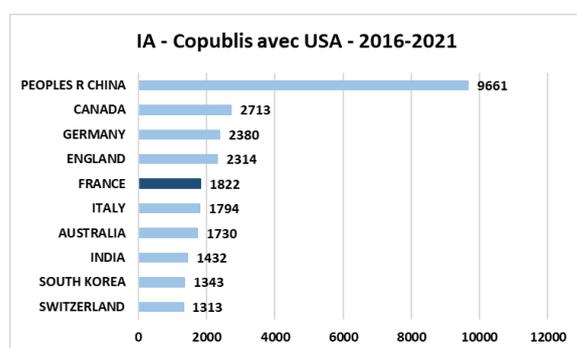
“The European Union and the United States consider that artificial intelligence (AI) technologies have the potential to bring significant benefits to our citizens, societies and economies. AI technologies can help tackle many significant challenges that we face, and they can improve the quality of our lives. The European Union and the United States acknowledge that AI technologies yield powerful advances but also can threaten our shared values and fundamental freedoms if they are not developed and deployed responsibly or if they are misused. The European Union and the United States affirm their willingness and intention to develop and implement AI systems that are innovative and trustworthy and that respect universal human rights and shared democratic values.”

1.6.3.2 L'intérêt pour la coopération franco-américaine

L'apport de la France à la recherche américaine s'est principalement illustré par le volume des co-publications scientifiques et par la fuite de nos talents vers les grandes entreprises de la Tech. La souveraineté technologique américaine en IA a contraint la France et l'UE à adopter des mesures défensives pour pallier les dérives des GAFAMI dans l'acquisition et le traitement des données personnelles. Le retard technologique français a permis de se positionner favorablement sur le plan des compétences mises en application dans les travaux pour la régulation du numérique, l'IA de confiance, l'éthique de l'IA et la réduction des risques de l'IA pour lesquels les États-Unis développent leur effort de recherche.

La France arrive en 5^e position pour l'ensemble des co-publications américaines traitant d'IA, derrière la Chine, le Canada, l'Allemagne, l'Angleterre, mais devant l'Italie et l'Australie.

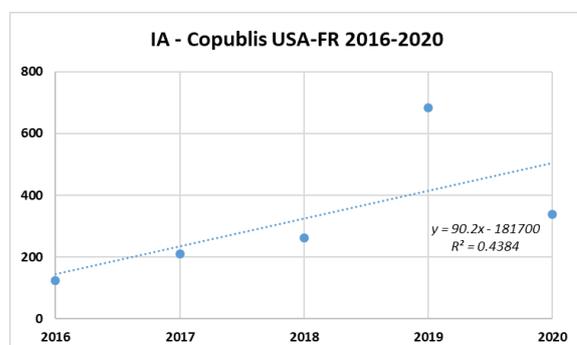
Graphique n° 9 : rang des États dans les co-publications américaines



Source : Brookings Institution

Le nombre moyen de co-publications entre la France et les États-Unis en IA s'élève à 320 par an. L'accroissement du nombre de co-publications en IA est très important (+ 28 % par an, soit + 90 co-publications/an).

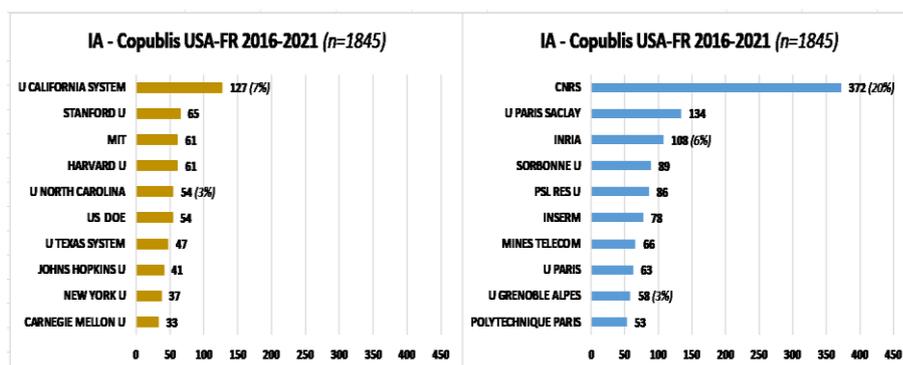
Graphique n° 10 : nombre de co-publications franco-américaines, 2016-2020



Source : Brookings Institution

Pour les États-Unis, la principale université impliquée dans ces co-publications est l'Université de Californie (« system »), suivie par Stanford, MIT et Harvard. Côté français, et sans surprise, c'est le CNRS qui contribue le plus, pour 20 % de ces co-publications. Suivent, très loin, Université Paris Saclay, Inria, Sorbonne Université et Paris Sciences Lettres.

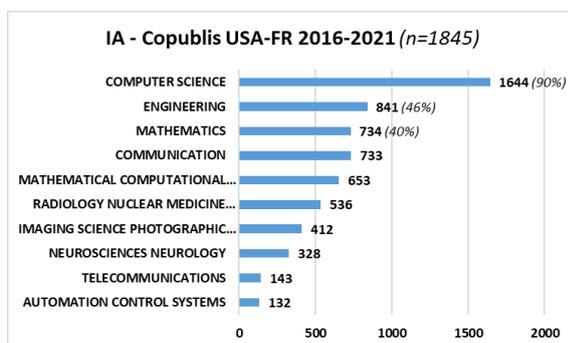
Graphique n° 11 : principales universités impliquées dans les co-publications franco-américaines, 2016-2021



Source : Brookings Institution

Le principal domaine de collaboration est bien sûr l'informatique, mais d'autres domaines tels que l'ingénierie, les mathématiques et la communication sont aussi concernés.

Graphique n° 12 : domaines de collaboration pour les co-publications franco-américaines, 2016-2021



Source : Brookings Institution

Au-delà des nombreuses publications communes, quelques-unes des structures de coopération France / États-Unis conjointes existantes s'intéressent au sujet :

- *International Research Laboratory (IRL) CNRS Stanford-LIRMM* : des liens scientifiques très forts, datant de 2005 et récemment matérialisés par un IRP (*IRProject*) CNRS existent entre Stanford et le

LIRMM. Ils s'articulent autour de la robotique sous-marine, la robotique médicale, et le web sémantique et les ontologies ;

- IRL Université de Lorraine - Georgia Tech : Campus GATech technopôle de Metz - informatique, électronique ;

- IRP CNRS NANOelec : étude spintronique pour applications et composants électroniques frugaux en énergie. C2N Paris-Saclay + Université de Lorraine + UC San Diego + New York University ;

- IRP CNRS MAKC : recherche sur la compilation de connaissances et l'IA. *Automated Reasoning Group of the University of California at Los Angeles* (UCLA) - Centre de Recherche en Informatique de Lens (CRIL UMR 8188 CNRS - Université d'Artois).

Un accord NSF-ANR permet de financer des projets dans le numérique et donc, notamment, en IA. Par ailleurs, la NSF apporte un soutien financier aux projets de collaboration internationale portés par ses *AI Institutes*.

En outre, le service pour la science et la technologie de l'ambassade de France aux États-Unis finance le programme Chateaubriand et le fonds Thomas Jefferson qui soutiennent, notamment, des projets de recherche conjoints en IA.

Dans le cadre du comité mixte Sciences & Technologies qui s'est tenu entre la France et les États-Unis les 6 et 7 décembre 2021 à Washington, l'IA a été retenue comme l'un des thèmes prioritaires pour la coopération. En amont de cette rencontre qui se tenait au niveau ministériel a été organisée une table ronde entre experts français et américains du domaine et visant à préciser les sujets sur lesquels un renforcement de la coopération pourrait être fructueux.

2. Les points d'application de cette stratégie dans les principaux domaines

2.1 La politique des données et sa coordination

La collecte des données pose un problème matériel (capture, organisation, stockage, nettoyage, etc.) et soulève des questions juridiques (droits de propriété, données critiques, etc.), *a fortiori* quand il s'agit de données à caractère personnel. Les acteurs en position de collecter les données ont su profiter de leur avantage pour développer et nourrir des algorithmes. Mais il est apparu important de mettre en place une infrastructure commune.

Pilotée par le Conseil des *Chief Data Officer*⁶⁷ des principales agences fédérales, la *Federal Data Strategy* a pour mission de créer une stratégie et une infrastructure avec une vision à 10 ans. Le site data.gov donne accès à des données gouvernementales ouvertes. Plus ambitieuse, la *National AI Research Resource* (NAIRR) est mise en place à l'échelle fédérale par la *task force NAIRR* (NAIRRTF). Dans une optique comparable, certains partenariats public-privé se sont mis en place pour permettre l'accès de la force publique à certaines données collectées par le secteur privé.

La position générique américaine a été de privilégier une certaine liberté d'usage pour ne pas entraver les perspectives d'innovation (*light touch regulation*). Cependant, cette position initialement appréciée par les acteurs du numérique a commencé par montrer ses limites (abus, questions de confidentialité, perte de confiance des grands acteurs) et la situation évolue.

Il reste qu'il n'existe toujours pas de loi unificatrice à l'échelle fédérale. Seules certaines problématiques spécifiques sont prises en compte par l'État fédéral.

2.1.1 Initiatives fédérales en IA pour faciliter l'accès aux données.

Lancée en 2018, la *Federal Data Strategy* mission publie chaque année un plan d'action⁶⁸.

La NAIRRTF (*National AI Research Resource Task Force*)⁶⁹ est chargée de proposer des directives pour une plateforme de partage des ressources en IA pour les principaux acteurs du secteur. Elle fournira un rapport intermédiaire en mai 2022 et un rapport final en novembre 2022, puis sera dissoute. L'avantage d'un tel écosystème sera peut-être aussi, à plus long terme, de former un système clos dans lequel il faut entrer pour en tirer les bénéfices, ce qui pourra être un argument pour inciter les start-up étrangères et les chercheurs en IA à venir s'installer aux États-Unis. Les comptes rendus des rencontres de la *task force* sont accessibles.

Le NIST joue un rôle important en proposant des standards et des cadres qui peuvent être repris par la puissance législative, le cas échéant. D'autre part, l'*Office of Management and Budget* (OMB) *Guidance for*

⁶⁷ <https://www.cdo.gov>

⁶⁸ (<https://strategy.data.gov/2021/action-plan/>)

⁶⁹ <https://www.ai.gov/nairrtf/>

Regulation of Artificial Intelligence détaille les recommandations de l'exécutif pour la régulation de l'IA. Le site dataguidance.com fait un point, y compris international, sur les législations liées à la gestion des données. Enfin, diverses initiatives en prise avec le secteur privé et encouragées par le plan stratégique de 2019 visent à tirer un meilleur parti de données collectées, ou à mieux comprendre les enjeux de l'IA, dans le secteur privé en vue de mieux la réguler.

2.1.2 La régulation des données : règlementations étatiques vs fédérales

Il n'existe toujours pas de loi unificatrice à l'échelle fédérale⁷⁰. Au niveau fédéral, la *Federal Trade Commission* (FTC) a une large compétence sur les entités commerciales pour empêcher les "*pratiques commerciales trompeuses*" qui peuvent inclure la confidentialité des données. C'est le principal régulateur pour les géants du numérique. Elle a adopté trois textes importants pour les utilisateurs et les développeurs d'IA⁷¹: *FTC Act* ; *Fair Credit Reporting Act* ; *Equal Credit Opportunity Act*.

Seules certaines problématiques spécifiques (protection des enfants, des données de santé, des consommateurs, etc.) sont prises en compte mais reposent sur des textes datés⁷². Seuls trois États ont passé une législation sur la confidentialité des données des consommateurs : la Virginie, le Colorado, la Californie. Mais des projets de loi ou de résolution générales sur l'IA ont été introduits dans 17 États.

2.2. Le déploiement des infrastructures et le financement de l'écosystème IA

La couche matérielle de l'intelligence artificielle se décline en trois catégories interconnectées : Calcul ; mémoire et stockage ; réseau.

⁷⁰<https://www.govtech.com/security/data-privacy-experts-talk-future-of-federal-state-legislation>

⁷¹<https://www.ftc.gov/news-events/blogs/business-blog/2021/04/aiming-truth-fairness-equity-your-companys-use-ai>

⁷²<https://www.educause.edu/focus-areas-and-initiatives/policy-and-security/cybersecurity-program/resources/information-security-guide/hot-topics/federal-data-protection-laws> : *Privacy Act* (1974), *Family Educational Rights and Privacy Act* (1974), *Health Insurance Portability and Accountability Act* (1996), *Children's Online Privacy Protection Act* (1998), *Gramm Leach Bliley Act* (1999, protection des consommateurs), *E-Government Act* (2002), *Federal Information Security Management Act* (2002), *Fair and Accurate Credit Transaction Act* (2003, *Red Flags Rule*)

Les États-Unis sont leaders mondiaux pour le développement du calcul intensif en support à la recherche en IA : le document le plus récent guidant la stratégie américaine est *Pioneering the Future Advanced Computing Ecosystem* qui prolonge le plan stratégique de 2015⁷³. L'offre de calcul intensif pour la recherche est pilotée par la *NSF* et le *DOE* mais d'autres structures, notamment le *DOD* (programme de modernisation du parc HPC déjà mentionné), le *NIH* ou la *NASA*, disposent de structures de calcul haute performance dédiées à la recherche.

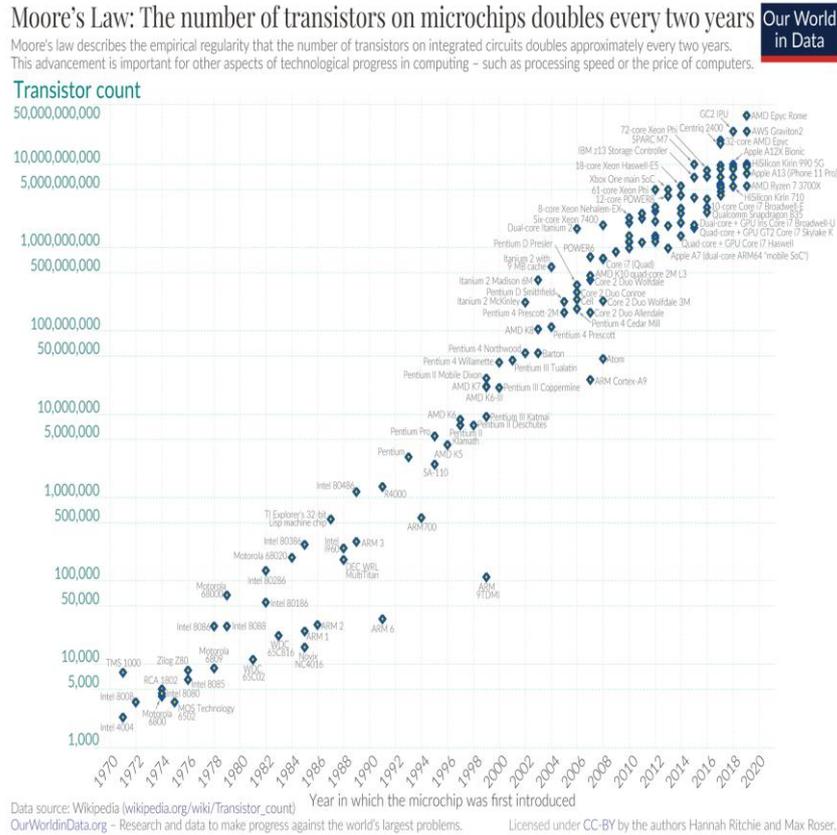
L'organisation de l'ensemble repose de plus en plus sur un stockage (notamment des données) sur le *cloud*. Les États-Unis sont bien dotés puisque les GAFAMI sont les principaux pourvoyeurs d'offres. L'administration se repose essentiellement sur cette offre privée mais met en place des procédures visant à assurer le niveau d'intégrité et de sécurité adéquat (voir *Federal Cloud Strategy CIO*). La qualité du réseau permettant l'échange des informations est naturellement importante (vitesse de transmission, stockage distant, bande passante). L'un des enjeux du développement de la 5G est la multiplication des objets connectés (IoT) susceptibles de démultiplier la capacité de collecte de données dont un traitement intelligent doit pouvoir offrir de nombreux services.

2.2.1 Processeurs

Le calcul est le cœur de la mise en œuvre des algorithmes de *machine learning* et de *deep learning*. Au regard de la quantité de données à traiter et de la complexité des algorithmes IA, il convient en effet de développer des microprocesseurs capables de réaliser des tâches complexes en un temps limité. Les processeurs traditionnels, dits CPU (*Central Processing Unit*) et GPU (*Graphics Processing Unit*), sont les composants de calcul les plus communs du marché. Les performances desdits composants reposent sur la loi de Moore. Cette loi indique que le nombre de transistors, composants élémentaires des circuits de microprocesseurs fonction de la puissance de calcul, est chronologiquement proportionnel à l'effort de R&D comme suit :

⁷³Voir aussi l'évaluation réalisée par le GAO : <https://www.gao.gov/assets/720/716924.pdf>

Schéma n° 2 : nombre de transistors en fonction de la puissance de calcul – évolution chronologique 1970-2020



Source : Wikipedia - recherche de Mme Hannah Ritchie et M. Max Roser

Pour les besoins en puissance de calcul et en considérant la production industrielle actuelle, les processeurs CPU et GPU restent majoritaires. Les microprocesseurs “*more than Moore*”, comme les ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) ou FPGA (*Field-Programmable Gate Array*), commencent néanmoins à émerger et l’effort de recherche en ce sens s’intensifie pour anticiper les besoins de performances de demain. À titre illustratif, le fabricant de semi-conducteurs américain AMD (*Advanced Micro Devices*) a fait en 2022 l’acquisition de Xilinx, autre

entreprise de semi-conducteurs et inventeur du FPGA, valorisée à 49 Md\$⁷⁴.

Le rapport de la NSCAI⁷⁵ insiste sur l'importance de la mise en œuvre de la stratégie nationale microélectronique en soutien au développement de l'IA. Il recommande en outre de dynamiser la recherche (1,1 Md\$ pour la recherche semi-conducteur et 1 Md\$ pour le *Advanced Packaging National Manufacturing Program*) en microélectronique et l'industrialisation "locale" (notamment doubler le crédit d'impôt) pour maîtriser les enjeux des prochaines générations de puces, notamment dédiées à l'IA, évaluant l'investissement nécessaire à 12 Md\$ sur cinq ans.

2.2.2 Calcul Haute Performance (HPC)

Les États-Unis disposent de ressources exceptionnelles comme le *Summit scientific supercomputer* du laboratoire national *Oak Ridge* (DOE) et le *Frontier supercomputer* qui sont parmi les plus puissants ordinateurs conçus pour accélérer l'innovation en IA. Ils peuvent compter aussi sur *Frontera* (NSF), le plus important système HPC dédié au monde académique et le *Pleiades supercomputer* de la NASA, qui dispose de nouveaux modules IA.

L'investissement du *DoE* dans le HPC est passé de moins de 300 M\$ en 2010 à près de 600 M\$ en 2020. Il sert plus spécialement les chercheurs en IA avec des demandes de calcul lourds par le biais du programme d'allocation *Innovative and Novel Computational Impact on Theory and Experiment* (INCITE).

La NSF, dont l'investissement a plutôt baissé sur la même période (de plus de 300 M\$ à moins de 200 M\$) sert plus naturellement la grande masse des chercheurs avec des besoins individuels moindres. Son programme d'allocation de ressources *Extreme Science and Engineering Discovery Environment* (XSEDE), coordonne le partage de huit systèmes HPC hébergés sur quatre sites : *Indiana University* ; *Texas Advanced Computing Center* (TACC) ; *Pittsburgh Supercomputing Center* (PSC) ; et *San Diego Supercomputer Center* (SDSC).

Les centres du *DoD* mettent aussi à disposition une puissance de calcul conséquente : ils cumulent 4,5 Md d'heures de calcul par an et plus

⁷⁴ <https://www.amd.com/fr/corporate/xilinx-acquisition>
<https://www.reuters.com/technology/amd-closes-biggest-chip-acquisition-with-498-blm-purchase-xilinx-2022-02-14/>

⁷⁵ <https://reports.nscai.gov/final-report/chapter-13/>

de 42 petaFLOPS de capacité de calcul répartis sur plusieurs systèmes HPC ; ils offrent une capacité de stockage de masse qui excède les 100 petabytes ; le réseau permet une connexion grande vitesse aux utilisateurs jusqu'à 40 gigabits/sec. Le DOD a mis en œuvre un programme de modernisation de ses structures : *High Performance Computing Modernization Program* (HPCMP).

Signalons aussi l'interface créée entre la NSF et le secteur privé par le biais des instituts pluridisciplinaires et le fait qu'il existe aussi, bien sûr, une offre commerciale.

2.2.3 Les infrastructures *cloud*

Les infrastructures *cloud* permettent l'accès à des services de calcul, de stockage, de logiciels et de réseau à distance *via* internet à partir d'un fournisseur de services ou accessible *via* un réseau local privé. Les trois principaux services de *cloud computing* du marché sont :

- IaaS (*Infrastructure as a Service*) : le fournisseur de service donne un accès à la demande à des ressources informatiques telles que des réseaux, du stockage et des serveurs ;
- PaaS (*Platform as a Service*) : le fournisseur de service donne accès à un environnement de *cloud* dans lequel le client développe, gère et héberge ses applications *via* la fourniture d'outils par la plateforme pour soutenir les tests et le développement. Le fournisseur est responsable de l'infrastructure sous-jacente, de la sécurité, des systèmes d'exploitation et des sauvegardes ;
- SaaS (*Software as a Service*) : le fournisseur de service donne accès à son logiciel propriétaire hébergé dans le *cloud*, ce qui permet d'éviter d'installer l'application logicielle sur les appareils locaux clients pour accéder à l'application en utilisant le web ou une API.

Les GAFAMI et, par extension, les entreprises américaines dominent le marché mondial de fourniture de services *cloud*. Au dernier trimestre 2021, les entreprises américaines représentaient près des trois quarts des parts du marché mondial. Fournisseur du tiers des services infrastructures *cloud* à l'échelle internationale, Amazon Web Services reste largement en tête du classement selon le rapport de *Kinsta* de février 2022.⁷⁶

⁷⁶ <https://kinsta.com/blog/cloud-market-share/>

Les applications du *cloud computing* résident principalement dans leur fort potentiel commercial. À cet effet, les acteurs privés ont largement investi en recherche et développement d'infrastructures. La recherche publique aux États-Unis s'est peu emparée de la recherche et de l'investissement dans les infrastructures *cloud* ; les services *cloud* du gouvernement et des institutions fédérales sont hébergés par les plateformes de fournisseurs privés américains. En outre, les politiques fédérales de régulation et d'accès aux données propriétaires permettent au gouvernement des États-Unis de mettre à disposition ses données aux fournisseurs d'infrastructures, de plateformes et de solutions logicielles de *cloud computing* sans compromettre la sécurité nationale. En novembre 2021, le DoD a lancé un appel d'offres auprès de plusieurs acteurs, tels que Microsoft, Google, Amazon et Oracle, pour le déploiement d'infrastructures *cloud* fédérales estimé à hauteur de 10 Md\$.

L'extraterritorialité de ces réglementations est un obstacle substantiel dans le déploiement de services *cloud* américains en France et en Europe. Par exemple, le groupement d'intérêt public français *Health Data Hub* a retiré en janvier 2022 sa demande d'autorisation auprès de la CNIL, l'hébergement de la plateforme étant opéré par Microsoft Azure, fournisseur américain soumis aux mêmes régimes d'accès aux données par le gouvernement des États-Unis.⁷⁷

2.3 La formation

2.3.1 Les stratégies de formation

La transformation de la société grâce aux services numériques exige que tout le monde ait une compréhension basique des nouvelles technologies. La question de la formation de "tous" a été portée par l'État fédéral :

- le *Federal 5-Year STEM Education Strategic Plan*, créé en décembre 2018 par le *National Science and Technology Council's Committee on STEM Education* (CoSTEM), souligne les objectifs de l'éducation STEM ;
- le *Presidential Memorandum for the Secretary of Education* vise à allouer 200 M\$ en fonds de subvention chaque année pour promouvoir les enseignements d'informatique et des STEM ;
- le décret présidentiel *Maintaining American Leadership in Artificial Intelligence* de 2019 insiste lui aussi sur la question de la formation en STEM à grande échelle ;

⁷⁷https://www.lemonde.fr/pixels/article/2022/01/11/sante-coup-d-arret-pour-le-controverse-health-data-hub_6109065_4408996.html

- le rapport de la NSCAI (Notamment Tab3, Part 2 du Rapport Q3) insiste, lui aussi, sur la question de la formation générale aux STEM et aux concepts de l'IA et avance de nombreuses recommandations (« *The United States must prioritize cultivating homegrown talent by making long-term investments in STEM education* »).

Concernant l'enseignement supérieur, chaque agence propose des programmes de financement et de bourses visant à faire avancer la recherche en l'IA, à l'instar du *National Science Foundation Graduate Research Fellowship Program* (GRFP) ou du *National Defense Science and Engineering Graduate Fellowship*.

Les universités ont naturellement orienté certains de leurs programmes, au niveau Master notamment, vers l'IA. Celles dont la réputation en recherche est excellente sont celles dont les programmes sont les plus visibles. Les nombreux classements utilisés par les étudiants pour choisir leurs établissements permettent de se faire une idée des meilleurs établissements : on pourra se référer par exemple au classement *Successful Student* qui détaille aussi les contenus des cursus proposés. Le haut du panier est sans surprise :

- *Carnegie Mellon University*, Pittsburgh, Pennsylvania ;
- *Stanford University*, Stanford, California ;
- *Massachusetts Institute of Technology*, Cambridge, Massachusetts ;
- *University of California-Berkeley*, Berkeley, California ;
- *Harvard University*, Cambridge, Massachusetts.

Concernant la formation continue, on relève l'investissement important du DoD dans la formation aux technologies émergentes : *Executive Education on Emerging Technologies for Senior Civilian and Military Leaders* (Title II, Sec. 228 de NDAA). L'administration fédérale estime qu'elle doit former son personnel : le *AI Training Act* vise à aider les employés fédéraux à comprendre l'IA et à s'informer sur les nouvelles technologies.

De leur côté, les entreprises ne sont pas en reste. Les grands groupes proposent tous des formations à divers niveaux : ils disposent des compétences et de la réputation puisqu'ils sont aux avant-postes de la recherche. À titre d'exemples : le Programme de formation d'INTEL, le dossier "changer la manière d'apprendre" (Accenture) qui est plus axé sur la manière dont l'IA transforme le travail, le programme *NVIDIA Deep Learning Institute* qui propose de multiples ressources, le programme *Microsoft Learn* qui propose des outils pour un apprentissage autonome, IBM qui propose un programme de reconversion vers les métiers de l'IA

(dans l'esprit de l'*American Workforce Policy Advisory Board* créé par décret exécutif du Président Trump).

2.3.2 La prise en compte de l'interdisciplinarité

L'intelligence artificielle est une composante de l'informatique avec d'importants aspects mathématiques, notamment en statistique. Mais elle induit une recherche de nature transdisciplinaire, du fait de ses multiples champs d'application. Enfin, certaines applications portent des enjeux de société (éthiques, juridiques, usages, etc.) qui gagnent à être pris en compte très tôt. Ce caractère multidisciplinaire induit de nouvelles organisations de la recherche, que ce soit au niveau fédéral (Instituts de la NSF, par exemple) ou au sein des universités.

2.3.3 Quelques domaines d'applications

Le *AI Index* est une initiative indépendante du *HAI (Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence)*, dirigé par le *AI Index Steering Committee*, un groupe d'experts indépendants venant de l'industrie et du monde académique. Selon le *AI Index Report 2021*, le secteur de la santé (pharmacie, cancer, nouveaux traitements) est le premier secteur (14 Md\$), quatre fois plus qu'en 2019. On peut citer aussi d'autres secteurs à forte croissance : transport, changement climatique, robotique, éducation...

2.4.2 Des instituts pluridisciplinaires.

Aux États-Unis, les universités sont structurées historiquement en "départements" (*Divisions*) disciplinaires (biologie, business, etc.), chargés de gérer la carrière des chercheurs titulaires qui y sont affectés et de diplômer des étudiants. Cette organisation étant très rigide, une solution consistant à créer des instituts transversaux, impliquant des chercheurs de plusieurs départements, est souvent préférée à la création de nouveaux départements. Chaque chercheur définit la proportion de son temps passé au profit des instituts et du département auxquels il est affilié, son salaire est ainsi payé par chacun au *prorata temporis*.

Les dernières années ont vu la création d'un grand nombre d'instituts d'IA aux États-Unis, parfois répartis sur des universités situées dans différents États : sept "*AI institutes*" ont été créés en 2020, 11 en 2021, chacun étant doté à hauteur de 20 M\$ apportés par la NSF. La supervision ou la coordination apportée par la NSF, en contrepartie de cet argent, est modérée. Il s'agit essentiellement d'un "chèque" de la NSF aux chercheurs responsables de la création d'une nouvelle structure. En contrepartie, il revient aux chercheurs de pérenniser ces structures.

En l'absence de financements exceptionnels comme ceux de la *NSF*, dans le cadre du programme national d'IA du gouvernement américain, l'argent provient généralement de la philanthropie. Par exemple, le *Berkeley Institute for Data Science* (BIDS), qui mène une recherche de haut niveau au sein de UC Berkeley, a été créé en 2013, grâce à des financements importants (37,8 M\$) apportés par deux fondations philanthropiques.

2.5 Les centres de la *NSF* et les autres

2.5.1 Les centres de la *NSF*

Sept Instituts ont été créés en 2020 :

- *NSF AI Institute for Research on Trustworthy AI in Weather, Climate, and Coastal Oceanography* (piloté par *University of Oklahoma*, Norman Campus) ;
- *USDA-NIFA AI Institute for Next Generation Food Systems* (piloté par *University of California*, Davis) ;
- *NSF AI Institute for Foundations of Machine Learning* (piloté par *University of Texas*, Austin) ;
- *NSF AI Institute for Student-AI Teaming* (piloté par *University of Colorado Boulder*) ;
- *USDA-NIFA AI Institute for Future Agricultural Resilience, Management, and Sustainability* (AIFARMS) (piloté par *University of Illinois*, Urbana-Champaign) ;
- *Molecule Maker Lab Institute (MMLI): NSF AI Institute for Molecular Discovery, Synthetic Strategy, and Manufacturing* (piloté par *University of Illinois*, Urbana-Champaign) ;
- *NSF AI Institute for Artificial Intelligence and Fundamental Interactions* (piloté par *Massachusetts Institute of Technology*).

11 Instituts ont été créés en 2021 :

- *NSF AI Institute for Collaborative Assistance and Responsive Interaction for Networked Groups* (piloté par *Georgia Tech*, partiellement financé par Amazon et Google) ;
- *NSF AI Institute for Advances in Optimization* (piloté par *Georgia Tech*, partiellement financé par Intel). La NSF a accordé 20 M\$ à la recherche interdisciplinaire en IA entre *Georgia Institute of Technology*, UC Berkeley, et *University of Southern California*. Ils sont les dirigeants du nouvel institut "*National AI Institute for Advances in Optimization*" qui travaillera avec d'autres universités comme *Clark Atlanta University*, *Spelman College* et *University of*

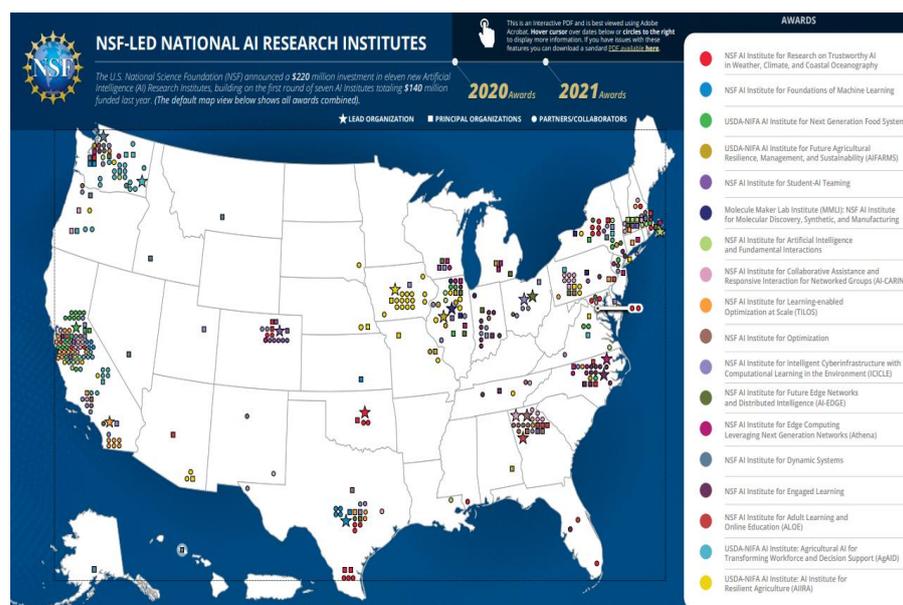
Texas, Arlington aussi bien qu'avec des lycées des minorités noires et hispaniques en Californie et Géorgie⁷⁸ ;

- *NSF AI Institute for Learning-Enabled Optimization at Scale* (piloté par *University of California, San Diego*, partiellement financé par Intel) ;
- *NSF AI Institute for Intelligent Cyberinfrastructure with Computational Learning in the Environment* (piloté par *Ohio State University*) ;
- *NSF AI Institute for Future Edge Networks and Distributed Intelligence* (piloté par *Ohio State University*, partiellement financé par DHS) ;
- *NSF AI Institute for Edge Computing Leveraging Next-generation Networks* (piloté par *Duke University*, partiellement financé par DHS) ;
- *NSF AI Institute for Dynamic Systems* (piloté par *University of Washington*, partiellement financé par DHS) ;
- *NSF AI Institute for Engaged Learning* (piloté par *North Carolina State University*) ;
- *NSF AI Institute for Adult Learning and Online Education* (piloté par *Georgia Research Alliance*, partiellement financé par Accenture) ;
- *The USDA-NIFA Institute for Agricultural AI for Transforming Workforce and Decision Support* (piloté par *Washington State University*, financé par USDA-NIFA) ;
- *The AI Institute for Resilient Agriculture* (piloté par *Iowa State University*, financé par USDA-NIFA).

Au total, la carte est la suivante :

⁷⁸ [UC Berkeley, Georgia Tech and USC launch new National AI Research Institute](#)

Carte n° 2 : principaux instituts de recherche en IA financés par la NSF (National Scientific Foundation)



Source : NSF

2.5.2 D'autres exemples de centres de recherches ont été mis en place par les universités :

- MIT - *Schwarzman College of Computing* : le *Stephen A. Schwarzman College of Computing* du MIT est un collège du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), situé à Cambridge, dans le Massachusetts, aux États-Unis. Le MIT a bénéficié d'un don de 350 M\$ de Stephen A. Schwarzman, président, PDG et cofondateur de Blackstone, et il s'est engagé à hauteur d'1 MD\$ dans cette nouvelle initiative centrée autour de l'intelligence artificielle.
- MIT - *Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory* (CSAIL). Le *MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory* ou laboratoire de recherche en informatique et intelligence artificielle du MIT est un laboratoire de recherche au sein du *Massachusetts Institute of Technology*. Le CSAIL est dirigé depuis 2012 par Mme Daniela Rus, titulaire de la chaire Andrew (1956) et Erna Viterbi d'ingénierie électrique et d'informatique.

- *New York University*. L'institut *AI Now*⁷⁹ de *New York University* produit une recherche interdisciplinaire visant à assurer une utilisation responsable de l'IA dans les communautés. Son programme s'articule autour de quatre grandes thématiques : droits et libertés, travail et automatisation, biais et inclusion, sûreté et infrastructures critiques.
- *UCSF - Center for Digital Health Innovation (CDHI)*⁸⁰. Le CDHI de l'Université de Californie à San Francisco (UCSF) a une approche relativement descendante, qui vise à identifier dans un premier temps des besoins en matière d'applications à fort impact puis, pour chacune d'elles, de monter une équipe pluridisciplinaire composée de médecins et chercheurs de UCSF qui travaillent en boucle rapide avec des développeurs et des scientifiques membres permanents du CDHI.
- *UCSF Center for Intelligent Imaging (CI2)*⁸¹. L'UCSF a créé en octobre 2019 le CI2, une structure au sein du *Department of Radiology and Biomedical Imaging* qui rassemble des personnels de UCSF (principalement des radiologues, mais aussi des chirurgiens, oncologues, ophtalmologistes) et des ingénieurs de chez NVIDIA⁸² autour du thème de recherche multidisciplinaire sur l'application de l'IA à la radiologie pour l'amélioration du diagnostic.
- *Stanford Center for Digital Health (SCDH)*⁸³. Le SCDH est situé au sein de la *School of Medicine* de Stanford et exploite les ressources de cette dernière, tout en travaillant avec des partenaires académiques et industriels. Le spectre des recherches s'articule autour de l'utilisation des technologies digitales au profit de la santé : traitement de données de santé par des algorithmes, capteurs portables, etc.
- *Stanford Center for Artificial Intelligence in medicine and imaging (CAIMI)*⁸⁴. Ce centre s'appuie sur des compétences présentes à Stanford en imagerie médicale clinique, bio-informatique, statistiques, génie électrique et informatique. Son objectif est de soutenir le développement, l'évaluation et la diffusion de nouvelles méthodes d'IA appliquées à toutes les étapes de l'imagerie médicale.

⁷⁹ <https://ainowinstitute.org>

⁸⁰ <https://www.centerfordigitalhealthinnovation.org/>

⁸¹ <https://intelligentimaging.ucsf.edu/>

⁸² Nvidia Corporation est une entreprise américaine spécialisée dans la conception de processeurs graphiques, de cartes graphiques et de puces graphiques pour PC et consoles de jeux. Son siège est à Santa Clara en Californie. <https://www.nvidia.com/fr-fr/>

⁸³ <https://med.stanford.edu/cdh.html>

⁸⁴ <https://aimi.stanford.edu/research/focal-areas/deep-learning-computer-vision>

- *Texas A&M* : à l'université de *Texas A&M*, les laboratoires de recherche en IA se trouvent principalement au sein du *Department of Computer Science and Engineering*. Mais on trouve aussi le *Oden Institute*, dont la mission est de fournir un environnement interdisciplinaire inclusif qui permette une recherche d'excellence. L'institut Oden, qui dispose de plus de 74 M\$ en fonds de recherche actifs, a récemment signé un *Memorandum of Understanding* avec le *Alan Turing Institute* (<https://www.turing.ac.uk/>) situé en Angleterre.
- *Massachusetts General Hospital (MGH) & Brigham and Women's Hospital (BWH) Center for Clinical Data Science (CCDS)*⁸⁵: le MGH&BWH CCDS a pour principale vocation d'exploiter les grandes masses de données de ses partenaires hospitaliers (le MGH et le BWH) pour apporter à ces derniers des plateformes de traitements et d'analyses et des outils d'IA. Le centre a un partenariat avec NVIDIA qui lui apporte des moyens de calculs.
- *Center for Machine Learning and Health (Carnegie Mellon University, University of Pittsburgh, Pittsburgh Health Data Alliance)*⁸⁶. Créé en 2015, le *Pittsburgh Health Data Alliance (PHDA)* et son *Center for Machine Learning and Health (CMLH)* fusionnent les compétences en informatique et les infrastructures et capacités de calcul de l'université Carnegie Mellon (CMU) avec l'expertise en recherche de santé de l'université de Pittsburgh et l'expertise clinique de l'*University of Pittsburgh Medical Center (UPMC)*, système hospitalier. Il s'agit de tirer profit de la masse importante de données générées en milieu clinique (à l'UPMC) pour améliorer les diagnostics médicaux mais également pour développer de nouvelles solutions thérapeutiques et des outils pour les médecins comme pour les chercheurs d'excellence en Pennsylvanie.
- *Massachusetts General Hospital (MGH) & Brigham and Women's Hospital (BWH) Center for Clinical Data Science (CCDS)*⁸⁷. Le MGH&BWH CCDS a pour principale vocation d'exploiter les grandes masses de données de ses partenaires hospitaliers (le MGH et le BWH) pour apporter à ces derniers des plateformes de traitements et d'analyses et des outils d'IA. Le centre a un partenariat avec NVIDIA qui lui apporte des moyens de calculs.

⁸⁵ <https://www.ccds.io/>

⁸⁶ <https://www.cs.cmu.edu/cmlh-cfp>

⁸⁷ <https://www.ccds.io/>

- Programme AIM-HI, AI + *Medicine for High Impact* (*University of Maryland*, Baltimore et *University of Maryland*, College Park) : cours en ligne de l'université Johns Hopkins⁸⁸.
- *Duke AI Health*⁸⁹: Duke AI Health est une initiative multidisciplinaire couvrant l'ensemble du campus de *Duke University* à Durham (Caroline du Nord), qui exploite l'expertise et les connaissances de plusieurs écoles, centres et instituts de l'université pour mettre à profit l'apprentissage automatique et des aspects quantitatifs connexes dans le domaine de la médecine, de la prestation de soins de santé et de la santé des individus et des communautés. Elle propose aussi une acculturation des médecins à la thématique de l'IA.

Outre l'établissement de centres interdisciplinaires, d'autres formats plus souples permettent aux chercheurs de diverses disciplines de collaborer. Ainsi, les campus de Baltimore et *College Park* de l'Université du Maryland ont lancé un programme en 2019 avec un budget de 41,8 M\$ sur trois ans.

3. Une position dominante, avec un débat sociétal qui s'anime

3.1 Publications scientifiques et brevets

3.1.1 Publications scientifiques : les États-Unis dépassés par la Chine en quantité mais pas en qualité

Nous dressons ici une vue d'ensemble de la production scientifique en IA dans le monde et aux États-Unis, de 2000 à 2020, en nous référant au *AI Index Report* de l'Université Stanford ainsi qu'à la base de données Lens.org. Le graphique ci-dessous montre la progression des publications scientifiques en IA depuis 2000, avec une croissance qui devient exponentielle (doublement tous les trois ans) à partir de 2015. Les publications en IA ont représenté 3,8 % des publications scientifiques totales en 2019, contre 1,3 % en 2011.

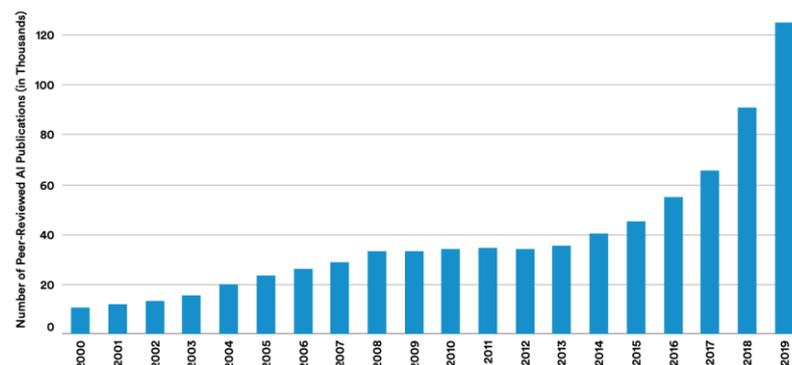
⁸⁸ <https://today.umd.edu/articles/maryland-researchers-combine-ai-medicine-major-health-challenges-89e26ba9-f8b7-42d6-abfb-94f09ba8f299>

⁸⁹ <https://aihealth.duke.edu/>

Graphique n° 13 : évolution du nombre de publications scientifiques revues par les pairs en IA dans le monde, 2010-2019

NUMBER of PEER-REVIEWED AI PUBLICATIONS, 2000-19

Source: Elsevier/Scopus, 2020 | Chart: 2021 AI Index Report



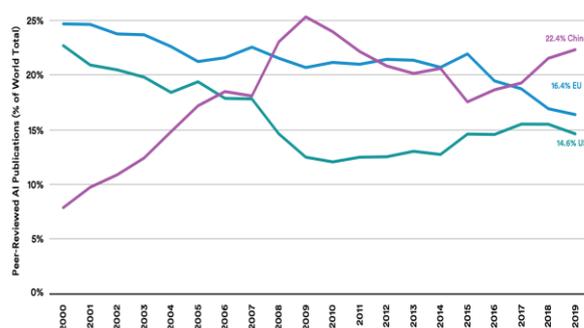
Source : Elsevier/Scopus 2020 - AI Index report 2021

Si les États-Unis conservent une production très élevée en matière de publications en intelligence artificielle (18 000 en 2019), ils ont été rattrapés, et même dépassés, par la Chine dans la plupart des domaines de recherche en IA. La Chine a publié beaucoup plus d'articles de recherche en IA que les États-Unis en 2020 (22 % du total, contre 14,6 %). En revanche, en termes de citations, la Chine et les États-Unis sont au coude-à-coude, ce qui semble indiquer une meilleure qualité des publications américaines.

Graphique n° 14 : part dans le total mondial des publications sur l'IA revues par les pairs

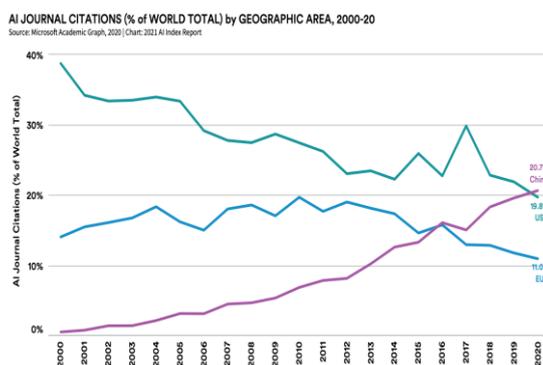
PEER-REVIEWED AI PUBLICATIONS (% of WORLD TOTAL) by GEOGRAPHIC AREA, 2000-19

Source: Elsevier/Scopus, 2020 | Chart: 2021 AI Index Report



Source : Elsevier/Scopus 2020, AI Index report 2021

Graphique n° 15 : part dans le total mondial des citations de publications scientifiques sur l'IA revues par les pairs

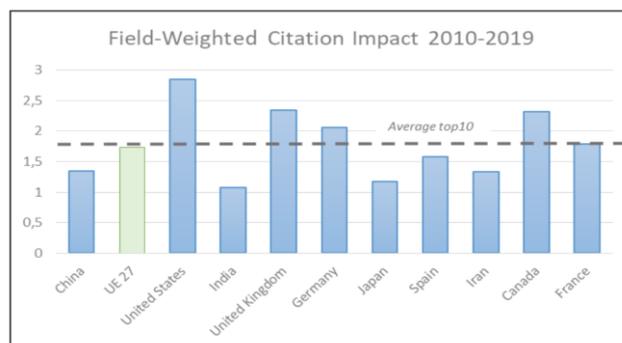


Source : Microsoft Academic Graph 2020, AI Index report 2021

Afin d'évaluer plus précisément la qualité de la recherche au sein d'un pays, nous pouvons nous référer au *Field-Weighted Citation Impact* (FWCI), qui permet de mesurer l'impact des publications scientifiques qui ont été publiées. Un score de 1 représente la moyenne mondiale, tandis qu'un score supérieur signifie que l'on publie mieux que la moyenne⁹⁰. Ainsi, bien que la Chine publie le plus en IA, la qualité de ses papiers reste faible par rapport à l'Europe et aux États-Unis. *A contrario*, les États-Unis se situent dans la tranche haute en ce qui concerne la qualité des publications (2,84 contre 1,35 pour la Chine). Ceci, couplé à la grande quantité de papiers publiés, semble indiquer que les États-Unis demeurent le pays le plus influent pour la recherche en IA, bien que l'Europe et la Chine s'en rapprochent.

⁹⁰ Par exemple, un score de 1,5 indique que l'on publie 1,5 fois plus que la moyenne mondiale.

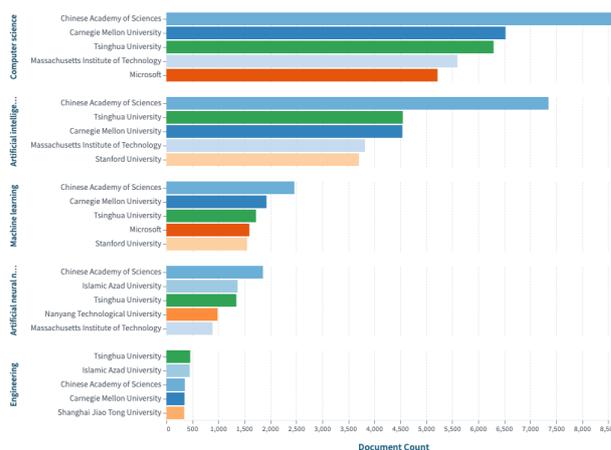
Graphique n° 16 : qualité des publications scientifiques en IA par pays



Source : AI Index report

Les universités américaines ont été dépassées par l'enseignement supérieur chinois en termes de nombre de publications en IA. En revanche, lorsque l'on regarde la qualité des publications, les universités américaines sont plus influentes que leurs homologues chinoises. De plus, lorsque l'on se concentre sur des domaines d'IA précis tels que la *computer vision* ou les réseaux de neurones artificiels, les universités américaines sont systématiquement dans le top 5, ce qui montre que l'avance chinoise est à relativiser, bien qu'elle soit réelle.

Graphique n° 17 : meilleures institutions pour les publications en IA dans le monde



Source : AI Index report, lens.org

Graphique n° 18 : meilleures institutions pour les publications en IA dans le monde



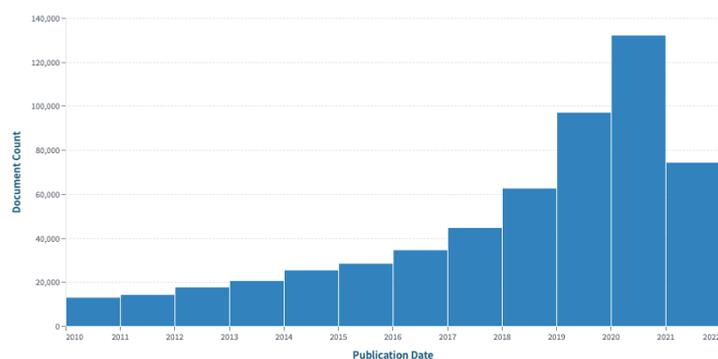
Source : Think tank Macro Polo

3.1.2 Brevets : les États-Unis restent en tête

À partir de Lens.org, nous avons recensé le nombre de brevets en IA publiés aux États-Unis par rapport au reste du monde. La comptabilisation des brevets en IA semble assez ambiguë, il faut donc rester prudent par rapport aux données présentées ici.

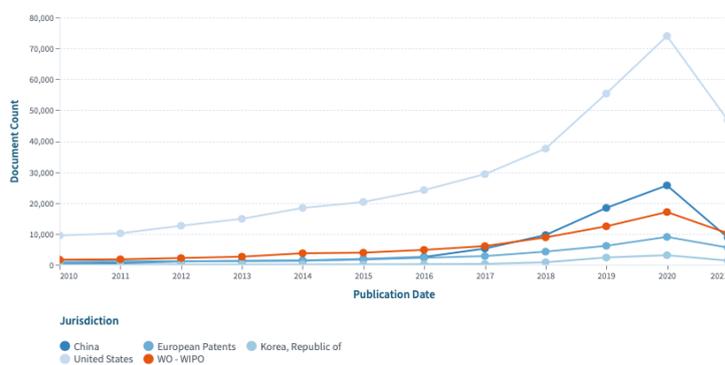
On observe une croissance exponentielle des brevets déposés en IA, avec ce qui semble être une nette domination des États-Unis par rapport aux autres pays (70 000 brevets en 2020 sur 130 000, soit près de 50 % du total). Les pays suivants sont loin derrière avec, par exemple, seulement un peu plus de 5 000 brevets pour la Chine en 2020. En ce qui concerne la juridiction où la demande de brevet a été effectuée, le constat est le même : une nette avance des États-Unis sur les pays concurrents, avec près de 75 000 demandes en 2020 contre 25 000 pour la Chine qui est deuxième. Le nombre de brevets en IA aux États-Unis, en plus d'être élevé, est également en forte croissance (+ 36 % entre 2019 et 2020) à un rythme proche de celui de la Chine (+ 50 %).

Graphique n° 19 : brevets en IA dans le monde et par juridiction



Source : *lens.org*

Graphique n° 20 : brevets en IA dans le monde et par juridiction



Source : *lens.org*

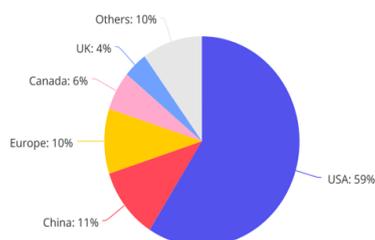
3.2 La meilleure attractivité

3.2.1 Attractivité

Le pays est en bonne position pour ce qui est de la capacité à attirer depuis l'extérieur les talents de très haut niveau, en général, et particulièrement en IA. Le rapport produit par le think-tank *Macro Polo*, qui s'intéresse au *top tier AI researchers* (les 20 % les meilleurs selon certains critères quantitatifs), montre que la grande majorité (60 %) de ceux-ci travaillent actuellement aux États-Unis, dans des universités ou des entreprises.

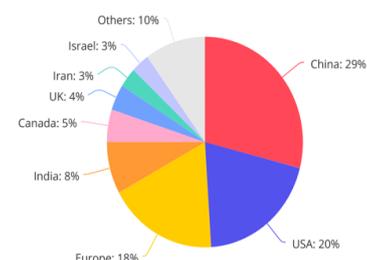
Graphique n° 21 : Pays où recherchent les 20 % des meilleurs chercheurs en IA et pays d'origine

Where do top-tier AI researchers work today?



Country affiliations are based on the headquarters of institutions in which the researchers currently work.

Where do top-tier AI researchers come from?

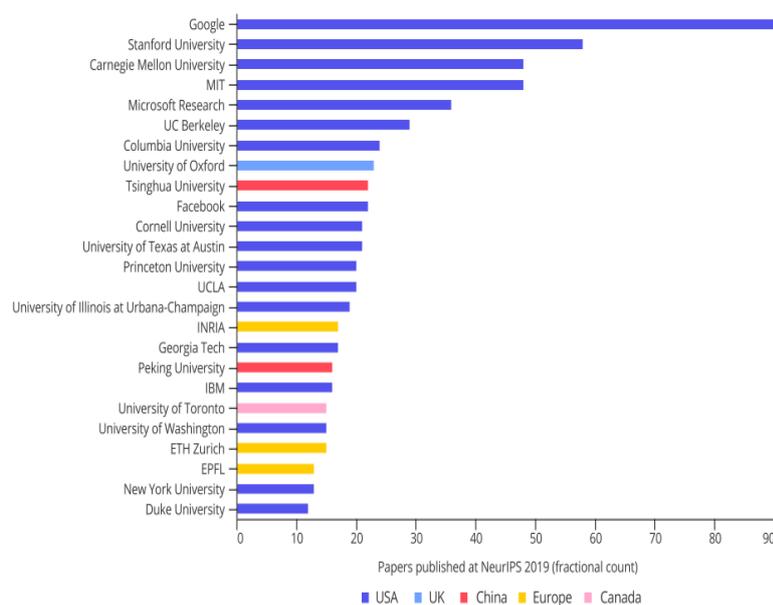


Country affiliations are based on the country where the researcher received their undergraduate degree.

Source : Think tank Macro Polo

Graphique n° 22 : les 25 premières institutions pour les 20 % des meilleurs chercheurs en IA pour les publications scientifiques

The Top 25 Institutions for Top-Tier AI Research:



Source : Annual Conference on Neural Information Processing System – Vancouver, décembre 2019

Il reste que la compétition (interne aux US) pour ces talents est elle-même féroce, les géants de la tech étant prêts à proposer des salaires extraordinaires⁹¹. Cela pose des difficultés aux universités de moindre réputation qui ne disposent pas des mêmes budgets. Cela semble aussi être un problème crucial pour l'administration et pour le DoD qui ne peuvent s'aligner.

⁹¹ <https://www.nytimes.com/2017/10/22/technology/artificial-intelligence-experts-salaries.html>

<https://www.thehindu.com/business/Industry/tech-giants-are-paying-huge-salaries-for-scarce-talent-in-artificial-intelligence/article19939786.ece>

<https://www.linkedin.com/pulse/tech-giants-paying-huge-salaries-scarce-ai-talent-why-mohan-k-1https://hyperight.com/how-to-win-in-the-raging-war-for-ai-talent/>

Le *AI report de HAI* précise qu'en 2019 aux États-Unis, 65 % des docteurs en IA se tournaient vers l'industrie - contre 44 % en 2010, montrant la tendance.

3.2.2 Covid-19

Les mesures de *travel ban* prises pendant la pandémie, décriées par les grands groupes du numérique, ont perturbé le marché, compliquant les apports extérieurs, mais n'ont pas eu d'effet de long terme. L'effet le plus notable de la crise de la covid 19 a été d'accélérer la digitalisation en cours et donc de pousser au développement d'outils utilisant l'IA, ne faisant en cela qu'accentuer la course aux talents⁹².

3.2.3 Main d'œuvre et besoin en IA

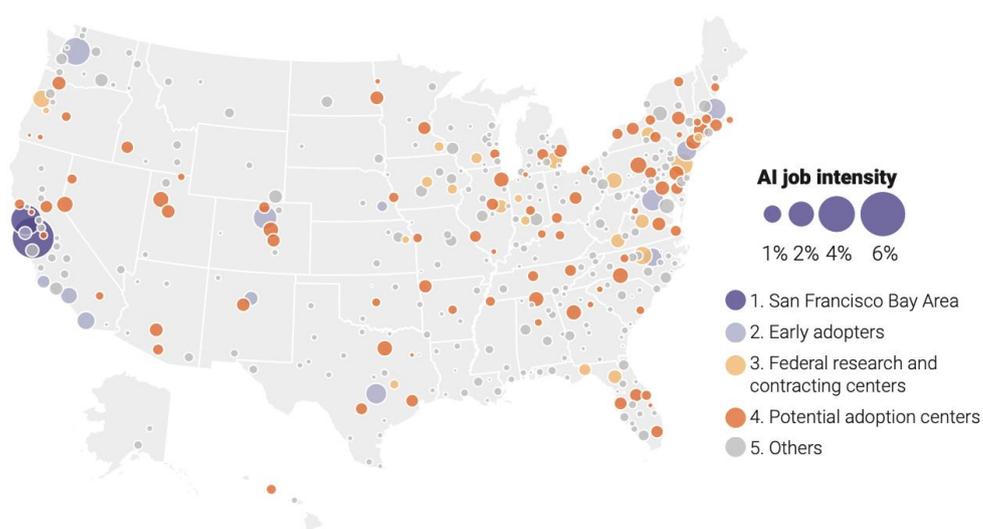
Les analyses concernant les métiers liés à l'IA sont nombreuses. Deux phénomènes sont concomitants : d'une part, l'évolution du nombre de métiers directement liés à l'IA (majoritairement dans l'informatique) et, d'autre part, les changements d'organisation du travail induits par l'IA⁹³ et qui peuvent toucher d'autres secteurs. La carte suivante, issue du rapport de *Brookings*, illustre le déséquilibre géographique.

⁹²https://cps.northeastern.edu/wp-content/uploads/2022/01/NUReport_CFHETS_EmployersPostCovid_12-22-2021.pdf#_ga=2.186060969.1838900577.1646860425-36445122.1646860424

⁹³<https://economicgraph.linkedin.com/blog/how-artificial-intelligence-is-already-impacting-todays-jobs>,

Carte n° 3 : concentration de l'emploi en IA dans les métropoles américaines

Map 1. AI employment concentration by U.S. metropolitan area
Share of job postings with AI skills by five types of AI metro clusters



Source : rapport Brookings

La part d'IA dans les emplois n'est pas facile à estimer. Mais : 1/ elle est encore relativement faible (par exemple : à l'échelle du pays, la part des offres d'emploi demandant des compétences IT est de 10 % ; celle des offres demandant des compétences IA de moins de 1 %), et 2/ elle est promise à une très forte croissance (*AI specialist* est numéro 1 des *emerging jobs* avec une espérance de croissance annuelle de 74 % sur les quatre prochaines années).

3.3 Des acteurs privés dominants (*think-tank*, Gafami, start-up, etc.)

3.3.1 *Think-tanks*

Les *think-tanks*, organisations privées effectuant un travail de recherche sur des questions politiques, sont très répandus aux États-Unis et certains ont une grande influence.

Les *think-tanks* qui ont les ressources pour les aspects scientifiques s'intéressent aux technologies émergentes. C'est le cas par exemple du *Pew Research Center*. Certains, comme le *Center for Strategic International Studies* (CSIS), ont "ouvert" des programmes dédiés aux technologies

émergentes, voire spécifiquement à l'IA⁹⁴. Le Brookings, l'*Atlantic Council* ou le *Center for a New American Security* (CNAS) traitent régulièrement de ces sujets.

Diverses structures travaillant spécifiquement sur les données ou sur l'intelligence artificielle sont apparues ces dernières années. Parmi les plus visibles, on trouve :

- le CSET, fondé à partir d'un don de 55 M\$ de l'*Open Philanthropy Project*, est hébergé par *Georgetown University*. Il produit de nombreuses analyses fort bien documentées à l'interface des questions de sécurité et de technologie. Il se concentre depuis quelques années sur les effets des progrès de l'IA, du calcul avancé (et des biotechnologies) ;
- le *Center for Data Innovation* qui travaille à l'intersection des données, de la technologie et de la politique, est une branche de l'ITIF. C'est l'un des *think-tanks majeurs* des politiques scientifiques et technologiques. Il est présent à Washington DC mais aussi à Bruxelles et milite pour des données plus ouvertes ;
- *The Future Society* est délocalisé et très international ;
- *AI for common Good* est une organisation à but non lucratif créée par le co-fondateur de Microsoft Paul Allen.
- le *Special Competitive Studies Project* (SCSP) a été créé par des membres de la NSCAI pour poursuivre les réflexions engagées par la commission.
- le *Center for Information Policy Leadership* (CIPL) se concentre sur la question de confidentialité des données.

D'autres structures, plus proches des laboratoires de recherche dans leur fonctionnement, mais s'intéressant à l'IA sous un angle très pluridisciplinaire ou à l'impact de leurs travaux sur la société, contribuent à jouer un rôle de *think-tank*. On peut mentionner le *Human AI* (HAI, *Stanford University*) qui produit notamment la référence *Artificial Intelligence Index Report 2021*, ou le *AI Now* (*New York University*).

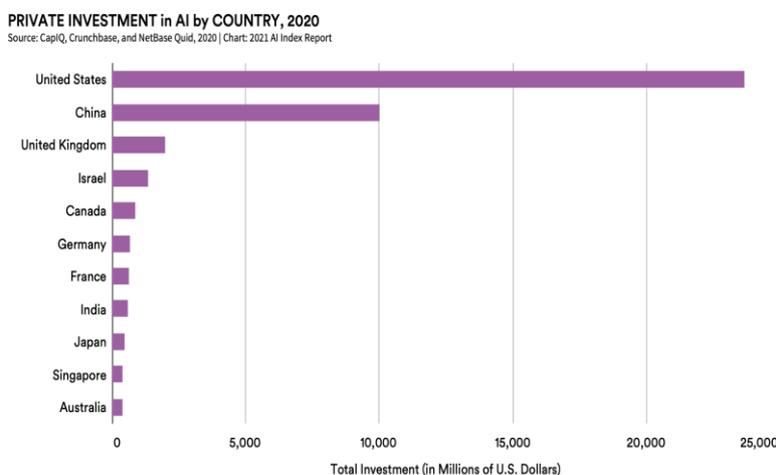
3.3.2 Industrie

Le secteur privé américain est très dynamique en IA et investit massivement dans cette technologie, comme le montrent les deux

⁹⁴ <https://www.csis.org/programs/strategic-technologies-program/technology-and-innovation/artificial-intelligence>

graphiques ci-dessous. Les entreprises américaines y ont investi 23,5 Md\$ en 2020, contre 10 Md\$ pour la Chine (n° 2) et à peine 2 Md\$ pour l'Europe (n° 3). Les États-Unis pèsent ainsi pour près de 55 % de l'investissement privé en IA dans le monde.

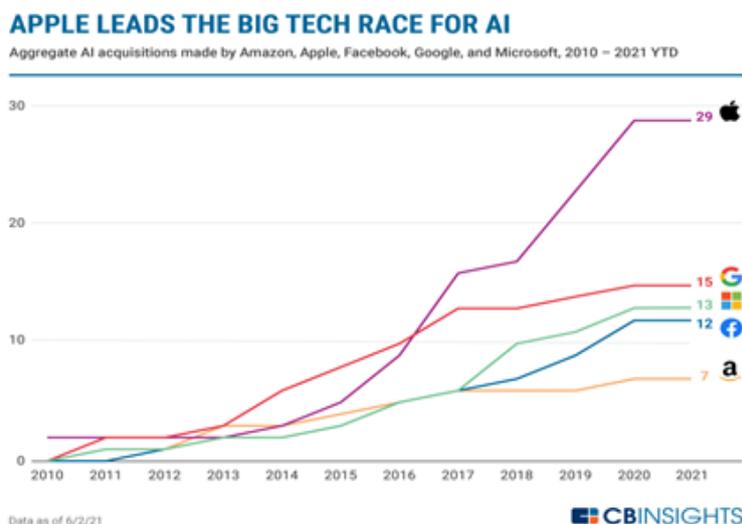
Graphique n° 23 : investissement du secteur privé en IA par pays, 2020



Source : CapIQ, Crunchbase and NetBase Quid 2020-2021, AI Index Report 2021

Les grands acteurs américains du numérique sont tous très impliqués dans l'IA. Nous avons en tête les GAFAMI : Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft et IBM. Ils dominent déjà largement le marché avec leurs homologues chinois des BATX (Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi) et Huawei. Les GAFAMI publient presque tous leurs algorithmes d'IA en open-source. Ces grandes entreprises se distinguent surtout par la qualité des données d'entraînement et l'efficacité de leur modèle économique.

Graphique n° 24 : rachats de start-up en IA par les GAFAM



Source : CB insights

Une comparaison intéressante est le nombre d'acquisitions verticales en IA, qui indique l'influence qu'a une entreprise sur le marché. Apple a récemment dépassé Google dans l'acquisition de start-up en intelligence artificielle (figure ci-dessus). L'objectif de ces acquisitions est d'avoir accès à des technologies, de recruter des talents, ou simplement de bloquer l'émergence de potentiels concurrents.

Le rapport *Mapping U.S. Multinationals' Global AI R&D Activity* du CSET analyse la structuration des laboratoires IA des grands groupes américains et leur répartition dans le monde.

IBM est très présent auprès des entreprises avec sa plateforme logicielle multi-fonctions *IBM Watson* et les services associés.

Google est évidemment un acteur majeur de l'IA, notamment grâce à la quantité astronomique de données que l'entreprise peut collecter, grâce à près de 2 Md d'utilisateurs dans le monde (moteur de recherche, objets connectés, android, gmail, etc.). Google est également très actif dans la recherche, notamment via sa filiale *DeepMind* à l'origine de AlphaGo et des IA de Starcraft, et fabrique ses propres processeurs pour le *deep learning*. Google dispose d'une immense quantité de données, des

meilleurs talents en IA et d'une grande visibilité auprès du public et des entreprises.

Amazon est le leader mondial du *cloud* avec AWS. L'entreprise développe également ses propres solutions IA, notamment grâce à *Alexa* qui permet de récolter beaucoup de données, mais reste moins influente que Google.

Microsoft dispose de très nombreux outils en IA et est très actif dans la recherche fondamentale. En effet, il se distingue des autres GAFAMI par le fait qu'il a un institut dédié à la recherche, appelé *Microsoft Research*, qui emploie plus de 1 000 chercheurs en informatique à travers le monde, y compris en France, dans un laboratoire commun construit à Orsay avec Inria.

Facebook (Meta) domine en IA appliquée aux réseaux sociaux ainsi que dans le traitement du langage (Messenger) et des images (Whatsapp, Instagram). Facebook est influent auprès des développeurs *via* ses APIs pour créer des chatbots pour Messenger (*Bot Framework*), ainsi que la bibliothèque de *machine learning PyTorch*⁹⁵ utilisée pour la recherche. Bien entendu, Facebook dispose d'une quantité considérable de données, ce qui lui confère un avantage certain pour entraîner ses algorithmes

Apple est bien plus orienté produits et marchés que ne le sont IBM et Microsoft. Se positionnant essentiellement sur la vente de matériel, elle développe peu de solutions d'IA par elle-même et les briques d'IA intégrées dans ses produits (SIRI, photos, etc.) proviennent d'acquisitions de start-up ou de son partenariat avec IBM : jusqu'à 2016, Apple n'avait publié aucun article de recherche sur l'IA. Ainsi, son influence sur la recherche et la technologie en IA reste marginale face aux autres GAFAMI, en particulier auprès des développeurs d'applications d'entreprises.

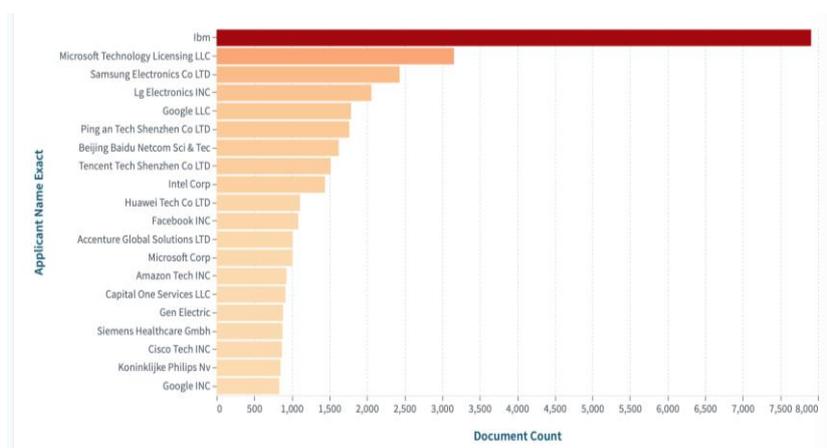
Intel et NVIDIA sont leaders dans les processeurs utilisés pour le *cloud*, les supercalculateurs et le *machine learning*. Ils disposent de processeurs spécialisés en traitement naturel du langage, en vision machine et en *deep learning*. Ils dominent de très loin ce marché.

En observant le classement des entreprises par le nombre de dépôts de brevets en IA, les États-Unis et la Chine sont au même niveau (sept entreprises dans le top 20 pour chaque pays). Néanmoins, si on prend en compte le fait que la plupart des grandes entreprises chinoises sont largement subventionnées et accompagnées par l'État, que les publications de recherche des GAFAMI sont davantage citées et qu'ils exportent bien

⁹⁵ <https://ai.facebook.com/tools#frameworks-and-tools>

plus leurs solutions dans le reste du monde que leurs homologues chinois, l'écosystème américain de la tech reste le plus dynamique et le plus influent.

Graphique n° 25 : meilleures entreprises en matière de dépôts de brevets en IA dans le monde



Source : rapport *Mapping U.S. Multinational's Global AI R&D activity* (CSET)

La carte suivante, issue de rapports du CSET⁹⁶ illustre la répartition géographique des entreprises de l'IA dans le pays.

⁹⁶<https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Privately-Held-AI-Companies-by-Sector.pdf>

Carte n° 4 : pourcentage des États fédérés dans le total des entreprises en IA

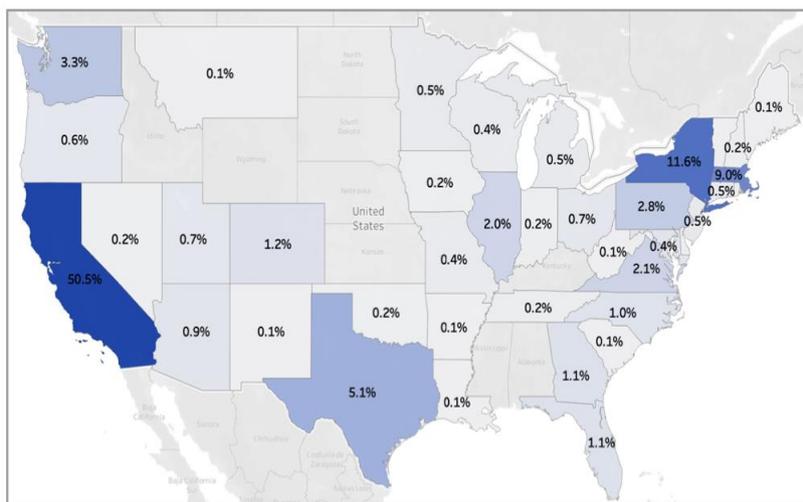


Figure 2 shows the percentage total of AI companies by state.

Source : CESET

3.3.3 Start-up

Comme en Europe, les start-up américaines cherchent à capitaliser sur l'effet de mode de l'IA afin d'attirer les investissements. Beaucoup de start-up affirment "avoir créé une IA" quand elles n'ont fait que paramétrer un réseau de neurones sur un jeu de données métier (en santé, finance, etc.) avec des outils en accès libre sur internet tels que *TensorFlow*. D'une façon générale, il est très difficile d'évaluer l'impact des start-up car elles utilisent de l'IA à des degrés très variables. Comme cela s'est déjà produit avec le développement du web, l'IA devient en effet de plus en plus abordable grâce à des boîtes à outils présentes sur internet et de plus en plus aisées à mettre en œuvre.

On constate cependant qu'alors que les GAFAMI offrent surtout des services d'IA pour le grand public et sous forme de plateformes, les start-up américaines se positionnent surtout en B2B : analyse automatiques d'images médicales, détection de fraudes financières, analyse prédictive du comportement des consommateurs. L'écosystème qui est indiscutablement le plus performant des États-Unis en matière de production de start-up d'intelligence artificielle est celui de la *Silicon Valley*.

Les investissements dans les start-up d'IA sont de plus en plus importants, certains pouvant lever plus de 200 M\$ dans ce qui pourrait s'apparenter à une bulle. Cette capacité à se faire financer à des montants élevés est évidemment un privilège américain, les financements dépassant difficilement les quelques dizaines de millions de dollars en Europe. De plus, il n'est pas rare de trouver en financement de certaines start-up des fonds publics issus de la *DARPA* ou de la *NSA*.

Concernant les montants globaux investis, le rapport *Private Equity Investment in Artificial Intelligence* de l'OCDE donne quelques ordres de grandeur. On en extrait notamment le tableau suivant qui montre l'importance du financement américain : un investissement 70 fois plus important que celui de la France, ce qui, ramené à l'échelle des pays, représente quatre fois plus d'investissement.

Tableau n° 3 : total des investissements des start-up, par pays et par secteur (en M\$), 2012-2020

Total investments from 2012 to 2020 by industry and country of start-up, in USD millions

	Mobility and autonomous vehicles	Healthcare, drugs and biotechnology	Business processes and support services	IT infrastructure and hosting	Media, social platforms, marketing	Financial and insurance services	Digital security	Robots, sensors, IT hardware	Logistics, wholesale and retail	Consumer products	Construction and air conditioning	Education and training	Other activities	Total
United States	52 423	21 866	19 510	18 029	13 027	12 076	10 534	5 880	6 627	5 081	2 193	1 643	4 624	173 513
United Kingdom	163	1 599	1 611	1 259	1 275	1 960	650	788	101	43	7	54	58	9 567
Israel	217	906	302	1 129	517	120	925	1 294	151	22	40		304	5 926
Germany	122	505	718	455	746	1 276	167	187	30	5	14	63	386	4 675
Canada	30	709	364	796	745	405	56	451	108	39		25	495	4 224
Japan	814	272	509	653	577	497	60	234	40	58	20	100	110	3 944
France	94	402	196	451	673	265	93	56	166	81	65	18	25	2 585

Source : OCDE – *Private equity Investment in artificial intelligence - rapport*

3.3.4 Relations avec le gouvernement

Dans le domaine de l'IA, l'imbrication du secteur privé et du secteur public est très importante et très complexe, que ce soit sur le plan de l'influence (participation clef des acteurs privés à la définition des plans stratégiques, Eric Schmidt CEO de Google et Président de la *NSCAI*, question du contrôle des monopoles, rôle des *think-tanks* et *lobbies*, etc.), des individus (aller et retours fréquents entre monde industriel et administration), de l'organisation (les meilleures universités sont des

structures privées) ou des financements (investissements croisés, financement de la recherche par le privé, financement public en soutien aux PME innovantes, appel au privé pour l'achat d'infrastructures, partenariats permettant des synergies, collecte des données, etc.).

3.4 Un débat public qui s'anime

Ces dernières années, la situation a évolué, donnant une place importante à la notion d'IA éthique et fiable (*Ethical and Trustworthy AI*).

3.4.1 Les avancées réglementaires

Depuis 2020, les agences fédérales ont été encouragées à explorer quelles avancées réglementaires pourraient être nécessaires pour l'IA, mais toujours avec une approche *light touch*. Le débat évolue, les années récentes ayant vu notamment deux affaires avoir de large retombées médiatiques : l'affaire de la société Cambridge Analytica⁹⁷ et l'audition au Sénat américain de l'ex-ingénieure de Facebook Mme Frances Haugen⁹⁸.

Comme déjà indiqué, la FTC s'est emparée de certains sujets (discrimination, fraude, mauvais usage des données) ; le *Department of Housing and Urban Development* a commencé à inverser une règle de l'administration Trump qui protégeait les auteurs d'algorithmes liés au logement de toute plainte de discrimination ; en octobre dernier, la *Equal Employment Opportunity Commission* annonçait une initiative visant à appliquer une protection contre la discrimination au recrutement et sur le lieu de travail.

Petit à petit l'approche des risques liés à l'IA s'aligne sur la perception européenne.

3.4.2 Reconnaissance faciale

Le cas de la reconnaissance faciale est emblématique. Les systèmes ont pu développer de nombreux produits. Mais cette application a suscité des peurs. Cette technologie soulève des questions de confidentialité, de biais et de surveillance généralisée. Certains États ont finalement interdit purement et simplement son usage. Finalement, ce sont certains grands groupes (Amazon, Microsoft, IBM, etc.) qui ont renoncé à proposer des produits tant qu'une législation claire ne serait pas passée au Congrès.

⁹⁷ La Société Cambridge Analytica aurait utilisé les données personnelles de 87 millions de personnes, données recueillies et exploitées à leurs insu, dans le cadre de la campagne en 2016 de Donald Trump.

⁹⁸ En octobre 2021, Mme Frances Haugen, lanceuse d'alerte a expliqué certaines pratiques internes à la société Facebook posant de graves problèmes éthiques.

L'*OSTP* est dans une phase de consultation publique sur les technologies biométriques⁹⁹.

3.4.3 La transparence des algorithmes (*algorithmic accountability*)

Un projet de loi¹⁰⁰ chargeant la *Federal Trade Commission (FTC)* de réguler les entités sous sa responsabilité a été introduit au Sénat américain et la Chambre des Représentants au début du mois de février 2022. Il concerne les entités qui déploient ou utilisent des logiciels de « décision augmentée », y compris ceux intégrant des algorithmes d'IA.

L'*Algorithmic Accountability Act* a été introduit au Sénat américain et à la Chambre des représentants le 3 février 2022. Ce projet de loi propose d'ordonner à la FTC de promulguer des règlements qui obligent toute « entité couverte » à effectuer des évaluations d'impact et à satisfaire à des exigences concernant les « processus de décision critique augmentés¹⁰¹ » susceptibles d'avoir des effets juridiques ou plus généralement des impacts importants sur le consommateur.

Ces initiatives fédérales américaines de régulation de l'IA sont en partie similaires à la législation européenne centrée sur des normes qui protègent en premier le consommateur, et visent ainsi à susciter sa confiance dans les algorithmes d'IA. L'*AI Act* proposé en avril 2021 par la Commission européenne est une législation qui introduit un « cadre sécurité des produits » construit autour de quatre catégories de risques, ainsi que la création de l'*European Artificial Intelligence Board (EAIB)*. Comme l'*Algorithmic Accountability Act*, la loi suggère un cadre uniforme qui sera appliqué dans tous les États membres pour garantir des pratiques responsables en matière d'IA.

3.4.4. Éthique

Sur un plan transversal cet aspect de l'IA fait aussi l'objet de nombreuses recherches. L'*UT Austin* a notamment lancé un programme d'éthique en IA en septembre 2021 appelé CREATE (*Convergent, Responsible, and Ethical AI Training Experience for Roboticists*) pour

⁹⁹<https://www.federalregister.gov/documents/2021/10/08/2021-21975/notice-of-request-for-information-rfi-on-public-and-private-sector-uses-of-biometric-technologies>

¹⁰⁰<https://www.natlawreview.com/article/federal-lawmakers-house-and-senate-introduce-algorithmic-accountability-act-2022>

¹⁰¹Le terme de « processus de décision critique augmenté », tel qu'employé dans le projet de loi concerne tout processus, procédure ou toute autre activité qui déploie des « systèmes de décision automatisés » pour prendre une décision critique. Cela recouvre donc tout logiciel, y compris ceux utilisant des techniques d'IA ou d'apprentissage automatique, utilisant du calcul dont le résultat sert de base pour un jugement humain.

former et sensibiliser les futurs chercheurs aux effets positifs et négatifs de la robotique et de l'IA. Le programme a reçu 3 M\$ de la part de la NSF¹⁰². Le *Center for Ethics* de l'Université Emory (Atlanta) a un programme dédié à l'intelligence artificielle.

3.4.5 Fiabilité (*Trustworthy AI*)

La fiabilité (ou *trustworthy*) est une condition préalable pour que les sociétés développent, déploient et utilisent des systèmes d'IA. Sans une fiabilité des systèmes IA, des conséquences indésirables peuvent s'ensuivre et empêcheraient leur développement en freinant le potentiel social et économique de ces systèmes.

En juillet 2021, la *US Chamber of Commerce* a rédigé un rapport conjointement avec *Deloitte IA Institute* sur la fiabilité des technologies d'IA dans l'innovation et le business, et les moyens de s'assurer d'un développement éthique et responsable. Le rapport met un accent majeur sur la démonstration des bénéfices de l'IA auprès des consommateurs afin de gagner davantage leur confiance¹⁰³. Ces bénéfices sont reflétés dans l'évolution des nouvelles découvertes en médecine ou en science des matériaux, dans l'amélioration de la productivité ou encore la sécurité sur les sites de travail, par exemple.

Sur le plan industriel, de nombreuses entreprises mettent en avant l'importance de la fiabilité et la confiance dans les systèmes IA. Par exemple, le *Global AI Adoption Index 2021*, mené par le *Morning Consult* au nom d'IBM, a révélé que le besoin en IA a été accéléré par l'évolution des besoins des entreprises, en raison de la pandémie mondiale qui a changé la façon dont elles fonctionnent¹⁰⁴.

3.4.6 Sur le plan international

Après avoir fait preuve de réticences (pendant la période Trump), les États-Unis participent maintenant à diverses instances internationales dont l'objet est de mieux définir les cadres acceptables pour la gestion des données et les usages de l'IA. Sans rentrer dans le détail, mentionnons : *EU-US Trade and Technology Council (TTC)*, *OECD AI Principles* (2019), *GPAI (Global Partnership on AI)*, *G7 et G20, GPAI Partnership for AI, Bilateral partnership with the UK*.

¹⁰² <https://news.utexas.edu/2021/09/09/ethical-artificial-intelligence-is-focus-of-new-robotics-program/>

¹⁰³ https://www.uschamber.com/assets/documents/aiinstitute_chamberofcommercereport_v27-pages.pdf

¹⁰⁴ https://filecache.mediaroom.com/mr5mr_ibmnewsroom/191468/IBM%27s%20Global%20AI%20Adoption%20Index%202021_Executive-Summary.pdf

Ces dernières années, la situation a évolué, donnant une place importante à la notion d'IA éthique et fiable (*Ethical and Trustworthy AI*).

3.4.7 L'usage de l'IA : les signaux mixtes aux États-Unis d'une certaine convergence États-Unis / Europe

Dès sa prise de fonction, le Président Biden a souhaité que le Congrès légifère pour empêcher certaines pratiques sur les réseaux sociaux, en particulier visant les enfants. Cela concernait en particulier la collecte des données personnelles et la publicité ciblée. Cette approche paraissait prometteuse d'une convergence entre l'approche européenne et l'approche de la *light touch regulation* américaine¹⁰⁵.

Trois réformateurs spécialistes non seulement du numérique mais aussi de l'antitrust ont été nommés : M. Tim Wu, conseiller à la Maison-Blanche, Mme Lina Khan, présidente de la *Federal Trade Commission* et M Jonathan Kanter, *assistant attorney general* au Ministère de la Justice (division antitrust).

Après le rapport Cicilline d'octobre 2020, très critiques sur les pratiques des Gafa, la commission des lois de la Chambre des représentants a voté en juin 2021 six textes. Les quatre premiers visent un encadrement rigoureux des pratiques concurrentielles des plus grands acteurs : l'interdiction de l'auto-préférence, la possibilité de démantèlement ou le blocage d'acquisition, l'interopérabilité en sont des mesures emblématiques.

Mais aux États-Unis la régulation du numérique et le droit de la concurrence sont étroitement associés, imbriqués. Les projets du Congrès, ont été jugés par trop vigoureux en l'état par des élus républicains et des élus californiens. Le comité des lois du Sénat n'a voté pour l'instant que *l'American Innovation and Choice Online Act*. Ce texte, important mais moins audacieux, vise à interdire aux très grandes plateformes les pratiques favorisant leurs propres produits ou services au détriment des entreprises utilisatrices. Les pratiques d'Amazon et d'Apple à l'égard des commerçants tiers et des développeurs de leurs places de marché, ainsi que les classements discriminatoires *via* le moteur de recherche de Google sont directement visés.

Un autre projet plus récent, *l'Open App Markets Act*, encadre les pratiques techniques et financières des magasins d'applications d'Apple et

¹⁰⁵ Cf. Joëlle Toledano, « Regulation des Gafa : pas de convergence Europe-États-Unis », *Les Échos*, 24 mars 2022.

Android (Google). Il a été rapidement voté par le comité des lois du Sénat à la quasi-unanimité.

Peux-tu parler pour autant de convergence entre les deux rives de l'Atlantique ? Votés par le Congrès, ces deux textes annonçaient un réel mouvement. Mais il faut attendre la mise en œuvre après les élections de mi-mandat en novembre 2022. Le système institutionnel - des tribunaux jusqu'à la Cour suprême - est très imprégné par l'idée que le « laisser-faire » est le comportement le plus efficace pour préserver l'intérêt des consommateurs. Comme l'a écrit Mme Toledano¹⁰⁶ : « *Pour l'instant, malgré l'existence d'un puissant mouvement d'idées s'appuyant sur des travaux académiques et des relais d'opinion efficaces, le succès n'est pas garanti.* ».

Canada : une stratégie qui mise sur l'attractivité, au service d'un écosystème dynamique

1. Les acteurs publics de la stratégie nationale de l'IA.

1.1 les acteurs publics

Le Canada a été l'un des premiers pays au monde à annoncer en 2017 une Stratégie nationale pour l'intelligence artificielle.

Le gouvernement fédéral canadien a confié au CIFAR (*Canadian Institute for Advanced Research*, prononcer « *see far* »)¹⁰⁷ la responsabilité

106 Cf. Joëlle Toledano, « Régulation des Gafa : pas de convergence Europe-États-Unis », *Les Échos*, 24 mars 2022.

107 Le CIFAR a été fondé en 1982. L'idée originale d'un institut d'études avancées est venue de M. John Leyerle, professeur d'anglais et doyen des études supérieures de l'Université de Toronto. Depuis la création de l'Institut, 20 lauréats du prix Nobel ont été associés au CIFAR. En 2017, le gouvernement du Canada a renouvelé et bonifié son financement pour le CIFAR, en investissant 35 M\$ au cours des cinq prochaines années. Il a annoncé que le CIFAR administrera la stratégie canadienne d'intelligence artificielle de 125 M\$. Le modèle de recherche du CIFAR repose sur une étroite collaboration lors de réunions régulières du programme. Ces rencontres rassemblent des chercheurs de différents pays, institutions, disciplines et niveaux. En créant des communautés mondiales interdisciplinaires à long terme, le CIFAR offre aux chercheurs un environnement de confiance qui inspire la prise de risque et de nouvelles orientations de recherche. Après un processus rigoureux impliquant des ateliers, des entretiens et des consultations avec des panels d'experts, de nouveaux programmes sont sélectionnés. Les programmes sont exécutés sur des cycles de renouvellement de cinq ans. En 2004, Geoffrey Hinton a commencé à diriger le programme Calcul neuronal et perception adaptative de l'ICRA. Ses membres comprenaient Yoshua Bengio et Yann LeCun, entre autres neuroscientifiques, informaticiens, biologistes, ingénieurs

de la mettre œuvre. Basé à Toronto, le CIFAR est une organisation à but non lucratif dont l'objectif est de rassembler des experts internationaux pour résoudre des questions complexes de sciences et société. Le gouvernement a choisi cet organisme pour avoir été l'un des premiers à développer un programme sur l'intelligence artificielle, et ce, dès 1983, et pour sa capacité à attirer les meilleurs talents internationaux. Afin de mettre en œuvre cette stratégie, trois centres de recherche et innovation en IA ont été constitués dès 2017 par le CIFAR dans les trois grands centres canadiens de l'intelligence artificielle :

- l'Amii (*Alberta Machine Intelligence Institute*) basé à l'Université d'Alberta à Edmonton. Il a été fondé en 2002 en tant que grappe de recherche (*Alberta Ingenuity Centre for Apprentissage Automatique*) ;
- le Mila (l'Institut québécois d'intelligence artificielle – *Quebec Artificial Intelligence Institute*, anciennement *Montreal Institute for Learning Algorithms*) basé à Montréal, fruit d'un partenariat entre l'Université de Montréal et l'Université McGill. Il a été fondé par le professeur Yoshua Bengio en 2017 ;
- l'Institut Vecteur à Toronto, créé en 2017 en partenariat avec l'Université de Toronto, la province de l'Ontario et des promoteurs du secteur privé, ainsi que le professeur Geoffrey Hinton (Université de Toronto). L'Ontario compte également des boursiers élus au prestigieux programme de l'Association pour l'avancement de l'IA (AAAI).

Chacun de ces instituts est conçu pour développer et accélérer la recherche des universités affiliées et renforcer leur écosystème d'innovation associé. Le CIFAR a conclu en 2018 un accord de financement avec ces trois instituts et ces derniers reçoivent des financements supplémentaires de leur gouvernement provincial.

Chacun de ces instituts a ses propres priorités de recherche s'appuyant sur ses propres forces. Toutefois, ils se consacrent tous à stimuler la recherche en IA au Canada, à répertorier et développer les programmes de formation des étudiants en IA, et à renforcer les partenariats universitaires avec le secteur industriel.

électriciens, physiciens et psychologues. Ensemble, ils ont confirmé la conviction de Hinton sur la puissance des réseaux de neurones lorsqu'ils ont créé des systèmes informatiques qui imitaient l'intelligence humaine. Aujourd'hui, les trois sont largement reconnus comme les pionniers de l'apprentissage en profondeur.

Les agences de financements soutiennent des projets de recherche en IA. Par exemple, le CRSNG¹⁰⁸ subventionne des chercheurs travaillant sur cette thématique par le biais des financements alliances¹⁰⁹.

Le seul fond spécifique à l'IA est un fond en collaboration avec l'organisation américaine *National Science Foundation* (NSF). Ce protocole d'entente offre un cadre général pour encourager la collaboration entre les milieux de la recherche canadien et américain et énonce les principes régissant l'élaboration d'activités financées par les deux organismes. La nouvelle possibilité de collaboration en recherche CRSNG-NSF porte expressément sur les découvertes et les innovations dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la science quantique.

1. 2. La stratégie nationale pour l'IA du Canada

1. 2.1 La phase 1, 2017 et la phase 2, 2022

Aucun document ne présente la stratégie nationale de manière précise. Mais elle est brièvement décrite (une page) dans le budget fédéral de 2017¹¹⁰. Le budget fédéral¹¹¹ ne mentionne la question de l'intelligence artificielle qu'incidemment. Il y est indiqué qu'« *un financement de 1,2 Md\$ [est prévu] pour lancer la Stratégie quantique nationale, la Stratégie pancanadienne en matière de génomique et la prochaine étape de la Stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle pour tirer profit des technologies émergentes de l'avenir* ». Ce thème est également évoqué dans le contexte de la nécessité d'appuyer les grappes d'innovation au Canada.

Cette stratégie a pour objectif de réaliser un investissement majeur au profit des centres de recherche leaders en matière de recherche et en formation dans le domaine de l'apprentissage automatique et elle vise à atteindre les cinq objectifs suivants :

1. Renforcer le profil international et la visibilité du Canada dans le domaine de la recherche et de la formation en intelligence artificielle.

¹⁰⁸ Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada.

¹⁰⁹ Les subventions Alliance favorisent les collaborations entre des chercheurs universitaires et des organismes partenaires du secteur privé, public ou sans but lucratif. Les subventions Alliance appuient une grande diversité de projets. [CRSNG - Subventions Alliance - Partenaires \(nserc-crsng.gc.ca\)](https://www.crsng.gc.ca/Alliance/Partenaires/Partenaires.aspx).

¹¹⁰ <https://www.budget.gc.ca/2017/docs/plan/budget-2017-fr.pdf>, à la page 117.

¹¹¹ [Budget des dépenses 2022-2023 - Canada.ca](https://www.budget.gc.ca/2022-2023/docs/plan/budget-2022-2023-fr.pdf).

2. Accroître la productivité de la recherche universitaire en IA et améliorer la capacité à générer des recherches et des innovations de calibre mondial.

3. Accroître la collaboration entre les instituts d'IA et renforcer les relations avec les récepteurs de l'innovation dans tous les secteurs.

4. Attirer et retenir les talents en IA dans les universités, les entreprises et les centres de recherche en IA canadiens grâce à de multiples possibilités de formation.

5. Transformer les découvertes de la recherche en IA en applications pour les secteurs public et privé conduisant à des avantages socio-économiques.

Le 22 juin 2022, le ministère de l'innovation, des sciences et de l'industrie canadien a annoncé le lancement de la 2^e phase de la stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle.

1. 2.2. Le financement

1. En 2017, lorsque le CIFAR a été mandaté pour mettre au point et piloter la Stratégie pancanadienne en matière d'IA, le gouvernement fédéral a financé la stratégie à hauteur de 125 M\$ (environ 80 M€).

En 2021, le gouvernement fédéral a annoncé que le financement de cette stratégie nationale serait augmenté de 443,8 M\$ (soit 320 M€) au cours de la prochaine décennie.

En 2018, le gouvernement fédéral a annoncé investir quelque 950 M\$ dans cinq supergrappes¹¹² qui œuvrent dans des secteurs à forte croissance. La supergrappe d'IA au Canada, Scale.IA, a été retenue. Basée à Montréal, elle se concentre sur l'intégration de l'IA dans l'industrie en identifiant des projets de collaboration multisectoriels et en fournissant des financements et des conseils d'expert pour faire en sorte que le Canada conserve son *leadership* dans le domaine de l'IA. De nombreuses

¹¹² Les grappes sont des endroits où se déroule une intense activité économique découlant du rassemblement d'entreprises, d'établissements académiques et d'organisations à but non lucratif, ce qui permet de stimuler l'innovation et la croissance dans un secteur industriel précis. La « Silicon Valley » est un exemple. Les grappes approuvées ont été annoncées le 15 février 2018, dans le cadre du Plan pour l'innovation et les compétences du Canada. Les super-grappes ont été lancées par l'entremise d'un processus concurrentiel en deux étapes.

opportunités de collaboration entre chercheurs et industries sont également permises grâce à Prompt¹¹³ et Mitacs¹¹⁴

2. Le 22 Juin 2022, le ministère de l'innovation, des sciences et de l'industrie canadien a annoncé le lancement de la 2^e phase de la stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle.

Cette seconde phase est donc la suite, avec des évolutions, des développements du premier plan de cinq ans initié en 2017 pour un investissement de 125 M\$, et qui était alors l'une des premières stratégies nationales sur l'IA dans le monde.

Cette deuxième phase de cette stratégie¹¹⁵ prévoit toujours un investissement de 443 M\$ sur 10 ans, déjà décidé dans le budget annuel 2021.

Comme lors de la première phase, la stratégie pour l'IA sera coordonnée par l'Institut canadien de recherches avancées (CIFAR), qui disposera de 208 M\$, soit 47 % du budget global. Au cours de la deuxième phase, le CIFAR travaillera en collaboration avec les trois instituts majeurs de la recherche en IA au Canada (Ami à Edmonton, Mila à Montréal et l'Institut Vecteur à Toronto), ainsi qu'avec le Conseil canadien des normes et les cinq supergrappes d'innovation canadiennes.

¹¹³ Créé en 2002, PROMPT est un des neuf regroupements sectoriels de recherche industrielle (RSRI) du Québec. La mission des RSRI est de contribuer à propulser l'économie québécoise en catalysant l'émergence de chefs de file dans tous les secteurs des technologies émergentes. Ainsi, les RSRI sont les pionniers d'un nouveau modèle d'innovation collaborative, où les acteurs de première ligne - les entrepreneurs - travaillent avec des experts scientifiques - les chercheurs - pour inventer l'avenir ensemble. Le secteur clé de PROMPT est celui des technologies de l'information et de la communication (TIC) et du numérique ; du matériel au logiciel, mais aussi au niveau des composantes, des réseaux et des applications. Ceci permet à PROMPT de financer de nombreux projets au sein de marchés verticaux spécifiques, tels que la santé, la sécurité, les transports, etc. L'impact de ces projets étant alors assez considérable pour faire évoluer les pratiques, la recherche et les applications.

¹¹⁴ Mitacs est un organisme national de recherche sans but lucratif qui, en partenariat avec les universités, le secteur privé et le gouvernement canadien, offre des programmes de recherche et de formation dans des domaines liés à l'innovation industrielle et sociale.

¹¹⁵ Liens utiles :

<https://ised-isde.canada.ca/site/strategie-ia/fr>

<https://cifar.ca/fr/cifarnews/2022/06/22/le-cifar-annonce-les-plans-de-la-deuxieme-phase-de-lastrategie-pancanadienne-en-matiere-dintelligence-artificielle/>

<https://www.canada.ca/fr/innovation-sciences-developpement-economique/nouvelles/2022/06/legouvernement-du-canada-lance-la-deuxieme-phase-de-la-strategie-pancanadienne-en-matieredintelligence-artificielle.html>

Les objectifs de la deuxième phase :

- Dans la continuité de la première phase de la stratégie, un objectif principal sera de continuer à promouvoir la recherche pour une intelligence artificielle responsable et d'utilité sociétale, notamment dans deux secteurs stratégiques et à fort potentiel économique : l'IA au service de la santé et de l'IA au service de l'énergie et de l'environnement.

- De plus, afin de continuer à former de nouveaux talents en IA et d'attirer des talents étrangers, le plan insiste sur le recrutement et la rétention continus de titulaires de chaire en IA Canada-CIFAR.

- Afin que la recherche contribue à la création de valeur économique, le plan prévoit également le lancement de nouveaux programmes d'accélération de la commercialisation dans l'ensemble du Canada, en collaboration avec des partenaires stratégiques.

- Enfin, la stratégie s'appuiera sur une meilleure diffusion et une meilleure accessibilité aux données stratégiques auprès des acteurs publics et politiques, pour bénéficier des apports sociétaux de l'intelligence artificielle.

Afin d'atteindre ces objectifs, la deuxième phase s'appuie sur trois piliers (total : 441,6 M\$ canadien, soit ¹¹⁶ 335,6 M€) :

Tableau n° 4 : les trois piliers la 2^e phase de la stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle

Pilier 1 : Commercialisation	Pilier 2 : Normes	Pilier 3 : Talents et recherche
<ul style="list-style-type: none"> - 60 M\$ accordés aux trois instituts de l'IA : chaque institut peut recevoir jusqu'à 20 M\$ sur cinq ans de 2021-2022 à 2025-2026 - 125 M\$ aux cinq supergrappes canadiennes, sur cinq ans, de 2021-2022 à 2025-2026 	<ul style="list-style-type: none"> - 8,6 M\$ accordés au Conseil canadien des normes pour élaborer un encadrement de l'IA sur cinq ans, de 2021-2022 à 2025-2026 	<ul style="list-style-type: none"> - 208 M\$ accordé au CIFAR sur dix ans, de 2021-2022 à 2030-2031 - 40 M\$ pour l'Alliance de recherche numérique du Canada sur cinq ans de 2022- 2023 à 2026-2027 pour fournir une capacité informatique destinée aux chercheurs en IA

Source : Cour des comptes

¹¹⁶ 1 \$ canadien au 11 juillet 2022 = 0,76 €.

1. 3. Le rôle des provinces

Chaque province présente des particularités et la stratégie pan-canadienne a permis la création d'un réseau de collaboration et la consolidation des forces régionales dans des domaines spécialisés, tout en maintenant des synergies interrégionales.

Au niveau des gouvernements provinciaux des mesures ont été prises pour stimuler l'innovation et les investissements en termes d'IA.

Ontario

L'Ontario présente un écosystème de démarrage très riche. Composée du gouvernement, d'universités, d'incubateurs/accélérateurs et de sociétés de capital-risque, cette communauté a engendré des répercussions importantes sur le secteur de l'IA¹¹⁷.

L'Ontario a le PIB le plus élevé de toutes les provinces canadiennes. Elle est également la première en termes de commercialisation (développement des applications) et de recherche en IA. En 2018, le gouvernement ontarien a investi 60 M\$ et le secteur privé, 45 M\$. Le gouvernement de Doug Ford a annoncé en 2020 rajouter 40 M\$ à cette somme.

Alberta

L'Alberta effectue des recherches de renommées internationales en apprentissage par renforcement. Elles sont dirigées par l'un des pionniers dans ce domaine, Richard Sutton. L'Amii accueille des titulaires de chaires en IA Canada-CIFAR. Jusqu'à présent 109 chercheurs ont été titulaires dont 15 en 2021, à Amii.

En 2017, *Alberta Innovates* a aidé *Alberta Machine Intelligence Institute* (Amii) à faire la transition d'un institut universitaire à une entité à but non lucratif affiliée à l'université d'Alberta (UofA), grâce à un investissement de près de 2 M\$. Par la suite, l'Alberta a également investi 50 M\$ pour créer 3 000 places de formation en haute technologie dans les écoles postsecondaires.

¹¹⁷ En 2018, Statistique Canada a estimé qu'il y avait plus de 370 000 emplois technologiques en Ontario. C'est pour cela qu'en 2019, Toronto a été désignée comme la ville où la croissance des emplois technologiques était la plus rapide en Amérique du Nord et elle s'est hissée au troisième rang du classement des technot talents. Toronto s'est classée comme le marché de technologies à la croissance la plus rapide en Amérique du Nord | Invest Ontario.

En 2019, le gouvernement de l'Alberta a annoncé un investissement de 100 M\$, sur une période de cinq ans, pour attirer en Alberta davantage d'entreprises de haute technologie basées sur l'intelligence artificielle. Un investissement initial de 27 M\$ a été alloué à Amii.

En 2020, le gouvernement de l'Alberta a annoncé un soutien à l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique en accordant un financement de 9 M\$ à Amii. Le financement comprend 4 M\$ provenant d'*Alberta Innovates* et 5 M\$ provenant du système *Technology Innovation and Emissions Reduction (TIER)*, et permettra à Amii de poursuivre ses recherches et d'accélérer la commercialisation de nouvelles technologies.

Colombie-Britannique

La Colombie-Britannique est un chef de file national en matière d'IA appliquée et commercialisée, en particulier dans les secteurs des ressources naturelles, des technologies financières et des soins de santé.

L'écosystème florissant de la province permet le développement d'une IA présentant diverses applications hautement technologiques. La spécialisation de la Colombie-Britannique en recherche sur la vision par ordinateur propulse les technologies de jeu interactif et de réalité virtuelle ainsi que les industries de l'animation et du cinéma. La province abrite également une des plus anciennes grappes de jeux vidéo d'Amérique du Nord, ce qui explique que la province soit devenue la terre de prédilection pour les avancées dans le domaine de la vision par ordinateur. Cet écosystème attire également les entreprises multinationales. Par exemple, le géant de l'informatique japonais, Fujitsu a ouvert son siège social mondial d'IA à Vancouver en 2019.

En complément des aides fédérales, le gouvernement de Colombie Britannique propose une série d'initiatives pour soutenir le secteur de l'IA, notamment :

- Le *BC Tech Fund*, un fonds de capital-risque de 100 M\$ qui investit dans des entreprises technologiques émergentes telles que D-Wave, le premier fournisseur commercial d'ordinateurs quantiques au monde.

- Le *BC Knowledge Development Fund*, principal investissement en capital du gouvernement de BC à l'appui de l'infrastructure de recherche.

- Le *digital Technology Supercluster* favorise les co-investissements et une R&D collaborative associant l'industrie, les chercheurs, les innovateurs et les gouvernements. Cette supergrappe soutient des projets cross-sectoriels visant à proposer des solutions innovantes dans trois domaines : santé, changement climatique et transformation numérique de

l'économie canadienne. Il soutient également des programmes visant à améliorer l'adoption de l'IA dans les entreprises et la formation des nouveaux talents.

- Des chefs d'entreprise et des universitaires ont créé l'*Artificial Intelligence Network of British Columbia* (AInBC), une organisation intersectorielle visant à catalyser la croissance des communautés investies dans l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique en Colombie-Britannique. Le réseau AInBC propose différents programmes d'accélération et d'incubations aux start-up spécialisées dans l'intelligence artificielle.

- Un investissement de 42 M\$ pour créer environ 2 900 places dans le secteur des technologies, ce qui permettra de former 1 000 diplômés supplémentaires par an d'ici 2023.

Québec

Le Québec, et plus particulièrement Montréal, fait partie des chefs de file mondiaux en IA. Montréal est en effet une des plaques tournantes mondiales de la recherche en IA et plus particulièrement dans le domaine de l'apprentissage profond (*deep learning*).

Montréal est l'hôte du groupe de chercheurs en apprentissage profond, le MILA, fondé par Yoshua Bengio. MILA développe une expertise de renommée mondiale en intelligence artificielle pour la santé, l'apprentissage profond et l'intelligence artificielle responsable.

Montréal est également l'hôte de l'Institut de valorisation des données (IVADO). Il est né d'une initiative académique et industrielle qui regroupe HEC Montréal, Polytechnique Montréal et l'Université de Montréal. IVADO a pour vocation de regrouper professionnels de l'industrie et chercheurs académiques afin de développer une expertise de pointe dans les domaines de la science des données, de l'optimisation (recherche opérationnelle) et de l'intelligence artificielle.

En 2017, Thales a annoncé la création du Centre de Recherche et Technologie spécialisé en intelligence artificielle, cortAix, dans la ville de Montréal.

En mai 2022, Montréal a accueilli le Sommet mondial de l'IA. Il s'agit du rassemblement communautaire mondial de 200 000 chercheurs dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Le Québec bénéficie d'un écosystème collaboratif à l'échelle de la province et est soutenu par un financement provincial important. La réputation de la communauté universitaire et de recherche attire des

investissements des entreprises qui établissent des laboratoires de R&D dans la province. Montréal a reçu plus de fonds que toute autre ville canadienne depuis 2016. Les chefs de file mondiaux, tels que Google, Microsoft, Samsung et Facebook, ont ouvert des laboratoires de recherche en IA à Montréal ces dernières années.

Nouveau-Brunswick

Contrairement aux provinces précédentes, le Nouveau-Brunswick a décidé d'investir dans la recherche appliquée en intelligence artificielle, et non en recherche fondamentale. La fondation de l'innovation du Nouveau Brunswick a lancé un nouveau Fonds d'intelligence artificielle de 3,2 M\$. Ce dernier a notamment permis, grâce à un partenariat avec le groupe privé NB énergie – principal fournisseur d'énergie de la province - et l'Agence de promotion économique du Canada Atlantique (APECA), de créer un pôle de recherche appliquée en intelligence artificielle à l'université de Moncton en 2021, soit un investissement de 1,7 Md\$.

1. 4. Les acteurs académiques

Le pays se classe au 4^e rang parmi 239 pays de l'indice h mondial de SCOPUS, qui mesure la productivité scientifique et l'impact d'un scientifique en fonction du niveau de citation de ses publications.

Pour rappel (cf. 1), les principaux centres de recherche public sont :

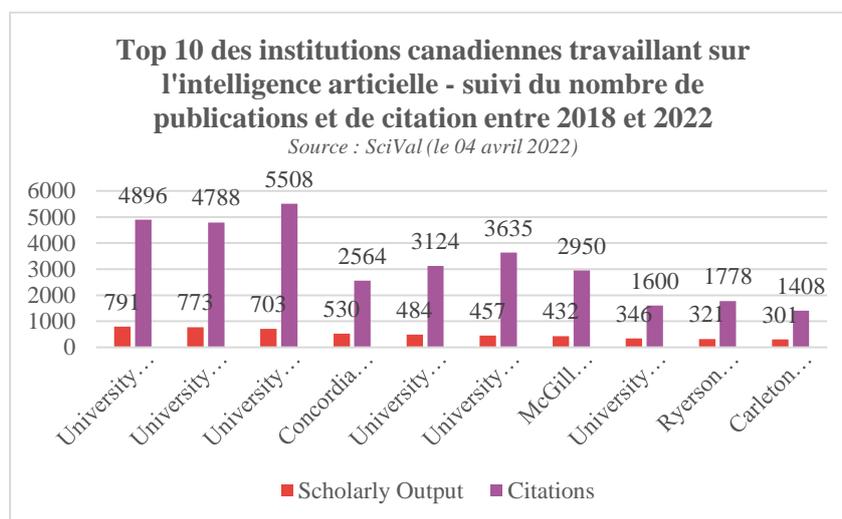
- l'Amii (*Alberta Machine Intelligence Institute*) basé à l'Université d'Alberta à Edmonton, fondé en 2002 en tant que grappe de recherche (*Alberta Ingenuity Centre for Apprentissage Automatique*). Richard Sutton, un titulaire de la chaire en IA, est le scientifique en chef de l'AMII (*Alberta Machine Learning Institute*). Un écosystème d'IA complet est né de ses recherches en Alberta. Cela a attiré l'investissement étranger, amélioré l'éducation en informatique et changé l'écosystème technologique de la province. Le pôle technologique de l'Alberta a également connu une croissance exponentielle avec les partenariats accrus d'AMII avec des leaders de l'industrie notables pour commercialiser l'IA ;
- le Mila à Montréal, fruit d'un partenariat entre l'Université de Montréal et l'Université McGill, et fondé par le professeur Yoshua Bengio en 2017. Le Mila développe une expertise en intelligence artificielle pour la santé, l'apprentissage profond et l'intelligence artificielle responsable ;
- l'Institut Vecteur à Toronto, créé en 2017 en partenariat avec l'Université de Toronto, la province de l'Ontario et des promoteurs du secteur privé, ainsi que le professeur Geoffrey Hinton (Université de Toronto).

Les contributions de ses institutions (souvent rattachées à des universités) ont lieu de trois façons (très souvent imbriquées), la recherche et développement, l'attraction des talents, l'éducation.

1. 4.1. La Recherche et développement

Une étude bibliographique sur la plateforme Scival, met en évidence les universités travaillant sur l'intelligence artificielle. Sur le graphique ci-dessous, on observe que certaines universités sont grandement reconnues dans la communauté internationale de l'IA : l'université de l'Alberta avec son centre AMII, l'université de Toronto avec notamment le *Vector Institute* et l'université de Waterloo qui fait partie du corridor Toronto–Waterloo. L'Université de Waterloo, classée université canadienne la plus innovante pour la 28^e année consécutive en 2019, deuxième meilleure université du Canada pour la recherche en IA et 11^e au monde pour l'impact de ses publications dans le monde de la recherche en IA, joue un rôle central dans la formation des étudiants et des chercheurs en IA. Son programme d'enseignement de l'informatique est le meilleur du Canada, et l'université est réputée pour sa capacité à créer des ponts entre le milieu académique et le monde entrepreneurial et de l'industrie. L'Université de Waterloo est aussi une université partenaire de la Super-grappe SCALE.IA basée à Montréal.

Graphique n° 26 : top 10 des institutions canadiennes travaillant sur l'IA



Source : SciVal

1. 4.2. Les talents

Le Canada a créé un bassin de talents hautement qualifiés en IA. En 2021, le pays se place en troisième position derrière l'Estonie et le Luxembourg dans l'indice de migration des compétences en IA (la France se trouve en 21^e place) de l'OCDE¹¹⁸. Le pays se trouvait en 6^e position en 2019 et la France était en 11^e position.

Les progrès réalisés par le Canada dans la création d'un flux de talents reposent sur deux facteurs clés.

Le développement d'un écosystème et d'une marque mondialement reconnus, notamment par le biais du CIFAR et des trois instituts d'IA

C'est par exemple grâce au programme des chaires d'IA que le Canada a attiré et retenu les meilleurs talents de la recherche en IA. Cent-neuf chercheurs en IA de calibre mondial travaillent actuellement dans les instituts de l'IA du Canada. Avec 86,5 M\$ sur cinq ans, ce programme offre à des chercheurs un financement à long terme afin de soutenir leurs programmes de recherche et de les aider à former des étudiants en chercheurs. Chacune des chaires reçoit un financement spécial de cinq ans pour appuyer l'excellence en recherche dans le domaine de l'apprentissage automatique. En 2018 et 2019, 80 Chaires ont ainsi été créées en partenariat avec les trois instituts canadiens en IA, ainsi que plusieurs universités et hôpitaux à travers le pays.

En 2017-2018, 30 % des étudiants en mathématiques, en informatiques et en sciences de l'information étaient des étudiants étrangers, par rapport à 14 % dans l'ensemble des programmes. C'est d'ailleurs dans ces domaines qu'il y a le plus d'étudiants étrangers. Les trois grands instituts ont d'ailleurs reçu plus de 1 200 stagiaires au cours des dernières années.

Depuis 2017, plus de 100 chercheurs de haut niveau ont été recrutés au Canada pour occuper un poste de chaire de recherche en intelligence artificielle au CIFAR. De ce nombre, la moitié sont des chercheurs étrangers invités à venir travailler au Canada dans le cadre de la stratégie et de ses investissements. De plus, les instituts nationaux d'IA ont formé plus de 1 500 étudiants de cycle supérieur et boursiers de recherches postdoctorales, dont plusieurs sont des étudiants étrangers venus au Canada en raison des forces reconnues propres à chaque institut.

La création d'emplois technologiques par les applications

¹¹⁸ OCDE.AI.

L'essor des applications issues de la recherche canadienne favorise la hausse des offres d'emploi dans le secteur. Le système de projection des professions au Canada (SPPC) prévoit que plus de 100 000 emplois seront créés d'ici 2028.

1. 4.3. L'éducation

Les investissements en enseignement de l'IA ont contribué au succès de l'IA au Canada. Le pays est mondialement reconnu pour une densité en doctorant en IA. Ceci est également visible avec la forte hausse dans les inscriptions en informatique et mathématique.

Le pays a enregistré une augmentation de 26 % en mathématiques, en informatique et en science de l'information depuis 2015-2016 (avec seulement une augmentation de 3 % des inscriptions dans l'ensemble des programmes d'enseignement supérieur).

De plus, les universités canadiennes sont généralement classées parmi le top 100 des institutions en informatiques mondiale d'après CSRanking. Entre 2020 et 2022, l'université de Toronto se classe en 18^e place, l'Université de Waterloo en 35^e place et l'université de British Columbia en 54^e sur le classement de 2022.

1. 5. L'évaluation des résultats de la stratégie nationale en IA.

Suite au lancement en 2017 de la stratégie pancanadienne, les rapports officiels sont rédigés par le *Canadian Institute For Advanced Research* (CIFAR). Les derniers rapports datent de 2020¹¹⁹.

Le travail réalisé pour l'évaluation nationale de 2020, a consisté à définir une série d'indicateurs de performance dans six domaines qui ont permis d'évaluer l'impact de la stratégie depuis 2017. Ces six domaines permettent l'évaluation de la stratégie au regard des cinq objectifs et des bénéfices socioéconomiques. Les domaines sélectionnés s'inspirent grandement du rapport allemand *Comparaison of National Strategies to Promote Artificial Intelligence*¹²⁰ et du document britannique *UK's AI sector Deal- One Year*¹²¹, tout en prenant en compte les spécificités canadiennes, à savoir l'IA responsable.

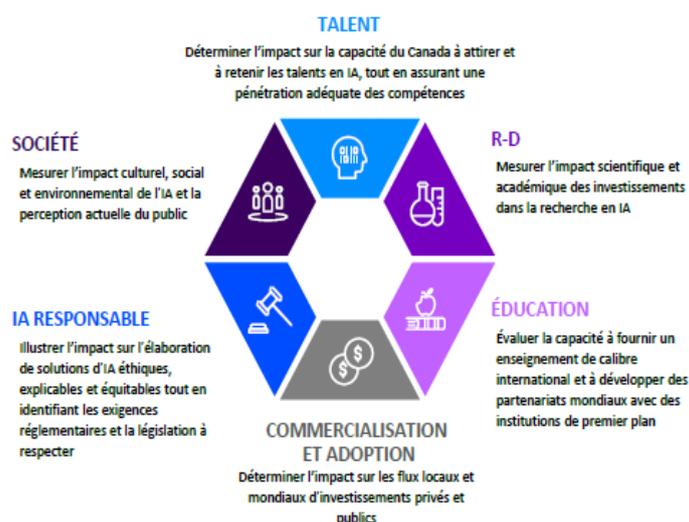
¹¹⁹ Ils sont disponibles sur le lien suivant : <https://cifar.ca/fr/ia/>. Les documents intéressants sont : le rapport d'impact IACan 2020 et le rapport d'évaluation de l'impact de la Stratégie pancanadienne en matière d'IA CIFAR/Accenture. Ces documents n'ont pas été mis à jour en 2021, suite à la pandémie.

¹²⁰ Konrad-Adenauer-Stiftung - Comparaison des stratégies nationales pour promouvoir l'intelligence artificielle (kas.de).

¹²¹ AI Sector Deal - one year on - GOV.UK (www.gov.uk).

Chaque domaine a été mis en relation avec les principaux objectifs de la stratégie et une première évaluation « descendante » a été rédigée par le biais d'analyses qualitatives et quantitatives. Voici les domaines :

Schéma n° 3 : les six domaines pour évaluer l'impact de la stratégie canadienne depuis 2017



Source : CIFAR

Des questions ont été formulées pour chacun des domaines, soit plus de 25 indicateurs clés de performances.

2. Les acteurs privés

2. 1. Les acteurs privés interlocuteurs des pouvoirs publics (fédérations, groupements d'entreprises, fondations, etc.)

La super grappe d'IA Scale AI se positionne comme un *hub* centralisateur de l'écosystème d'AI au Canada. Scale AI est un organisme à but non lucratif¹²², un consortium d'entités privées, de centres de recherche, d'universités et de start-up. Il est le pilier central de

¹²² <https://www.scaleai.ca/fr/a-propos/>

l'écosystème d'IA du Canada. Il a reçu 230 M\$ canadiens du gouvernement du Canada et 53 M \$ canadiens du gouvernement du Québec.

Scale AI soutient plus d'une quarantaine de projets industriels de recherche au Canada d'une valeur totale en investissement de près de 300 M\$, dans les secteurs du commerce de détail au transport, en passant par la santé et l'énergie. La super grappe joue également un rôle prépondérant dans le soutien et l'émergence des incubateurs. Scale AI ne finance pas directement les start-up mais dispose d'un budget accélération de 20 M\$ pour accréditer des programmes d'accompagnement de start-up sur l'ensemble du Canada. Parmi les dispositifs d'incubation labellisés on notera : Next AI et le CDL mais également L-Spark et MaRS Supply Chain AI Project et Velocity en Ontario et dans la région Québec plus de 13 acteurs accrédités dont : Techstarts, HubIA, Centech, Ecofuel, et le programme propulsion Scale AI du Camp. On trouvera également des dispositifs comparables en Colombie Britannique, en Alberta et en Nouvelle-Écosse.

Depuis plus de 17 ans, Communitech¹²³ est un centre d'innovation sectoriel créé par des entrepreneurs qui soutient et stimule une communauté de près de 1 600 entreprises technologiques de toutes les tailles, à toutes les étapes de leur développement et de leur croissance.

Les Fonds d'investissement canadiens : Real Ventures, BDC Capital ayant investi dans 15 entreprises dans les deux dernières années, *MarS Investment Accelerator Fund* (quatre accords les deux dernières années), Panache Ventures, Inovia et TandemLaunch.

En 2019, Gerald Schwartz et Heather Reisman ont fait un don de 100 M\$ à l'Université de Toronto. Ce don participe au financement du *Schwartz Reisman Innovation Centre* basé en plein cœur de Toronto, qui vise notamment à accélérer la recherche et l'innovation en IA et ses implications éthiques et sociales.

2. 2. La cartographie des forces industrielles (start-up, grandes entreprises, etc.)

Le Canada possède un écosystème de l'IA particulièrement développé qui compte plus de 850 jeunes entreprises, 20 laboratoires de recherche publics, 75 incubateurs et accélérateurs, et 60 groupes d'investisseurs, qui sont répartis dans de grands centres comme Vancouver, Edmonton, Waterloo, Toronto et Montréal. Le nombre

¹²³<https://www.communitech.ca/about-us/our-story.html>

d'entreprises canadiennes proposant un service ou un produit basé sur une technologie de l'intelligence artificielle a doublé durant les cinq dernières années.

Au niveau des grands comptes, on notera cinq principaux fournisseurs : IBM Canada, Calian, Microsoft Canada, Thales Canada et CGI Information Systems et Management Consultants. Ces entreprises ont des liens fort avec le gouvernement. De 2002 à aujourd'hui, la valeur totale des contrats remportés par les grandes entreprises s'élève à 26,5 Md\$.

L'Ontario se démarque avec un grand nombre de start-up spécialisées en IA (plus de 360), suivi par le Québec qui en recensait 130 en 2021, la Colombie Britannique (103) et l'Alberta (49).

En 2021, les start-up de l'IA ont levé au Canada plus de 1,6 Md\$ sur 83 opérations. Cela représente une croissance de près de 245 % par rapport à 2020. Les montants levés en 2021 dépassent la somme des investissements réalisés auprès des start-up IA des trois années précédentes cumulées de 2018 à 2020. La moyenne des opérations sur la période est de 25 M\$, contre 9 M\$ les années précédentes. L'IA capte ainsi près de 7 % de l'ensemble des fonds levés¹²⁴.

La majorité des produits et services développés par des start-up dans l'IA se présentent sous la forme de logiciels et touche les secteurs du numérique de l'internet, de la cybersécurité et de la télécommunication. L'IA est présente dans le développement de solutions quantiques, on notera ainsi la levée de fond de 100 M\$ de la start-up Xanadu, pour accélérer le développement de son ordinateur quantique photonique, en mai 2021.

L'IA se retrouve dans les produits des licornes canadiennes comme : Applyboard, plateforme couplant recrutement et mobilité étudiante ; Ada support (automatisation et personnalisation du service client) ; TensTorrent (puce de traitement informatique conçue pour les plates-formes d'apprentissage automatique).

L'IA est également présente dans les dispositifs médicaux. La santé compte pour près de 16 % des applications de l'IA au Canada. En exemple, la start-up d'IA appliquée au biotechnologie Deep Genomics, spécialisée dans la détection et le traitement d'infection, a réalisé l'une des plus importante levée de fonds de 2021 de 180 M\$.

¹²⁴ CBinsights.

2. 3. L'implication des acteurs privés et des forces industrielles dans la stratégie nationale en IA.

De nombreux grands comptes industriels ont choisi de venir soutenir les financements du gouvernement canadien, dès le lancement de la stratégie nationale en IA. Ils ont ainsi implanté et financé leurs laboratoires de recherche en IA en collaboration avec l'un ou plusieurs des trois grands centres de recherche de l'IA que sont le MILA, AMII et le *Vector Institute*. À titre d'exemple, le *Vector Institute* de Toronto a reçu plus de 80 M\$ sur 10 ans de fonds privés, de la part de 26 entreprises industrielles parmi lesquelles Google, Thomson Reuters, TD Banks Group.

La *Royal Bank of Canada* a financé son laboratoire Borealis AI à Toronto. Uber, en complément d'une contribution de 5 M\$ au *Vector Institute*, a fondé « *Advanced Technology Group* » focalisé sur l'IA au service de la voiture autonome, qui a été racheté en 2020 par Aurora. Google a, quant à lui, soutenu le MILA pour 4,5 M\$ en 2016, et réalisé une contribution similaire de 5 M\$ auprès du *Vector Institute*. Google Brain est aujourd'hui présent à Montréal, Toronto et Edmonton.

3. Le partenariat public-privé.

3. 1. Les centres de recherche publics et privés en pointe et les domaines d'excellence de ces centres en matière d'IA.

À Montréal, on retrouve les laboratoires d'IA des grands industriels tels que : Facebook (Meta) avec FAIR (*Facebook AI Research*), DeepMind, Ericson avec le *Montreal Global AI Accelerator*, *Microsoft Research Lab*, *Samsung Advanced Institute of Technology*, le *Noah's Ark Lab* géré par Huawei, et le centre de recherche cortAIX de Thales Group.

Toronto accueille de son côté les équipes de recherche en IA de Thomson Reuters, de Layer6 de TD Bank, de Roche Canadian de LG Electronics AI, de Nvidia, d'Adobe Systems, d'Etsy et de Johnson & Johnson.

Enfin, en début d'année, Deloitte a annoncé installer son laboratoire d'IA au Canada.

Pour les centres de recherche publics académiques on rappellera les trois grands centres canadiens de l'intelligence artificielle en lien avec le CIFAR : l'Amii (*Alberta Machine Intelligence Institute*) basé à l'Université d'Alberta à Edmonton, le Mila à Montréal, fruit d'un partenariat entre l'Université de Montréal et l'Université McGill. Il a été fondé par le professeur Yoshua Bengio en 2017 et l'Institut Vecteur à Toronto, créé en 2017 en partenariat avec l'Université de Toronto, la

province de l'Ontario et des promoteurs du secteur privé, ainsi que le professeur Geoffrey Hinton (Université de Toronto).

3. 2. Les structures et instruments pour favoriser le transfert de technologie vers les domaines d'application.

Sur le budget de 443,8 M\$ lié au renouvellement de la Stratégie pancanadienne en matière d'IA, annoncée par le gouvernement en 2021, plus de 40 % des fonds seront consacrés à la commercialisation (applications), soient 185 M\$ pour favoriser la mise sur le marché et la valorisation des technologies et innovations dans l'IA.

L'étape du passage du laboratoire au grand public prend le plus souvent la forme de la création d'entreprise. Ce lien université-recherche-start-up est illustré par les résultats de l'Université de Toronto. On compte plus de 81 start-up de l'IA issues de l'Université de Toronto. Ces start-up, dont le produit ou service est généré par l'intelligence artificielle, ont levé plus de 183 M\$ et créé plus de 600 emplois selon Global Advantage.

Pour accélérer et accompagner les étapes de la commercialisation de nombreux incubateurs se sont spécialisés au Canada.

Parmi les plus importants, nous pouvons citer Next AI et *the Creative Destruction Lab's AI streams*, tous deux à Montréal et Toronto.

Le programme d'accompagnement de Next AI¹²⁵ s'adresse à des start-up en création dans l'IA. L'incubateur relié à HEC Montréal accepte des cohortes à Montréal et Toronto. Next AI Montréal propose des bourses non dilutives en amorçage de 25 000 \$ canadiens par entreprise, tandis que l'entité Toronto offre aux start-up des possibilités de financement de 25 000 à 125 000 \$ en investissement SAFE (investissement pre-money). En trois ans, Next AI a soutenu 80 entreprises qui ont pu lever 10 M\$ de financement et ont généré 273 emplois et 6,7 M\$ de revenus en 2021.

*Le Creative Destruction Lab*¹²⁶ créée en 2012, propose également un programme d'incubation de projet IA à Toronto, Montréal et Oxford. Le volet "intelligence artificielle" du CDL réunit des entrepreneurs expérimentés, des scientifiques de premier plan et des investisseurs actifs pour aider à développer des entreprises basées sur des technologies sous-tendues par l'intelligence artificielle ou essentielles au progrès de celle-ci. Depuis la création de ce volet, le CDL a accompagné 141 start-up en IA.

¹²⁵https://www-nextcanada-com.translate.google.com/next-ai/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=sc

¹²⁶https://creativestructionlab-com.translate.google.com/program/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=fr&_x_tr_hl=fr&_x_tr_pto=sc

Le transfert de technologie vers le monde privé soulève toutefois quelques questions aux regards des derniers rachats des entreprises canadiennes *North Inc* et *Element AI*, issues des grands laboratoires de l'IA. Ces deux entreprises prometteuses dans l'IA furent largement financées par le gouvernement canadien avant d'être acquises par des entreprises américaines. *North Inc* avait ainsi perçu une subvention de plus de 20 M\$ par l'ISDE, la plaçant parmi les dix premières entités à recevoir des contributions gouvernementales, avant d'être intégrée à Google. En novembre 2020, *Element AI* a été rachetée pour une somme finale de 230 M\$ par l'entreprise californienne *Valley Service Now*¹²⁷. Cette vente a alors créé la discorde et soulevé les critiques au Québec. Pour le Parti libéral du Québec, Mme Dominique Anglade dénonçait les montants d'argent public québécois investis dans *Element AI* qui profiteront finalement à une entreprise étrangère alors que cet argent aurait pu bénéficier à d'autres start-up québécoises du secteur.

Le phénomène de rachat est une stratégie commune des start-up afin de permettre des valorisations importantes au moment d'une « exit » ou sortie pour les fondateurs et investisseurs. Sur un échantillon, réalisé par le CTIC¹²⁸ en 2019, sur 209 jeunes entreprises canadiennes spécialisées dans l'intelligence artificielle qui sont sorties du marché, environ 50 % ont été acquises ou rachetées par une autre entreprise. Parmi celles-ci, on compte un peu moins de 60 % qui ont été achetées par une entité étrangère.

Si ce type d'opérations témoigne de l'excellence de l'écosystème d'IA canadien qui attire massivement les capitaux étrangers, il reflète également les limites du système et des pouvoirs en place à soutenir des start-up dans les phases critiques de croissance.

3. 3. Les initiatives en matière de formation et de financements pour favoriser la diffusion de l'IA vers le secteur économique

On note une forte croissance du nombre d'emplois créé en intelligence artificielle. Selon une étude de l'Université de Toronto, les technologies de l'IA seraient au Canada à l'origine de la création de plus de 50 000 emplois et auraient attiré plus de 3 Md\$ d'investissement depuis 2010.

¹²⁷ <https://betakit.com/deloitte-to-launch-ai-institute-initiative-in-canada/>

¹²⁸ Conseil des technologies de l'information et des communications. Le CTIC est un centre d'expertise national à but non lucratif. La mission du CTIC est de « renforcer l'avantage numérique du Canada dans une économie mondiale ». <https://www.ictc-ctic.ca/>

Le Canada peut s'enorgueillir de disposer d'un vaste réservoir de talents en IA, en innovation de rupture (*deep tech*) et en ingénierie. De son côté, à elle seule, la ville de Montréal compte plus de 250 chercheurs en IA et 9 000 étudiants en IA, ce qui en fait une des villes ayant la plus forte concentration de professionnels de l'IA à l'échelle mondiale. L'Ontario estime que plus de 7 250 emplois ont été créés dans les secteurs de l'IA entre 2020 et 2021, et Toronto présente quant à elle une des plus fortes concentrations d'entreprises en démarrage en IA au monde.

Le gouvernement canadien a proposé dans le cadre du budget 2021 un financement de 162,2 M\$ canadiens (110 M€) sur 10 ans afin d'attirer et de maintenir les talents universitaires partout au Canada, notamment en Alberta, en Colombie-Britannique, en Ontario et au Québec.

Des salaires compétitifs pour les spécialistes de l'IA sont une mesure clé dont les entreprises et les gouvernements canadiens doivent être conscients. Malgré sa compétitivité par rapport à de nombreuses juridictions internationales, les travaux d'ICTC mettent en évidence un écart salarial important entre le Canada et les États-Unis en ce qui concerne les talents recherchés en IA. Un ingénieur en apprentissage automatique percevait, en 2021, un salaire de près de 200 000 \$ aux États-Unis, tandis que le même poste était rémunéré 100 000 à 120 000 \$ au Canada.

Les entreprises technologiques mondiales reconnaissent la force du talent technologique du Canada et, au cours des neuf derniers mois, des entreprises comme Google, Microsoft, Amazon, DoorDash, Twitter, Pinterest et Netflix ont toutes annoncé leur intention d'embaucher plus de canadiens. En ajoutant l'émergence du télétravail à la suite de la crise sanitaire, plusieurs entreprises technologiques canadiennes se font désormais débaucher leurs ingénieurs qui se voient offrir des salaires de 50 à 100 % plus élevés pour travailler ailleurs voire à l'étranger.

Le Canada risque donc une crise des talents dans les secteurs clés technologiques et de l'intelligence artificielle, notamment dans certaines spécialisations tel que le *machine learning* qui représente près de 61 % des nouvelles ouvertures de poste. Afin de remédier à cette potentielle pénurie de talents, en IA mais également dans d'autres secteurs, le gouvernement a lancé en 2017 la stratégie en matière de compétences mondiales. Cette directive permet à des travailleurs qualifiés de venir travailler au Canada avec une dispense de permis de travail de courte durée et un traitement des demandes de permis en deux semaines pour les talents hautement qualifiés.

Les premières entreprises à utiliser ce dispositif sont les entreprises des technologies numériques, dont l'IA. De 2017 à 2021, les trois principales professions des demandeurs ayant utilisé la stratégie en matière

des compétences mondiales étaient celles de programmeur et développeur, d'analyste et consultant en informatique et d'ingénieur et concepteur en logiciel. Plus de 10 000 accords ont été délivrés dans chacune de ces catégories, ayant permis au Canada d'attirer plus de 30 000 travailleurs étrangers hautement qualifiés dans le numérique et l'IA.

4. Le cadre général pour le développement de l'IA et son usage.

4. 1. Les initiatives pour l'acceptation des technologies IA par la société (cadre juridique, éthique).

Le Canada a fait preuve d'un engagement ferme envers l'adoption de l'IA responsable depuis le déploiement de la stratégie pancanadienne d'IA de CIFAR.

À l'initiative conjointe de la France et du Canada, le partenariat mondial sur l'IA (PMIA) a été créé en juin 2018 entre les deux pays et 14 autres pays au cours du sommet du G7. Il s'agissait de la première entité mondiale du genre et les parties prenantes se sont engagées à soutenir le développement et l'utilisation de l'IA responsables et axés sur l'humain.

La Déclaration de Montréal sur le développement responsable de l'intelligence artificielle a également été lancée en décembre 2018. Il s'agit d'un ensemble de lignes directrices éthiques pour le développement de l'IA responsable.

Deux ans plus tard, Mila et l'Algora lab (Université de Montréal) ont dirigé une consultation mondiale sur l'éthique de l'IA pour l'Unesco, tirant parti de leur expérience dans l'élaboration de la déclaration de Montréal.

En 2020, le Centre d'expertise international de Montréal pour l'avancement de l'intelligence artificielle (CEIMIA) a été établi, piloté par Montréal International. Le CEIMIA travaille avec le Conseil consultatif en matière d'intelligence artificielle du gouvernement du Canada, le Forum IA Québec, l'Observatoire international sur les impacts sociétaux de l'IA et du numérique, ainsi que des experts québécois, canadiens et internationaux dans le but de renforcer l'innovation et la commercialisation des technologies de l'IA.

L'IA responsable occupe une place centrale dans toutes les provinces afin de rayonner sur des initiatives plus proches des citoyens. Le pays a également publié la Charte numérique du Canada en 2019 dans le but d'établir une base de confiance pour les Canadiens dans l'arène numérique. La charte entend garantir que les Canadiens puissent faire

confiance aux nouvelles technologies numériques et que leurs données et leur vie privée demeurent en sécurité.

Cependant, depuis 2019, le Canada se pose beaucoup de question concernant les exigences réglementaires existantes. Le pays mène une réforme de la Loi sur la protection des renseignements personnels et les documents électroniques (LPRPDE). Cette réforme a pour but de mettre en place une réglementation supplémentaire pour créer des conditions nécessaires à l'épanouissement de la confiance dans l'économie numérique et à protéger les droits fondamentaux des canadiens.

L'IA pour la société fait maintenant partie du programme d'études de nombreux programmes d'informatique au Canada. Des programmes ont été construits en fonction des différences entre public.

CIFAR et la fondation Osmo dirigent également le laboratoire d'été AI4Good, un camp d'entraînement à l'apprentissage automatique où les participants développent des prototypes d'IA pour le bien social. Le programme vise à inspirer une nouvelle génération de leaders techniques diversifiés à développer l'intelligence artificielle comme force pour le bien social.

L'école d'été sur le *deep learning* et *reinforcement learning* (APAR) est une école d'été annuelle qui offre à plus de 300 stagiaires diplômés et postdoctoraux de 20 pays l'occasion de parfaire leurs connaissances sur les dernières recherches, les nouveaux développements et les applications tangibles de l'apprentissage profond et de l'apprentissage par renforcement avec certains des plus grands chercheurs du monde.

Il faut noter que les établissements d'enseignement supérieur prennent en compte l'IA au service de la société dans la formation des étudiants. À l'université de Waterloo, par exemple, des cours sont développés des sujets comme : Implications sociales de l'informatique, Droit éthique et politique en IA, Systèmes avec intervention humaine.

4.2. La prise en compte des enjeux environnementaux et de réduction des inégalités (biais) dans le développement de l'IA.

Alors que le Canada a adopté l'IA pour relever un large éventail de défis sociaux, le public et les professionnels sont de plus en plus sensibilisés. Le CIFAR a cherché à approfondir la compréhension de l'incidence de l'IA sur la santé, la sécurité et la culture. Ainsi des ateliers sont organisés *via* le groupe de travail IA et société du CIFAR pour s'interroger sur les incidences économiques, éthiques, politiques et juridiques des avancés de la recherche en IA. Par exemple, un atelier a cherché à

explorer les possibilités d'application de l'IA dans la lutte contre le changement climatique. Ceci a permis la publication de la *Déclaration de Montréal sur la durabilité à l'ère numérique*¹²⁹ (avec le CNRS comme participant). Ce document prône une collaboration mondiale entre les entreprises, la société civile, les chercheurs et les innovateurs pour utiliser l'IA de manière responsable et durable.

Le Canada se doit également de proposer une conception éthique de l'IA selon une approche centrée sur les préoccupations autochtones. Le programme IA et société du CIFAR a donc rassemblé des chercheurs en IA et des experts autochtones du monde entier (Nouvelle-Zélande, Australie, USA, Canada, Région pacifique) pour proposer le *Indigenous Protocol and Artificial Intelligence*¹³⁰. Ce rapport présente des approches pour prendre en compte le savoir autochtone dans le développement de l'IA.

Le gouvernement canadien a mis en place « L'évaluation de l'incidence algorithmique » ou EAI au service des entreprises de l'IA. Cet outil a été mis au point afin de déterminer si les solutions d'IA sont acceptables d'un point de vue éthique et humain. Cette évaluation se présente sous la forme d'un questionnaire de 48 questions visant à évaluer les risques de la technologies et 33 questions afin de définir les secteurs d'atténuation. Ce questionnaire est réalisable en ligne et accessible gratuitement sur le portail du gouvernement.

Toutefois, cet outil est aujourd'hui critiqué. Selon les experts politiques, l'EAI présente des limites et n'est pas suffisant. Sarah Villeneuve, experte en politique technologique, indique que « *des EIA spécifiques au contexte et au secteur ; une EAI pour la santé doit être différente de celle pour le transport.* » Rob Davidson, défenseur de technologies responsables, a ajouté que le Canada a besoin d'une stratégie distincte en matière d'IA au gouvernement, avec une stratégie nationale de données qui va au-delà de la Charte canadienne du numérique.

Enfin, Petra Molnar, directrice associée au *Refugee Law Lab, Osgoode Hall* (École de droit de l'Université de York) relève que la société civile et les collectivités sont souvent absentes lorsqu'il s'agit de participer à l'établissement du programme de l'IA. La réalité, c'est que les organisations de défense des droits numériques, les groupes de défense de l'intérêt public et les groupes autochtones sont en marge de la prise de décision et de l'élaboration des politiques.

¹²⁹ [Montreal Statement | Sustainability in the Digital Age \(sustainabilitydigitalage.org\)](https://sustainabilitydigitalage.org)

¹³⁰ [INDIGENOUS AI — POSITION PAPER \(indigenous-ai.net\)](https://indigenous-ai.net)

4.3. En dehors du partenariat mondial pour l'IA, l'état de la coopération franco-canadienne en IA et les domaines et approches/instruments (AMI, AAP communs, etc.) pour pousser davantage cette coopération.

De nombreux partenariats existent aussi entre la France et le Québec. Une feuille de route « Croissance, innovation, numérique et intelligence artificielle » a en effet été endossée par les Premiers ministres français et québécois en mars 2018. Ce document prévoit une collaboration France-Québec renforcée pour le développement de l'intelligence artificielle, y compris la mise en place d'un échange sur l'impact sociétal et éthique des intelligences artificielles et sur leur encadrement. Le « Parcours numérique Québec-France », programme du gouvernement québécois pour le soutien des partenariats et les échanges de start-up entre incubateurs, accélérateurs a pour objectif d'appuyer le déploiement, en France, de 50 start-up québécoises et de faire venir au Québec 50 start-up françaises.

Au niveau régional, la région Auvergne Rhône-Alpes et le Québec ont des partenariats dans le domaine de l'innovation, avec une rencontre annuelle lors des entretiens Jacques Cartier.

Les institutions scientifiques en France ont compris l'intérêt de construire des partenariats avec les institutions québécoises.

Ainsi, certains 3IA, constitués en 2018, construisent des partenariats avec ces dernières. C'est le cas d'ANITI, l'institut interdisciplinaire d'intelligence artificielle de Toulouse, qui a un partenariat avec IVADO à Montréal, du 3IA Côte d'Azur, qui a un correspondance partenariat actif avec l'Université de Laval, au Québec. Enfin, le 3IA PRAIRIE a un partenariat avec le MILA à Montréal.

Cependant, une stratégie trop fortement focalisée sur le Québec n'est pas sans risques, au regard de la force de frappe des autres Provinces du Canada sur les sujets IA.

En effet, délaissier ces partenaires potentiels laisse la porte ouverte aux autres pays concurrents de la France pour développer des coopérations sur ces sujets (ceci est visible au niveau du nombre de co-publications sur la thématique de l'IA entre nos deux pays).

S'agissant du CNRS l'on notera le nouveau développement des relations scientifiques, déjà anciennes, avec des partenaires académiques canadiens. En février 2022, le CNRS a ouvert son 9^e bureau à Ottawa. Un nouveau cap a été franchi en avril 2022 avec la création de deux nouveaux IRL : l'*International Laboratory on Learning Systems* avec l'Université

McGill, l'ETS (Ecole de Technologie Supérieure de Montréal), Mila, l'Université Paris-Saclay et CentraleSupélec et le Quantum Frontiers Lab avec l'Université de Sherbrooke. Ils s'ajoutent aux 4 IRL franco-canadiens existants¹³¹. Parmi les projets communs à venir on peut citer le lancement à venir d'un appel pour constituer un réseau international en intelligence artificielle.

¹³¹ Le Canada est un acteur important de la recherche, le 4^e pays en intensité de co-publications en dehors de l'UE pour le CNRS. Le CNRS participe au Canada à 4 IRL (*International Research Laboratories*) en partenariat avec des universités canadiennes principalement : le Centre de Recherches Mathématiques (CRM) créé en 1968, le LN2, laboratoire Nanotechnologies et Nanosystèmes créé en 2012, le *Pacific Institute for the Mathematical Science* (PIMS) et l'IRL Takuvik créé en 2011 (centre International d'Étude et de Modélisation des Écosystèmes et Géosystèmes Arctiques et Subarctiques).

Annexe n° 2 : pays de l'Union européenne et autres pays européens

Pays de l'Union européenne

Allemagne : une priorité partagée par le *Bund*, les *Länder* et l'industrie

1. Les acteurs publics

1. 1. Le gouvernement fédéral

Au niveau du gouvernement fédéral, quatre ministères interviennent dans le domaine de l'IA sans véritable ordre hiérarchique: le BMBF (ministère de la recherche), le BMWK (ministère de l'économie et du climat, anciennement BMWi sous le gouvernement d'A. Merkel), le BMAS (ministère du travail et des affaires sociales) et le ministère fédéral du numérique et des transports (BMDV). Au lendemain des élections du Bundestag en septembre 2021, de nombreux acteurs du numérique ont plaidé pour la création d'un ministère fédéral en charge du numérique mais la coalition « tricolore » n'a finalement pas retenu cette option.

1.2. 2018, la stratégie nationale en matière d'IA

Dans le domaine de l'IA, l'Allemagne dispose de très bons atouts du fait de la diversité et de l'excellence de son réseau de recherche. Mais l'Allemagne a fait le constat que sa position de *leadership* est concurrencée dans les secteurs de l'automobile, des biotechs, de l'économie des données (plateformes numériques telles que Google, Amazon, Facebook, Apple), l'électronique ou les composites¹³². L'intérêt public pour l'intelligence artificielle n'a donc cessé de croître à partir de 2015 et s'est traduit fin 2018 par l'annonce de la stratégie allemande « AI made in Germany »¹³³. Et dans sa « stratégie hautes technologies » pour 2020-2025¹³⁴, publiée aussi

¹³² Ce constat est dressé dans le document du Ministère fédéral de l'économie et de l'énergie (BMWi) « Stratégie Industrielle 2030 » : https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/nationale-industriestrategie.pdf?__blob=publicationFile

¹³³ <https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>

¹³⁴ La stratégie *High Tech* publiée en 2018 est disponible ici : https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Forschung_und_Innovation_fuer_die_Menschen.pdf (consultation mars 2019)

en 2018, le gouvernement allemand a identifié l'IA comme un « socle » pour l'ensemble des autres développements technologiques futurs.

Le gouvernement allemand n'a pas élaboré d'indicateurs précis au-delà de mesures qui avaient fait grand bruit comme la création de 100 chaires universitaires dédiées à l'IA (objectif atteint depuis). Il a dressé la liste de l'ensemble des mesures qu'il visait pour poursuivre la mise en application de la stratégie IA sans préciser comment ces mesures seraient évaluées dans le futur. Elles sont énumérées autour de trois objectifs :

- objectif 1 : faire de l'Allemagne et de l'Europe des leaders mondiaux du développement et de l'utilisation des technologies d'intelligence artificielle ainsi que garantir la compétitivité allemande dans le futur ;
- objectif 2 : garantir le développement et l'utilisation responsables de l'intelligence artificielle, au service du bien de la société ;
- objectif 3 : intégrer l'IA dans l'ensemble de la société en termes éthiques, légaux, culturels et institutionnels, dans le contexte d'un vaste dialogue social et de mesures politiques concrètes.

À sa réception en 2018, la stratégie avait été critiquée pour ses mesures trop floues, un manque d'indicateurs clés de performances adaptées, ainsi qu'une absence d'évaluation claire et objective des forces et faiblesses allemandes dans la compétition internationale. Dans son rapport annuel en 2019, la commission d'experts Recherche et Innovation (EFI – *Expertenkommission Forschung und Innovation*) avait salué la hauteur du financement des mesures mais critiqué le manque d'approfondissement des mesures¹³⁵. Le manque de clarté quant à la coopération internationale, tant franco-allemande qu'européenne, a également été questionné. Des commentateurs ont ainsi repris le fait que la stratégie se focalisait sur l'Allemagne uniquement et cela dès son titre (« l'IA made in Germany ») tandis qu'en comparaison, la stratégie française se voulait résolument européenne.

Depuis, le gouvernement a annoncé la poursuite de sa stratégie en 2019 et a publié un point d'étape en décembre 2020.¹³⁶

¹³⁵ Rapport de la Commission d'experts Recherche et Innovation (EFI – *Expertenkommission Forschung und Innovation*) https://www.efi.de/fileadmin/Assets/Gutachten/2019/EFI_Gutachten_2019.pdf

¹³⁶ https://www.ki-strategie-deutschland.de/files/downloads/Fortschreibung_KI-Strategie_frz.pdf

1. 3. Les crédits fédéraux

Au plan budgétaire, l'État allemand avait prévu de débloquer un total de 3 Md€ pour la mise en œuvre de sa stratégie jusqu'en 2025 avec un effet de levier attendu sur les entreprises, sur la recherche et au niveau des *Länder*, qui permettrait de doubler ces moyens. Mais dans le cadre de son plan de relance contre la crise de la covid 19, le gouvernement fédéral a promis d'augmenter ses dépenses en IA de 3 Md€ à 5 Md€ pour la période 2019-2025.

Le gouvernement a jusqu'à présent alloué un total de plus de 3,5 Md€ pour la période 2019-2025. Sur ce montant, environ 1,5 Md€ a été inscrit en trois tranches dans les budgets fédéraux de 2019 à 2021. 2 Md€ supplémentaires ont été mis à disposition dans le cadre du plan de relance contre la crise de la covid 19 et étaient disponibles à partir de juillet 2021 ou seront budgétisés dans le budget fédéral 2022. Ces 2 Md€ supplémentaires ont été fléchés vers cinq domaines : le développement de l'infrastructure de calcul haute performance en Allemagne ; la mise à disposition systématique de données pour les applications d'IA ; le renforcement des centres de compétence en IA et l'articulation avec les *hubs* d'application ; la mise en place d'écosystèmes d'IA de rayonnement international ; l'amélioration de l'attractivité de l'Allemagne en tant que site d'IA pour les chercheurs de pointe et les jeunes talents.

Les fonds dédiés à l'IA sont répartis entre les différents ministères fédéraux comme suit :

Tableau n° 5 : répartition des fonds dédiés à l'IA entre les différents ministères fédéraux

Ministères fédéraux	Fonds dédiés à l'IA en M€
Ministère de l'éducation et de la recherche	1 244
Ministère de l'économie (ex-BMWi)	967,2
Ministère des transports (BMVI)	295,1
Ministère du travail et des affaires sociales (BMAS)	213,3
Ministère de l'environnement	192,2
Ministère de la santé (BMG)	184,5

Ministères fédéraux	Fonds dédiés à l'IA en M€
Ministère des finances (BMF)	170,1
Ministère de l'alimentation et de l'agriculture (BMEL)	77
Ministère de l'intérieur (BMI)	70,2
Ministère de la famille (BMFSFJ)	31,5
Ministère de la coopération et du développement (BMZ)	27
Ministère des affaires étrangères (AA)	15
Ministère de la culture (BKM)	12
Ministère de la justice (BMJV)	8,5
TOTAL	3 507,6

Source : Bundestag, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/325/1932556.pdf>, p. 104

Tableau n° 6 : montants des fonds dédiés à l'IA consommés par les différents ministères fédéraux au 31 août 2021

Ministères fédéraux	Montants consommés au 31 août 2021 en M€
Ministère de l'éducation et de la recherche (BMBF)	119,4
Ministère de l'économie (ex-BMWi)	144,8
Ministère des transports (BMVI)	20,3
Ministère du travail et des affaires sociales (BMAS)	19,6
Ministère de l'environnement (BMU)	7,8
Ministère de la santé (BMG)	12,5

Ministères fédéraux	Montants consommés au 31 août 2021 en M€
Ministère des finances (BMF)	4,9
Ministère de l'alimentation et de l'agriculture (BMEL)	1,5
Ministère de l'intérieur (BMI)	4,1
Ministère de la famille (BMFSFJ)	2,5
Ministère de la coopération et du développement (BMZ)	5,4
Ministère des affaires étrangères (AA)	0
Ministère de la culture (BKM)	0,9
Ministère de la justice (BMJV)	2,8
TOTAL	346,5

Source : Bundestag, <https://dserver.bundestag.de/btd/19/325/1932556.pdf>, p. 104

Le gouvernement a donc dépensé 1,5 Md€ sur les financements initiaux et 2 Md€ dans le cadre du plan de relance contre la crise de la covid 19. 1,5 Md€ sur les financements initiaux n'ont pas encore été dépensés ni budgétisés.

Au cours de la précédente législature (2017-2021), la commission du *Bundestag* en charge de la recherche avait relevé que d'autres dépenses concernaient également le soutien de projets en lien avec l'IA. Il n'est cependant pas toujours possible de délimiter leurs périmètres avec précision, notamment du fait que l'IA est un thème transversal qui joue un rôle dans de nombreux projets de recherche. Une estimation pour le seul ministère fédéral de l'éducation et de la recherche donne des moyens supplémentaires pour l'IA d'au moins 400 M€ depuis l'adoption de la stratégie IA.

Il est très difficile d'estimer l'effet de levier sur les financements privés vers l'IA car les investissements faits ne sont pas directement fléchés vers l'IA mais plus largement dans le domaine du numérique.

Une des annonces du gouvernement issu du changement de coalition, qui pourrait avoir des conséquences sur la stratégie allemande en

matière d'IA est la création d'une agence pour le transfert et l'innovation (DATI). Sous la tutelle du BMBF, cette agence devrait permettre d'accélérer le transfert de technologies et de connaissances. Les premières annonces du BMBF le 11 avril 2022 envisagent la DATI comme un incubateur d'innovation avec un fort focus régional. Le but de la DATI est de financer les innovations sociales et technologiques développées dans les universités pour les sciences appliquées (HAW) et les petites et moyennes universités en coopération avec les start-up, les petites et moyennes entreprises et les organisations publiques. Le BMBF devrait investir 15 M€ au départ pour concrétiser ce projet phare du contrat de coalition.

Les débats au Bundestag sur le projet de loi budgétaire pour l'année 2022 montrent que la coalition actuelle n'a pas prévu de renforcer le budget fédéral en matière d'IA.

1.4. La dynamique des *Länder*

La coopération de plus en plus poussée entre le niveau fédéral et les *Länder* dans le développement des six centres de compétences IA atteste de l'effet levier engendré par la mise en place de la stratégie IA sur les *Länder*. Alors qu'en 1988, lors de la création du Centre allemand de recherche en intelligence artificielle (DFKI) à Sarrebruck et Kaiserslautern, l'idée de "*Big Science*" sous forme de grands centres de recherche était encore répandue, des approches décentralisées se sont imposées par la suite pour intégrer la recherche des universités. Ce changement de paradigme a donné naissance aux centres de compétences en IA, institutions "phares" dans des domaines spécialisés de l'intelligence artificielle, de l'apprentissage automatique (ML) et du *big data* et financés initialement uniquement par le gouvernement.

Suite à leur évaluation par un comité d'experts internationaux, les six centres de compétences allemands en intelligence artificielle sont co-financés et co-gérés par l'État fédéral et les *Länder* à partir du 1^{er} juillet 2022. Le co-financement était une condition préalable au soutien du BMBF après 2022. Chaque centre recevra entre 8,5 et 12,5 M€ par an en fonction de sa taille, pour un budget total de 50 M€ de la part du ministère fédéral de l'éducation et de la recherche (BMBF). Les *Länder* où sont situés les centres de recherche se sont engagés à participer à la même hauteur que l'État fédéral. Le DFKI (centre de recherche allemand pour l'IA) recevra 11 M€ par an. Ce financement est assuré pendant sept ans puis un comité

d'experts internationaux évaluera de nouveau les centres et déterminera la suite donnée aux financements.¹³⁷

Les *Länder* du sud de l'Allemagne (Bavière, Bade-Wurtemberg) apparaissent particulièrement dynamiques en matière de recherche et de développement (R&D). Ces derniers concentrent près de 50 % des activités de R&D. Consacrant 5,8 % de son PIB à la R&D, le Bade-Wurtemberg se place en première position au niveau national, devant la Bavière (3,4 %) et Berlin (3,3 %).

La stratégie nationale IA trouve son prolongement dans le Sud de l'Allemagne avec :

- des financements additionnels propres (*High Tech Agenda* et *High Tech Agenda Plus* en Bavière) ;
- des efforts de structuration pour améliorer la visibilité et les interactions entre les différents acteurs de l'écosystème (*Cyber Valley* dans le Bade-Wurtemberg, agence bavaroise pour l'IA en Bavière).

Tableau n° 7 : estimations des enveloppes de crédits dédiés à l'IA dans les principaux *Länder* en 2021

<i>Land</i>	Estimation des dépenses en IA
Berlin	3,5 M€ pour la mise en place de la stratégie IA du <i>Land</i>
Saxe	Stratégie IA non chiffrée
Rhénanie du Nord Westphalie	130 M€ dédiés à la recherche dont la recherche en IA dans l'agenda sur les hautes-technologies
Bavière	360 M€
Bade-Wurtemberg	140 M€ pour la <i>Cyber Valley</i> 50 M€ pour le parc d'innovation en IA à Heilbronn

Source : Cour des comptes

¹³⁷ <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/kurzmeldungen/de/2022/06/50-millionen-foerderung-fuer-ki-kompetenzzentren.html>

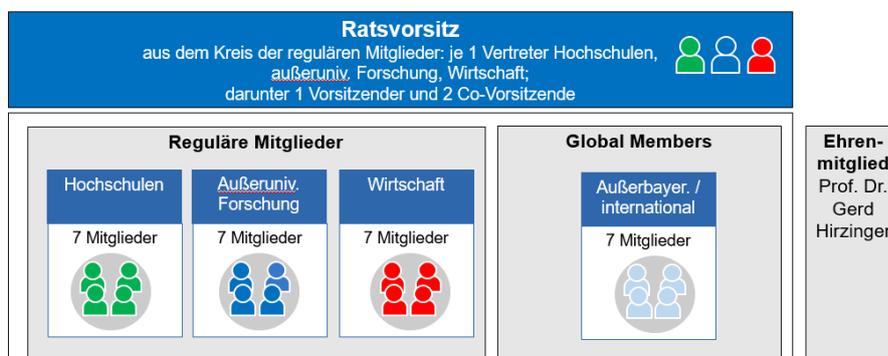
1. 4.1 En Bavière

Les mesures prises dans le cadre de la grande offensive pour les hautes-technologies (*High Tech Agenda* et *High Tech Agenda Plus*) traduisent une politique proactive du *Land* en faveur de la recherche et de l'innovation en IA.

1.4.1.1. Des structures de gouvernance permettant d'assurer une cohérence entre les acteurs du réseau bavarois en IA, dont le KI-Rat et l'agence bavaroise pour l'IA.

Le comité sur l'IA (« *KI-Rat* ») a une fonction de conseil technique en intelligence artificielle auprès du gouvernement bavarois. Représentant à parts égales les établissements d'enseignement supérieur, les instituts de recherche extra-universitaires et le secteur économique, les vingt-et-un membres qui le composent élaborent des lignes directrices pour le développement de l'action en IA de la Bavière. En outre, le comité sur l'IA a pour mission de conseiller l'agence bavaroise pour l'IA et ainsi d'accompagner l'extension du réseau de l'IA en Bavière.

Schéma n° 4 : Structure du comité sur l'IA (« *KI-Rat* »)



Source : Ministère bavarois pour la science et l'art

L'agence bavaroise pour l'IA (« *KI-Agentur* ») a été créée avec pour objectif d'appuyer les activités du comité sur l'IA sur leur versant opérationnel. Favorisant la mise en œuvre des lignes directrices impulsées par le comité sur l'IA, l'agence bavaroise pour l'IA a quatre missions principales consistant à :

- accroître la visibilité de l'IA en Bavière ;
- œuvrer à la coordination et la mise en réseau des différents acteurs impliqués au sein du réseau bavarois d'IA ;

- soutenir les acteurs et institutions pour l'obtention de fonds tiers ;
- repérer des talents et identifier les technologies émergentes.

Pour la réalisation de ces missions, l'agence a été dotée d'une gouvernance et de moyens humains et financiers. Elle est présidée depuis mai 2022 par le Dr. Michael Klimke et compte quinze postes permanents, créés par le ministère d'État bavarois des sciences et des arts. Les ressources en personnel et en matériel nécessaires à son fonctionnement sont estimées à 2 M€ par an. Outre un financement de base de 685 000€ mis à disposition par le ministère, l'agence peut déposer des demandes de subventions et/ou de fonds tiers pour se financer.

4.1.2. Les financements

Présenté par le ministre-président de Bavière, Markus SÖDER en octobre 2019, prévoyant un investissement de 2 Md€ sur quatre ans, le programme du gouvernement bavarois fixe quatre priorités, dont le développement de la recherche et de l'innovation en intelligence artificielle. 360 M€ sont dédiés à ce domaine.

Le transfert de technologie vers les domaines d'application repose notamment sur :

- le financement de chaires dans des domaines applicatifs stratégiques (santé, mobilité, aéronautique)¹³⁸ ;
- le financement d'instituts thématiques spécialisés (Fraunhofer, DLR)¹³⁹ ;

¹³⁸ Avec la création de 100 nouvelles chaires universitaires, le gouvernement bavarois entend accroître la visibilité et la compétitivité du *Land* dans le domaine de l'IA. Si la plupart des champs d'application de l'IA sont couverts, l'accent a été mis sur l'interdisciplinarité avec par exemple la création de chaires sur l'éthique, d'une part, et sur les compétences clés de la région, d'autre part, notamment en médecine et techniques médicales

¹³⁹ Au niveau extra-universitaire, la recherche appliquée est privilégiée. Les instituts Fraunhofer de Garching sur la conduite et le vol autonome et sur la cyber-sécurité ont notamment bénéficié de nouveaux financements dans le cadre du *High Tech Agenda* du gouvernement bavarois ; tandis que la création d'un réseau de production en IA à Augsburg a été rendu possible par le programme *High Tech Agenda +*. Lancé en 2021, ce réseau a pour visée d'accroître l'efficacité de la production grâce à l'IA et ainsi de soutenir les entreprises. Porté conjointement par l'institut Fraunhofer pour les techniques de fonderie, de composites et de transformation (*IGCV*), le centre aérospatial allemand (*DLR*) et l'université d'Augsbourg, le projet est financé à hauteur de 50 M€ par l'État libre de Bavière auxquels s'ajouteront 30 M€ supplémentaires pour le soutien de projets de recherche communs.

- le renforcement des capacités de traitements des données (*Leibniz-Rechenzentrum*)¹⁴⁰.

1.4.1.3 l'exemple des centres de compétence et des chaires dédiées à l'IA.

Le gouvernement bavarois a aussi investi dans la création de centres de compétences universitaires de pointe, lesquels favorisent la recherche de haut-niveau en IA dans des domaines spécifiques et les collaborations scientifiques à Wurtzbourg (sur les sciences de la donnée)¹⁴¹, Ingolstadt (sur la mobilité), Erlangen (sur les techniques médicales/médecine), Nuremberg (sur les applications flexibles de nouveaux champs de l'IA).

Dans l'enseignement supérieur, l'agenda bavarois sur les hautes-technologies prévoyait la création de 1 000 chaires permanentes, dont 100 dédiées à l'intelligence artificielle. Parmi elles, 50 sont destinées à renforcer les quatre nœuds de compétences en IA, tandis que la seconde moitié a fait l'objet d'un appel à concours auprès des établissements d'enseignement supérieur de Bavière. La sélection a été opérée par une commission d'experts. Au total, 112 chaires ont été créées, parmi lesquelles 45 étaient pourvues (40,2 %) au 1^{er} avril 2022. Réparties sur l'ensemble du territoire bavarois, elles couvrent en outre l'ensemble des domaines de spécialisation des nœuds du réseau bavarois en IA (robotique intelligente, mobilité, santé, sciences des données). La création de chaires s'accompagne de ressources humaines et matérielles. Ainsi, un poste de professeur des universités, deux postes d'assistants de recherche et un demi-poste de secrétaire sont attribués à chaque nouvelle chaire. À cela s'ajoutent une dotation initiale de 250 000 € et des ressources matérielles courantes à hauteur de 150 000 € par an du gouvernement bavarois. L'attribution de ces dernières est prévue jusqu'à fin 2023 dans un premier temps. Les établissements d'enseignement supérieur complètent le financement des chaires.

¹⁴⁰ Le centre de données, de calculs, de recherches et d'étude informatique de l'académie bavaroise des sciences (*Leibniz-Rechenzentrum*) est renforcé pour en faire un nœud de compétences en technologies de l'information pour les *big data* et l'IA (supercalcul, calcul quantique, apprentissage automatique).

¹⁴¹ Avec entre autres le nouveau Centre pour l'intelligence artificielle et la science des données, *CAIDAS* auprès de l'université et le Centre de compétence sur l'intelligence artificielle et la robotique (*CAIRO*) à l'université en sciences appliquées de Wurtzbourg)

Carte n° 5 : centres de compétences universitaire en Bavière – IA - chaires nouvelles créées au 1^{er} avril 2022



Source : Ministère bavarois pour la science et l'art

1.4.2 Dans le Bade-Wurtemberg

1.4.2.1 La stratégie

Le Land a élaboré une stratégie numérique interministérielle dès 2017 (*Digitalisierungsstrategie – digital@bw*) sous l'égide du ministère pour le numérique du Bade-Wurtemberg, dont l'IA fait partie intégrante. La stratégie identifie les forces du Land, notamment dans les domaines de la mobilité, de l'automobile, de la production, de la santé et de la médecine. La *Cyber Valley* apparaît comme l'un des instruments centraux déployés par le Land afin de tirer profit des atouts économiques et scientifiques de la région en IA.

- La stratégie en faveur du transfert de technologie s'appuie sur :
- -la création et le renforcement d'un écosystème régional en IA (*Cyber Valley*) et européen (réseau européen ELLIS) dense¹⁴² ;

¹⁴² Qualifié de campus d'innovation pour l'IA et les systèmes intelligents, la *Cyber Valley* a été mise en place en 2016 et allie les acteurs académiques et du secteur privé du Land. La *Cyber Valley* a pris de l'ampleur depuis sa genèse avec notamment la création d'une unité ELLIS (*European Laboratory for Learning & Intelligent Systems*) au sein de l'Institut Max Planck de Tübingen et du « *AI Progress Centre Learning Systems in Cyber Valley* ». Près de 140 M€ ont été investis par le Land dans la *Cyber Valley*.

- l'implication forte des industriels dans ces écosystèmes notamment par l'intermédiaire de fondations (fondation Dieter Schwarz, fondations Hector)¹⁴³ ;
- la création de quatre *Science Data Centers*, financés à hauteur de 8 M€¹⁴⁴.

1.4.2.2 L'exemple du centre d'expertises en systèmes apprenants et robotique cognitive

En 2019, le ministère de l'économie du Bade-Wurtemberg et la Société Fraunhofer ont créé et financé le centre d'expertises en systèmes apprenants et robotique cognitive (*KI-Fortschrittszentrum Lernende Systeme und kognitive Robotik*) qui a pour but de soutenir les petites et moyennes entreprises (PME) et start-up à exploiter les potentiels de l'intelligence artificielle (IA). Interface entre la recherche fondamentale et l'industrie, le centre d'expertises favorise les transferts de technologies à travers ses programmes et projets de recherche mettant en lien entreprises et chercheurs. Il est partenaire de la *Cyber Valley* et du Campus de technologie et d'innovation de Stuttgart.

¹⁴³ Installation d'un parc d'innovation en IA à Heilbronn (50 M € mis à disposition par le *Land*, création de 19 laboratoires en IA avec un financement public-privé, création conjointe par le *Land* et la société Fraunhofer d'un centre de progrès (*Fortschrittszentrum*) en « systèmes d'apprentissage » afin d'aider les PME. Fondées en 1995 et 2008, les fondations H.W. & J. Hector et Hector II soutiennent les projets de recherche dans les domaines de la médecine, des sciences et de l'éducation, des arts et de la culture et du secteur social. À ce titre, la fondation a notamment annoncé en décembre 2020 le financement à hauteur de 100 M€ pour 10 ans de bourses ELLIS dotées d'un don Hector devant permettre d'attirer des chercheurs de pointe en IA à Tübingen. Ces derniers seront mis au service d'un nouvel institut ELLIS à Tübingen, actuellement en cours de création. Le Laboratoire européen pour les systèmes d'apprentissage et intelligents (ELLIS) a pour vocation à développer un réseau européen de recherche en IA. Le réseau a été lancé en 2018 à l'instigation de chercheurs de plusieurs instituts de recherche européens, parmi lesquels Bernhard Schölkopf, directeur de l'institut Max-Planck pour les systèmes intelligents de Tübingen.

¹⁴⁴ La recherche universitaire et extra-universitaire est également renforcée à travers la création d'un centre de compétences Fraunhofer pour la robotique cognitive (Stuttgart) et d'un centre de compétences en ingénierie IA à Karlsruhe. À cela, s'ajoute la création de 10 nouvelles chaires en IA dans les EES du Bade-Wurtemberg, notamment dans les domaines de la médecine et des techniques médicales, des sciences des matériaux et de la sécurité des systèmes d'information.

Son financement est assuré par le ministère de l'économie du Bade-Wurtemberg et par la Société Fraunhofer. À ce titre, 10 M€ ont été mis à disposition pour la période 2019-2021. Pour la deuxième période de financement (2021-2024), la contribution du ministère s'élève à hauteur de 14 M€, tandis que celle de la Société Fraunhofer s'établit à 9 M€.

Le soutien aux entreprises prend quatre formes différentes :

- les chercheurs des instituts Fraunhofer réalisent des études de faisabilité permettant d'apprécier les innovations en IA des entreprises (*Quick Checks*) ;

- ces innovations peuvent être ensuite conceptualisées et prototypées (*Exploring Projects*) ;

- un programme permet aux entreprises n'ayant pas encore déterminé leurs besoins ou élaboré d'innovations en IA d'identifier les applications possibles de l'IA en leur sein (*AI Explorer*) ;

- le programme *AI Innovation Seed* permet les échanges d'expériences entre les entreprises et chercheurs des deux instituts Fraunhofer sur le développement de solutions innovantes inter-entreprises dans le domaine de l'IA.

Ces programmes sont ouverts aux entreprises ayant leur siège ou au moins une filiale en activité dans le Bade-Wurtemberg. Afin de pouvoir prétendre à une collaboration avec le centre d'expertises dans le cadre des programmes *Quick Checks* et *Exploring Projects*, les entreprises doivent répondre à un appel à candidatures, dans lequel elles sont appelées à décrire leur projet et leurs objectifs sans aucune barrière financière. À titre indicatif, 91 études de faisabilité et 28 projets de développement de prototypes ont été réalisés jusqu'à présent.

2. Les acteurs privés

Le Principal coordinateur de l'écosystème de l'IA sur le volet business est le Bitkom (fédération de l'économie numérique). Elle coordonne les acteurs économiques allemands actifs dans l'IA. Fondée en 1999, elle rassemble plus de 2 000 entreprises (plus de 1 000 entreprises du *Mittelstand*, c'est-à-dire des entreprises de tailles moyennes, plus 500 start-up et tous les acteurs globaux).

2.1. L'IA dans l'écosystème start-up¹⁴⁵ :

Dans l'écosystème de start-up et notamment de licornes, on peut citer :

- Celonis : l'unique décacorne allemande, Celonis est active dans le *process mining*, en B2B donc, et utilise de l'IA ;
- Scalable Capital : licorne fintech qui a su convaincre notamment la sphère publique de l'intérêt d'utiliser l'IA ;
- Wefox : licorne insurtech qui utilise l'IA pour la gestion des contrats d'assurance (chatbots, lecture de documents administratifs/de sinistres) et le ciblage des assurés.

Dans l'ensemble, les acteurs qui utilisent le plus l'IA dans l'écosystème des start-up sont les fintech et insurtech (l'Allemagne est particulièrement présente dans ce secteur puisqu'on dénombre au moins neuf licornes allemandes fintech/insurtech). Quelques acteurs sont également présents dans la santé, où ils travaillent notamment pour des grands groupes.

La plupart des autres licornes allemandes clament utiliser ou développer beaucoup d'IA, mais l'intensité paraît moins forte :

- Lilium Aviation : acteur tech industriel développant des avions du futur ;
- N26 : l'une des principales banques en ligne européennes, le groupe dit utiliser beaucoup d'IA mais le système de détection des fraudes s'est montré particulièrement défaillant ;

2.2. Les grands groupes

Il est difficile de définir précisément où ils en sont, mais la sensation des experts du secteur est qu'ils évoluent progressivement. S'ils investissent parfois des sommes importantes dans leur transformation, ils sont souvent confrontés au problème de la lenteur du changement de paradigme au sein de grandes entreprises.

¹⁴⁵ Une cartographie presque exhaustive de start-up allemandes actives dans l'IA peut être trouvée [ici](#) (mapping par secteur) ou encore [ici](#).

Ainsi, Volkswagen, qui est considéré aujourd'hui comme l'acteur allemand le plus avancé dans le développement de l'IA pour la voiture autonome, a investi plus d'1 Md€ en cash dans la start-up IA américaine ArgoAI et cédé à celle-ci son unité de R&D dans l'IA (estimée à 1,6 Md€). ArgoAI dispose aujourd'hui de centaines d'ingénieurs à Munich. VW a ainsi renoncé au développement interne de solutions IA en transférant ses compétences et ses ingénieurs à une start-up américaine, dans laquelle VW est simultanément monté au capital.

SAP, le principal éditeur de logiciels européens (118 Md€ de capitalisation boursière), a de gros investissements dans l'IA. Le vice-président du groupe en charge de l'IA est basé aux États-Unis. En particulier, SAP a jusqu'ici beaucoup travaillé sur un modèle fermé avec des logiciels souvent développés entièrement de façon interne tandis que la nouvelle économie de l'IA requiert des partenariats, ce qui est en différent de la pratique historique de SAP.

De même Siemens investit beaucoup dans l'IA pour sa branche de santé Healthineers, et son vice-président en charge de l'IA est aux États-Unis. Quant à Mercedes-Benz Bosch, il a pendant longtemps concentré ses tests de voiture autonome aux États-Unis.

2.3. La question des salaires

De nombreuses entreprises américaines (comme ArgoAI, cf. *supra*) recrutent des ingénieurs allemands spécialisés dans l'IA. Le covid 19 notamment a totalement installé l'idée de pouvoir travailler de façon délocalisée. Selon un expert du secteur, les salaires proposés par les entreprises américaines pour un poste junior dans l'IA sont deux fois plus élevés (180 000 \$ fixe + bonus + *incentives*) que ceux proposés par les entreprises européennes. Il y a donc un risque accru d'évaporation de la propriété intellectuelle vers les États-Unis.

C'est dans ce contexte que s'est développé le recrutement extérieur de compétence (« *outsourcing* »)

Un acteur très important est Alexander Thamm GmbH, qui fait du consulting dans le secteur depuis une décennie au moins et qui travaille avec tous les grands groupes allemands pour y implémenter des solutions IA. Alexander Thamm vend de la main d'œuvre.

Motius est un autre acteur important, qui aide les entreprises et start-up à développer leurs modèles économiques autour de l'IA, en permettant de mobiliser des compétences par exemple la conception auprès des développeurs de Motius.

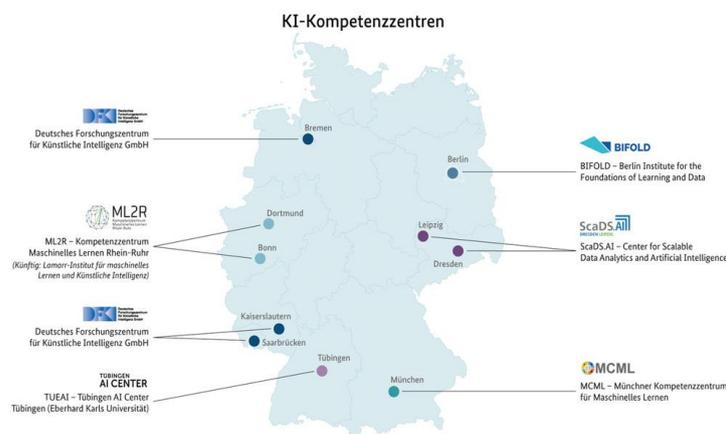
3. Le partenariat public-privé

3.1. Les centres de recherche, publics et privés, en pointe

L'Allemagne souhaite accroître durablement son attractivité en tant que site de recherche en IA. Cela passe principalement par le développement de six centres de compétences. Outre le Centre allemand de recherche en intelligence artificielle (DFKI), le BMBF soutient actuellement cinq autres centres de compétence pour la recherche en intelligence artificielle. L'objectif de ces centres est « *d'instituer, dans les universités allemandes, un réseau d'enseignants et de chercheurs qui regroupe différentes expertises en matière d'IA au niveau local, qui encourage l'innovation sur place avec des entreprises régionales et au sein du réseau grâce à des hubs d'application et qui soit internationalement réputé comme étant un réseau de renom* ».

Ces centres sont situés à Berlin (BIFOLD), Dresde/Leipzig (ScaDS.AI), Dortmund/St. Augustin (ML2R), Munich (MCML) et Tübingen (Tübingen AI Center).

Carte n° 6 : les centres de compétence pour la recherche en intelligence artificielle en Allemagne



Die KI-Kompetenzzentren bilden ein Netzwerk, in dem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre Forschungsergebnisse austauschen können. Sie sind eine tragende Säule der KI-Forschung in Deutschland.
© BMBF

Source : Ministère fédéral pour l'éducation et la recherche

Le centre berlinois, qui se compose de 12 départements d'informatique d'universités et d'instituts de recherche extra-universitaires, travaille à l'interface entre l'apprentissage automatique et le *big data*. Il s'agit notamment de développer de nouvelles architectures et de nouveaux systèmes pour les infrastructures d'analyse de données et les places de marché de l'information.

Le centre munichoïse MCML promeut l'apprentissage automatique dans cinq domaines, dont la médecine, la santé et la mobilité, pour lesquels des coopérations avec les entreprises ont été mises en place.

Le centre de compétence saxon pour le *big data*, situé sur les deux sites de Dresde et de Leipzig, a axé sa recherche fondamentale sur le rapprochement entre l'utilisation efficace des données de masse, les méthodes avancées d'IA et la gestion des connaissances.

L'objectif central du centre de compétences de Tübingen est de développer des "systèmes d'apprentissage intelligents robustes" considéré comme une lacune centrale des algorithmes actuels.

Le centre ML2R, formé par les universités de Dortmund et de Bonn ainsi que par l'Institut Fraunhofer pour les systèmes d'analyse et d'information intelligents (IAIS), a pour objectif de porter le développement de l'IA et du ML en Allemagne "à un niveau de leader mondial". Outre les développements techniques, il s'agit ici - comme dans les autres centres - d'encourager la relève scientifique et de renforcer le transfert de technologie vers les entreprises.

La commission d'experts Recherche et Innovation (EFI – *Expertengruppe Forschung und Innovation*) se félicite du fait que le gouvernement fédéral se concentre sur le renforcement et la mise en réseau internationale des centres de compétence existants et non sur la création de nouveaux centres de compétence pour la recherche en IA comme annoncé en 2018. La performance et de la visibilité internationale des sites allemands de l'IA encouragent en effet le gouvernement à concentrer ses efforts sur leur développement.

Le DFKI

Le Centre allemand de recherche pour l'intelligence artificielle (DFKI) a été créé sous la forme d'un partenariat public-privé en 1988. Il est implanté dans cinq villes, à Kaiserslautern (Rhénanie-Palatinat), Sarrebruck (Sarre), Brême avec une antenne à Osnabrück (Basse-Saxe) et un bureau de projets à Berlin. Le DFKI, au plan mondial, se veut le plus grand institut de recherche spécialisé sur l'IA. En 2022, le DFKI compte 800 collaborateurs travaillant sur plus de 400 projets de recherche. Il se

revendique également la création de 80 start-up et spin-off par des chercheurs du centre depuis sa création. Si le centre allemand est surtout connu pour ses coopérations de R&D avec les grandes et petites entreprises, sur le modèle des Instituts Fraunhofer, il maîtrise tous les volets de la recherche en intelligence artificielle, du fondamental à l'applicatif. Le DFKI reçoit le soutien politique et financier du ministère fédéral de l'éducation et de la recherche (BMBWF), du ministère fédéral de l'économie et du climat (BMWK), des *Länder* et de conférence allemande de la recherche (DFG). Les *Länder* d'implantation et le gouvernement fédéral se sont engagés fin 2021 à subventionner le DFKI à hauteur de 22 M€ par an (à parité). Un accord de coopération lie Inria et le DFKI. Il a été conclu après le traité d'Aix la Chapelle (janvier 2020).

Le calcul de haute performance :

L'Allemagne mise également sur le développement du domaine du calcul haute performance pour améliorer les capacités de la recherche en IA. Des chercheurs du domaine de l'IA dont Bernhard Schölkopf, directeur de l'Institut Max Planck des systèmes intelligents à Tübingen, ont reconnu le manque d'infrastructure pour entraîner et développer des modèles d'IA performants. À titre d'illustration du manque d'investissement dans les capacités de calcul, certains doctorants développent leurs algorithmes en Allemagne et attendent leurs stages dans les grandes entreprises américaines pour les tester de façon efficace. En comparaison, la France fait figure de modèle avec le supercalculateur Jean Zay inauguré par l'Institut pour le développement et les ressources en informatique scientifique (IDRIS).

3.2. Les structures et instruments pour favoriser la formation et le transfert de technologie vers les domaines d'application

3.2.1. Les initiatives en matière de formation et de financements pour favoriser la diffusion de l'IA vers les secteurs économiques

La formation et le recrutement de spécialistes de l'IA est l'un des grands objectifs de la stratégie IA de l'Allemagne. Les mesures annoncées pour renforcer l'expertise en matière d'IA en Allemagne sont : le recrutement d'experts en IA de premier plan venus de l'étranger, la promotion de la relève scientifique dans les universités allemandes, la formation initiale et continue des effectifs, la qualification des petites et moyennes entreprises (PME) régionales innovantes et l'ancrage des connaissances de base dans de larges pans de la société. Mais peu d'objectifs chiffrés permettent de suivre l'évolution des mesures.

En matière de formation, une des mesures phare de la stratégie « AI made in Germany » est la création de 100 chaires de professeurs d'université en IA, objectif qui a été atteint. À travers des conditions de travail attrayantes, le gouvernement allemand cherche à répondre au déficit de talents en IA (*brain-drain*) et à favoriser l'attractivité des formations allemandes.

Alors qu'en 2018, l'annonce de la création de 100 chaires avait suscité de nombreuses critiques et que la commission d'experts sur la recherche et l'innovation jugeait l'objectif difficilement atteignable, le gouvernement a annoncé en mai 2022 avoir atteint son objectif.

Les 100 chaires créées et pourvues au niveau national sont réparties comme suit¹⁴⁶ :

- université technique de Munich, université de Tübingen: chacune 10 chaires ;
- université Louis-et-Maximilien de Munich, université de Stuttgart: chacune 6 chaires ;
- université technique de sciences appliquées d'Aix-la-Chapelle, université de Bielefeld, FAU Erlangen-Nuremberg, institut de technologies de Karlsruhe: chacune 4 chaires ;
- université Humboldt de Berlin, université de Bonn, université technique de Braunschweig, université technique de Dortmund, université technique de Dresde: chacune 3 chaires ;
- universités de Bochum, Brême, Francfort-sur-le-Main, Giessen, Göttingen, Hambourg, Constance, Magdebourg, Marbourg et Leipzig ainsi que l'université technique d'Ilmenau: chacune 2 chaires ;
- universités de Bayreuth, Duisburg-Essen, Düsseldorf, Hanovre, Heidelberg, Kiel, Coblenche-Landau, Cologne, Oldenburg et Wurtzbourg, les universités techniques de Darmstadt, Hambourg et Kaiserslautern ainsi que l'université catholique d'Eichstätt-Ingolstadt et l'université de la Sarre: chacune une chaire.

La répartition des canaux de création des 100 chaires est la suivante :

- la fondation Alexander von Humboldt a permis de pourvoir 8 chaires ;

¹⁴⁶ <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2022/05/030522-KI-Professoren.html#:~:text=%2DWatzinger%3A%20100.-,zus%C3%A4tzliche%20KI%20%20Professur%20wurde%20besetzt.,2022%20Pressemitteilung%3A%2035%2F2022&text=Mit%20der%20Strategie%20K%C3%BCnstliche%20Intelligenz,an%20den%20Hochschulen%20zu%20verankern.>

- la mise en place des six centres de compétences en IA a conduit à la création de 15 nouvelles chaires d'IA ;
- le programme Tenure Track (59) ;
- les programmes de la DFG (7) ;
- les coopérations entre les instituts de recherche extra-universitaires et les universités (11).

L'Allemagne a par ailleurs mis en place un programme spécial de l'Office allemand d'échanges universitaires (DAAD) pour les étudiants en master et les doctorants dédié à l'IA. Ce programme retient des jeunes étudiants ou chercheurs internationaux pour trois écoles d'excellence en IA Konrad Zuse. Le DAAD a lancé l'appel à candidatures pour retenir les trois universités ou universités pour les sciences appliquées où se situeront les écoles Konrad Zuse. Les trois sites retenus recevront à moyen terme jusqu'à 3 M€ de subventions par an pour le personnel et les bourses, ainsi que pour soutenir la mobilité internationale des participants, le développement de formes d'enseignement innovantes et la communication scientifique. Le DAAD a mis à disposition un budget de 25 M€ pour ce projet

3.2.2 Le lien entre l'expertise en IA et son application à un secteur spécifique

La plateforme « Systèmes apprenants » (*Lernende Systeme*) créée en septembre 2017 est présentée par le BMBF comme une pièce majeure de son dispositif de soutien à l'IA. Elle a pour objectif de renforcer les liens entre la recherche et l'industrie et est coordonnée par un comité d'experts issus de ces deux secteurs :

Le Centre allemand de recherche en intelligence artificielle (DFKI) y est représenté, aux côtés de représentants de l'Académie allemande des technologies (Acatech), de la société Fraunhofer et de l'Institut de technologie de Karlsruhe (KIT) pour la recherche.

Côté acteurs industriels, des grands noms tels qu'Accenture ou des dirigeants d'entreprises spécialisées dans la donnée (Webdata, Rapidminer) en font partie.

L'une des priorités de la plateforme est de travailler sur les impacts juridiques, éthiques et sociaux du développement de l'IA. La plateforme Systèmes Apprenants est conçue, sur le modèle de la plateforme Industrie 4.0, comme un espace structuré de dialogue et de concertation rassemblant l'ensemble des parties prenantes du domaine. Néanmoins, il reste difficile d'en mesurer les effets et résultats concrets – une critique qui était

régulièrement adressée à la plateforme industrie 4.0, à laquelle la plateforme pour l'IA n'échappe pas.

Elle présente toutefois un intérêt, à savoir l'identification des personnalités et leaders d'opinion sur des enjeux précis liés au développement de l'IA *via* l'organisation en « groupes de travail », dont les têtes d'affiche jouent effectivement un rôle important sur la scène intérieure allemande et/ou au niveau européen. Les thématiques des groupes de travail sont les suivantes : 1) Pionniers technologiques (*early adopters*) & science des données ; 2) Futur du travail et interactions Humains-Machines ; 3) Cybersécurité, Vie privée, cadre juridique et éthique ; 4) Business modèles de l'innovation ; 5) Mobilité et systèmes de transport intelligents ; 6) Santé, technologie médicale et soins ; 7) Environnements hostiles.

La plateforme rassemble également diverses informations sur le paysage allemand et ses acteurs, ainsi que sur les différentes stratégies internationales en matière d'IA. Enfin, elle joue un rôle d'information et de débat auprès de la société civile allemande, en particulier *via* l'organisation de conférences et d'événements.

Le gouvernement encourage également intensivement la recherche axée sur l'application pratiquée dans les universités techniques et les universités en sciences appliquées. La création de l'agence pour le transfert et l'innovation (DATI) s'inscrit dans cette dynamique d'application de la recherche. Il a aussi subventionné des centres de compétences régionaux pour la recherche sur le travail dont la première vague de financement a concerné l'utilisation de méthodes et d'outils d'intelligence artificielle (IA) dans le monde du travail. Pour promouvoir le transfert de connaissances et de technologies dans le domaine de l'IA, le gouvernement a également recours à des formateurs en IA.

Enfin, à ces initiatives nationales s'ajoutent les initiatives soutenues par les *Länder* (cf. l'exemple cité plus haut au Bade-Wuttemberg du centre d'expertises en systèmes apprenants et robotique cognitive).

4. Le cadre général pour le développement de l'IA et son usage.

4.1. Les initiatives pour l'acceptation des technologies IA par la société (cadre juridique, éthique).

Le document qui fait référence en Allemagne pour la mise en place de normes et de standards en matière d'IA est la feuille de route publiée par la Commission allemande pour les technologies électrotechniques, électroniques et de l'information (DKE).

La DKE a publié un premier document en 2020 complété par un second document en 2022. Le but de ces documents est d'établir des normes et des standards pour une IA qui respecte des valeurs éthiques.

Un premier projet de mise en œuvre, issu des discussions sur la première feuille de route, est le projet d'"IA certifiée", dirigé par l'institut Fraunhofer IAIS. Ce projet sur cinq ans est financé par le *Land* de Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Outre l'institut allemand de normalisation, l'Office fédéral de la sécurité des technologies de l'information (BSI), les universités de Bonn, Cologne et RWTH Aix-la-Chapelle ainsi que d'autres partenaires sont associés sur ce projet de certification. Le but de ce projet est d'instaurer des critères et des procédures de contrôle concrets spécifiques au secteur.

Pour la deuxième version de la feuille de route pour lesquels les groupes de travail ont été lancés en février 2022, la société civile a été davantage mobilisée. En plus de la poursuite des groupes de travail de la première version, comme ceux sur la médecine, la mobilité ou l'automatisation industrielle, des groupes de travail sur les systèmes sociotechniques, les services financiers et l'énergie/environnement ont été ajoutés.

L'Allemagne voit dans ce travail d'établissement de normes et de standards un complément à la réglementation européenne. À travers un travail suffisamment en amont sur les normes et standards, l'Allemagne a pour but de les intégrer très tôt dans la normalisation internationale.

Le projet *safe.trAI*n est un exemple concret de mise en œuvre dans le secteur de la mobilité, dans lequel il est question de l'utilisation d'une IA sûre pour les trains régionaux sans conducteur, en coopération avec des utilisateurs tels que Siemens Mobility, mais aussi des prestataires de services, des fournisseurs de technologie ainsi que des contrôleurs et des organismes de normalisation. Dans le cadre d'un tel cas d'application, l'utilisation des technologies d'IA est déclinée une fois pour toutes - de l'utilisation des méthodes d'IA aux procédures d'homologation et aux procédures et méthodes d'essai pour la mise en application. Ce projet est un exemple concret de la réflexion menée au niveau national mais que l'Allemagne souhaite également transposer au niveau européen.

La durabilité de la recherche en IA et des modèles développés prend une part de plus en plus importante dans les débats sur l'IA en Allemagne. Si les inquiétudes liées aux aspects éthiques de l'IA semblent s'être peu à peu résorbées depuis la publication de la stratégie IA en 2018, nombreuses sont les

personnalités du monde du numérique et les chercheurs qui attirent l'attention sur la consommation d'énergie et de ressources qu'entraîne l'IA.

4.2. Comment l'Allemagne se positionne-t-elle sur le thème de la souveraineté numérique européenne ?

Alors qu'il a été reproché initialement à l'Allemagne de se concentrer sur une IA *Made in Germany*, le nouveau gouvernement a nettement changé sa vision et inscrit sa stratégie IA dans une dynamique européenne. L'Allemagne considère désormais que seule l'échelle européenne permettra de s'imposer sur la scène internationale face à la Chine et aux États-Unis. L'Allemagne semble croire en la capacité de l'Union européenne de devenir le leader de l'IA éthique et durable à travers l'établissement de standards sur l'éthique et la durabilité ambitieux. La régulation européenne sur l'IA est perçue comme une chance car l'Union européenne a plus de facilité à construire une régulation basée sur des valeurs communes que si cela devait se produire au niveau international comme à l'ONU par exemple. Une partie des acteurs du domaine de l'IA plaide pour davantage de critères de durabilité et de protection du climat dans la réglementation européenne pour en faire un avantage concurrentiel de l'UE face à la Chine et aux États-Unis.

Le gouvernement fédéral, à travers la députée verte Anna Christmann, déléguée à l'économie numérique auprès du ministère de l'Économie, a été invitée par la commission numérique du *Bundestag* à s'exprimer sur le règlement européen sur l'IA publié par la Commission européenne en mars 2022. Le gouvernement allemand a indiqué que le projet de la Commission nécessitait encore de grandes modifications comme l'exclusion totale de l'identification biométrique à distance telle que stipulée dans le contrat de coalition.

Avec le projet GAIA-X¹⁴⁷ présenté en octobre 2019, le gouvernement fédéral entend créer, en collaboration avec des partenaires de l'économie et de la

¹⁴⁷ En septembre 2020, dans son premier discours sur l'état de l'Union, Mme Ursula van der Leyen, Présidente de la Commission, mentionne GAIA-X comme le projet sur lequel la stratégie des données de l'UE doit être construit. Il est géré par une association internationale sans but lucratif de droit belge. Parmi les 180 entreprises qui ont rejoint l'initiative figurent les géants du secteur : Amazon, Google, Microsoft, Alibaba. Mais aussi des grands noms du logiciel, comme Oracle, Salesforce ou Palantir Technologies. L'objectif initialement franco-allemand puis européen est d'imposer des bonnes règles de conduite pour favoriser l'adoption de cette technologie et accélérer l'économie de la donnée en Europe, estimée à 400 Md€ en 2019. Le 18 novembre 2021, un des 22 membres fondateurs, Scaleway annonce son retrait de Gaia-X en raison de la présence jugée trop importante des acteurs américains comme Microsoft, Google ou Amazon, qui contrôlent environ 70 % du marché. 22 entreprises françaises ou allemandes sont membres fondateurs. Parmi les entreprises françaises, Atos, EDF, Dassault Systèmes, OVH, Scaleway (Iliad), Orange, etc. Côté allemand, SAP, Siemens 4 et d'autres Amadeus, Beckhoff, Bosch, BMW, CISPE (*Cloud Infrastructure Services Providers in Europe*), DE-CIX, Deutsche Telekom, Dcaposte, Fraunhofer, German Edge Cloud, Institut Mines-Télécom, IDSA (International Data Spaces Association), Outscale, PlusServer, Safran sont à l'origine du projet. En décembre 2021, le directeur général de GAIA-X annonce que les premiers « espaces de données » seront lancés au premier semestre 2022. GAIA-X organise des communautés nationales sur la base de *hubs* nationaux. Le *hub* français

science, une infrastructure de données ouverte et en réseau, qui permettra d'assurer la sécurité des données dans le domaine de l'intelligence artificielle. Celle-ci doit mettre à disposition des données et des services pour les applications de l'IA et garantir la souveraineté numérique. La commission d'experts approuve l'objectif du projet, car une meilleure disponibilité des données pour les acteurs allemands et européens crée de nouveaux potentiels d'innovation dans le domaine de l'IA. Toutefois, la commission d'experts souligne que les effets escomptés ne pourront être atteints que si GAIA-X est mis en œuvre rapidement, présente une capacité minimale critique et garantit une grande facilité d'utilisation.

5. La coopération franco-allemande

5.1. La coopération bilatérale.

En matière de coopération entre la France et l'Allemagne, l'Académie franco-allemande pour l'industrie du futur permet depuis 2015 de mettre en commun les compétences de recherche de l'Institut Mines-Telecom et de l'Université technique de Munich (TUM).

La coopération avec la France est une priorité pour le gouvernement allemand. Suite à la signature du Traité d'Aix-la-Chapelle en 2019, la France et l'Allemagne ont signé en 2020 une déclaration d'intention conjointe sur la création d'un « Réseau de recherche et d'innovation en intelligence artificielle ». Les deux pays ont réaffirmé leur volonté de créer un écosystème commun en intelligence artificielle (IA) afin de mettre en place de nouveaux projets de coopération en matière de recherche et d'industrie sur la base de leurs stratégies nationales.

La coopération franco-allemande s'est tout d'abord traduite par un premier appel à projets commun. Le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI) *via* l'Agence nationale de la recherche (ANR), et le ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche (BMBF) ont lancé un appel à projets conjoint fin octobre 2020. 21 projets de recherche ont été sélectionnés pour un budget global de 12 M€ dont 6 M€ par pays. Les projets sélectionnés recouvrent une diversité de thématiques de recherche, telles que : l'IA au service de la santé, l'énergie, la robotique, le développement d'assistants conversationnels, l'analyse de discours en ligne, la prédiction de contenus vidéo, la conduite automatisée, ou encore la cryptographie.

En février 2021, le ministère de l'économie, des finances et de la relance (MEFR) et le ministère fédéral de l'économie et de l'énergie (BMWi) ont annoncé un nouvel appel à projets commun. L'appel à projets franco-allemand vise à dynamiser l'offre de solutions en IA pour la prévention des risques, la gestion des crises et la résilience. Les projets pourront notamment répondre

est lancé le 25 janvier 2021 et coordonné par le CIGREF avec le soutien du ministère de l'économie, de l'Académie des technologies et du pôle de compétitivité Systematic.

aux problématiques liées à ces trois domaines d'application : santé (détection précoce des épidémies, simulations de stratégies de confinement, etc.), économie (accompagner la transformation temporaire des lignes de production, sécuriser et optimiser la chaîne logistique, maintenir le lien à distance avec le client, etc.) et environnement (détection et prévention des crises environnementales, lutte contre l'artificialisation des sols, utilisation raisonnée des intrants en agriculture, etc.). Des projets portant sur des questions transversales, telles que le partage de données ou la création de synergies basées sur des infrastructures existantes comme GAIA-X, sont également possibles. Les deux pays ont mis à disposition des aides à hauteur de 10 M€ chacun pour les trois prochaines années. Cela s'inscrit dans le cadre du Programme des investissements d'avenir pour la France et dans le cadre du programme *Entwicklung digitaler Technologien* pour l'Allemagne. L'investissement total public-privé est estimé à 40 M€. L'appel à projets est opéré par Bpifrance et *DLR Projektträger*. Les projets ont été définitivement sélectionnés entre le mois de novembre 2021 et le mois de février 2022 pour débiter en mars 2022.

À ces coopérations bilatérales s'ajoutent la participation à des réseaux européens de recherche.

5.2. En sus de ces coopérations bilatérales, y compris les appels à projets lancés et en cours, la coopération franco-allemande passe par des réseaux européens et une conférence du réseau franco-allemand en IA est prévue en 2022 à Munich.

Les réseaux ELLIS et CLAIRE sont tous deux des initiatives qui proviennent des instituts de recherche et suivent une approche *bottom-up* mais ils n'ont pas les mêmes positionnements et objectifs dans le paysage de la recherche en IA.

5.2.1 Le réseau ELLIS

Lancé en décembre 2018 à l'initiative de chercheurs européens, dont l'informaticien et chercheur en IA de Tübingen Bernhard Schölkopf, le Laboratoire européen pour les systèmes d'apprentissage et intelligents ambitionne de renforcer la recherche d'excellence européenne en intelligence artificielle en déployant un réseau d'instituts et d'unités en Europe. À cette fin, la stratégie d'ELLIS repose sur trois piliers visant à favoriser les collaborations scientifiques entre chercheurs européens en IA :

- la mise en place de 14 programmes de recherche et de bourses qui doivent permettre à des jeunes chercheurs de faire de la recherche dans des domaines stratégiques en IA. S'inspirant de l'organisation de recherche canadienne CIFAR, les programmes s'articulent autour de l'organisation de plusieurs ateliers par an favorisant les échanges entre les boursiers et les chercheurs invités ;

- la mise en place d'un programme paneuropéen à destination des doctorants au sein duquel les projets de recherche peuvent être réalisés en cotutelle – la supervision du (post-)doctorant est assurée par des chercheurs d'unités ELLIS de deux pays différents avec une mobilité d'au moins six mois dans le pays du tuteur international - ou en collaboration avec l'industrie – dans ce cas, le (post-)doctorant est encadré par un directeur de recherche du monde académique et par un second issu de l'industrie ;
- le déploiement d'unités, et à plus long terme d'instituts ELLIS de plus grande envergure. En 2022, le réseau comptait 34 unités, situées dans 15 pays (dont certains hors-UE, tels qu'Israël ou le Royaume-Uni). Une grande partie des unités ELLIS sont co-affiliées à des institutions de recherche existantes, tandis que d'autres sont créées *ex-nihilo*. La sélection est opérée à la suite d'un appel à concours – un premier a été lancé en septembre 2019 – par un comité international dont la composition n'est toutefois pas précisée.

S'inspirant notamment du Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL), les instigateurs du réseau souhaitent faire d'ELLIS une organisation intergouvernementale européenne de recherche en IA. À ce stade, ELLIS prend toutefois encore la forme d'une association à but non-lucratif. Le financement du réseau ELLIS repose essentiellement sur des dons privés. Une distinction s'opère entre le financement des unités et celui de la centrale d'ELLIS:

Au niveau local, le pays hôte est en charge du financement des infrastructures et des frais de fonctionnement des unités. Celles-ci peuvent être financées par des sponsors (publics ou privés). Le budget des unités doit s'élever à 1,5 M€ par an, dont : 500 000 € pour les salaires des chercheurs permanents, 300 000 € pour soutenir le réseau ELLIS à travers le financement de postes de coordinateurs ou l'organisation d'événements ELLIS par exemple. Le financement des doctorants ELLIS ne doit pas excéder la moitié de ces 300 000 €.

Le financement de la centrale d'ELLIS repose sur : des contributions directes qui peuvent uniquement prendre la forme de dons ; les frais d'adhérents versés par les sponsors (20 % des contributions de sponsoring) lesquels sont destinés à soutenir les activités d'ELLIS (organisation d'événements, de workshops par exemple) ; la participation des unités ELLIS aux tâches organisationnelles ou administratives du réseau ELLIS à travers la mise à disposition de coordinateurs par exemple ou à défaut le versement d'une contribution financière de 20 000 € par an.

Le réseau ELLIS comporte des fragilités structurelles :

- la gouvernance du réseau ELLIS apparaît encore restreinte. Le comité de direction est composé de quatre membres (dont Bernhard Schölkopf) et d'un nombre équivalent de suppléants (dont deux chercheurs de l'université de Tübingen). Aussi, l'Allemagne apparaît

très impliquée au sein d'ELLIS - sur les 34 unités ELLIS, neuf se situent en Allemagne - tandis que certains centres d'excellence européens en IA n'ont pas intégré le réseau, à l'instar des centres 3IA français, de l'université de Rome, des universités danoises d'Aarhus et d'Aalborg ou encore d'établissements suédois tels que l'institut royal de technologies ou l'école polytechnique Chalmers.

- le réseau ELLIS ne dispose pas de financement central et pérenne. L'implantation d'unités ELLIS dépend par conséquent fortement des écosystèmes locaux. Ainsi, en Allemagne sept unités du réseau ELLIS ont obtenu en mai 2022 un financement de 13,7 M€ pour cinq ans de l'Office allemand d'échanges universitaires dans le cadre du programme « *Konrad Zuse Schols of Excellence in Artificial Intelligence* ». La fondation privée Hector a octroyé en 2022 un soutien financier à hauteur de 100 M€ au site de Tübingen pour une période minimale de dix ans, à travers des bourses ELLIS (« *Hector Endowed ELLIS Fellowships* »). Celles-ci serviront de base à l'établissement d'un nouvel institut ELLIS à Tübingen de plus grande envergure. À ce financement s'ajoutent 25 M€ du gouvernement du Bade-Wurtemberg qui mettra en outre à disposition de l'institut ELLIS des locaux et des ressources administratives. Par ailleurs, au niveau européen, les unités ELLIS avaient bénéficié en 2020 d'une subvention de 12 M€ de la Commission européenne, dans le cadre de l'appel à projets *ICT-48-2020 : Towards a vibrant European network of AI excellence centres* à la suite de la sélection du projet « ELISE » (*European Learning and Intelligent Systems Excellence*).
- le réseau ELLIS tend à entrer en concurrence avec d'autres réseaux européens existants en IA, à l'instar de la Confédération paneuropéenne des laboratoires de recherche en intelligence artificielle (CLAIRE).

Mais, en dépit de ces fragilités, le réseau ELLIS est particulièrement attractif, en raison de :

- l'excellence des chercheurs impliqués. Le taux de sélectivité à l'entrée du programme à destination des doctorants témoigne de l'intérêt porté au réseau (sur les 1 700 candidatures provenant de 81 pays déposées en avril 2022, 50 ont été acceptées, soit un taux de sélectivité de 3 %) ;
- l'accent mis sur la recherche fondamentale. Ce faisant, ELLIS apparaît complémentaire de CLAIRE, plus large et davantage axée sur la recherche appliquée.

En France, le réseau semble susciter un intérêt accru. À cet égard, l'institut multidisciplinaire en intelligence artificielle (*Multidisciplinary Institute in Artificial intelligence* - MIAI) de Grenoble, l'un des quatre instituts du réseau 3IA français, a entrepris les démarches pour devenir une

unité du réseau. Il s'ajouterait à l'unique unité ELLIS présente en France (Paris, PRAIRIE).

5.2.2. Le réseau CLAIRE

Le réseau CLAIRE a pour but de mettre en réseau les centres de recherche sur l'IA à travers l'Europe et est donc plus ouvert que le réseau ELLIS.

La France participe au réseau CLAIRE à travers Inria, qui s'est impliquée dans le réseau en lien avec son partenaire stratégique, le Centre de recherche allemand pour l'intelligence artificielle (DFKI). Le DFKI est particulièrement actif dans le réseau CLAIRE par le biais du bureau qu'ils ont ouvert à Saarbrücken en 2019 (le premier du réseau). Le professeur Philipp Slusallek, qui est directeur exécutif au DFKI de Saarbrücken et directeur scientifique du département de recherche « agents et réalité simulée » du DFKI, est également l'un des trois co-fondateurs de CLAIRE, vice-président du conseil d'administration et directeur de la stratégie du réseau. Le réseau compte aujourd'hui huit bureaux dont un en Allemagne à Sarrebruck et un en France à Paris. CLAIRE regroupe 424 laboratoires et institutions dans 37 pays. 62 laboratoires et institutions allemands et 28 laboratoires et institutions français en font partie.

L'engagement conjoint fort en faveur du réseau CLAIRE a conduit l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria) et le Centre allemand de recherche sur l'intelligence artificielle (DFKI) à signer un protocole d'accord pour la coopération en matière d'IA en janvier 2021, à l'occasion du premier anniversaire du traité d'Aix-la-Chapelle. L'objectif du protocole d'accord est de mettre les compétences des chercheurs des deux entités au service de plusieurs problématiques d'actualité, en particulier dans les domaines de la santé, la cybersécurité, la robotique, ou encore l'industrie. Quatre premiers projets ont été retenus en octobre 2020. Dans la même dynamique de coopération, Inria et le DFKI ont lancé en juillet la première école d'été européenne Inria-DFKI en intelligence artificielle consacrée à l'IA de confiance et l'IA pour la médecine. Deux nouveaux projets franco-allemands sont attendus pour 2022. Suite à un accord en 2019, l'ONERA et le DLR ont initié une coopération en "IA et applications en ingénierie aérospatiale", en créant en 2020 un centre de recherche virtuel qui a vocation à contribuer à la transformation numérique de l'industrie aéronautique et spatiale.

Finlande : faire de l'IA l'atout de l'attractivité globale de la Finlande de demain

La Finlande se classe parmi les meilleurs pays de l'UE en matière de compétences numériques. La Commission européenne évalue la capacité numérique des pays de l'UE et son évolution grâce à l'indice annuel de l'économie et de la société numériques (DESI). Le DESI suit la numérisation des pays de l'UE dans cinq domaines : la connectivité, le capital humain (y compris les compétences numériques), l'utilisation des services internet par les citoyens, l'intégration de la technologie numérique par les entreprises et les services publics numériques. Dans la dernière comparaison DESI, la Finlande a conservé sa position de leader.

1. La stratégie nationale de l'IA de 2019

En 2017, le ministère des affaires économiques et de l'emploi a nommé un groupe de pilotage chargé de préparer une proposition de programme d'intelligence artificielle (IA) pour la Finlande (l'ère de l'intelligence artificielle en Finlande, ou *Tekoälyaika*). En 2019, le rapport final¹⁴⁸ de ce groupe de pilotage préconise onze actions clés pour faire entrer la Finlande dans l'ère de l'IA et en faire un leader mondial dans l'application de l'intelligence artificielle :

1. améliorer la compétitivité des entreprises par l'utilisation de l'IA ;
2. utiliser efficacement les données dans tous les secteurs ;
3. faire en sorte que l'IA puisse être adoptée plus rapidement et plus facilement ;
4. garantir une expertise de haut niveau et attirer les meilleurs experts ;
5. prendre des décisions et des investissements audacieux ;
6. mettre en place les meilleurs services publics du monde ;
7. établir de nouveaux modèles de collaboration ;
8. faire de la Finlande un précurseur à l'ère de l'intelligence artificielle ;
9. se préparer à ce que l'intelligence artificielle change la nature du travail ;
10. orienter le développement de l'intelligence artificielle dans une direction fondée sur la confiance et centrée sur l'homme ;
11. se préparer aux défis de la sécurité.

¹⁴⁸ Publication - *Ministry of Economic Affairs and Employment* (tem.fi).

Ce rapport préconise d'établir une coopération étroite entre les secteurs public et privé. Ces éléments de stratégie sont à remplacer dans un contexte plus large. Un groupe de travail interministériel rattaché au ministère de l'économie, de l'emploi, des transports et des communications prépare pour le printemps 2022 un nouveau document sur la transformation digitale et l'économie de la donnée à l'échéance de 2030¹⁴⁹.

En novembre 2020, la Finlande a lancé le programme Intelligence artificielle 4.0¹⁵⁰ pour promouvoir le développement de l'IA dans les entreprises, en mettant l'accent sur les PME. Des rapports d'exécution sont régulièrement publiés. Le groupe de pilotage comprend un large éventail d'acteurs (ministères, universités, entreprises, investisseurs).

Les principaux acteurs publics pour définir les orientations sont :

- le ministère des affaires économiques et de l'emploi : *Business Finland* y est rattaché ;
- *Business Finland*¹⁵¹. Business Finland emploie 760 personnes présentes dans 40 sites à l'étranger et 16 en Finlande. C'est un opérateur du secteur public qui finance notamment la recherche dans le secteur public et le secteur privé. En 2021 le financement qu'elle a apporté a été de l'ordre de 1,210 Md€ ;
- l'Académie de Finlande : c'est un organisme sous la tutelle du ministère de l'éducation et de la culture, chargé du financement de la recherche scientifique. L'examen par les pairs internationaux de haut niveau est l'outil clé ;
- le ministère des finances.

2. Les financements publics

Pour soutenir la mise en œuvre de la stratégie nationale, plusieurs initiatives ont été mises en action.

En 2018, le gouvernement a initié un investissement de 160 M€ fixé pour une période de quatre ans. C'est *via* le programme *AI Business 3* de *Business Finland* que cet argent a été distribué, les entreprises elles-mêmes y contribuant également. Le montant total du programme s'est élevé à plus de 200 M€. Les travaux préparatoires pour donner une suite à *AI Business 2018-2021* ont commencé et pourraient aboutir en 2023. Il faut noter qu'en dehors d'un programme spécifiquement dédié à l'IA, *Business Finland* finance et a financé des projets touchant à l'IA *via* ses autres programmes, mais le total de ces financements n'est pas répertorié.

¹⁴⁹<https://valtioneuvosto.fi/en/-/10623/preparation-of-finland-s-digital-compass-continues-in-close-cooperation-with-stakeholders>

¹⁵⁰ [Programme Intelligence artificielle 4.0 - Ministère de l'économie et de l'emploi \(tem.fi\)](https://www.businessfinland.fi/en/for-finnish-customers/about-us/in-brief#stored)

¹⁵¹ <https://www.businessfinland.fi/en/for-finnish-customers/about-us/in-brief#stored>.

Business Finland dispose, par exemple, actuellement d'un programme de financement appelé *Leading companies and ecosystems* qui peut inclure des investissements dans l'IA, mais pas seulement. Dans le cadre de ce programme, un montant maximum de 20 M€ est réservé pour l'entreprise dirigeante et maximum 50 M€ pour les autres entreprises de l'écosystème (pour une durée de trois à cinq ans). En 2020, six projets/écosystèmes ont ainsi été financés et six autres en 2021. Parmi ces projets, on peut citer notamment le projet AISA (*Artificial Intelligence for Situational Awareness*) de 12 M€ dirigé par Nokia et qui vise à accélérer l'adoption de la 5G et de l'IA par l'industrie finlandaise. Ce projet est financé conjointement par *Business Finland* et les entreprises participantes.

Le *flagship programme* de l'Académie de Finlande permet la structuration et le financement de la RDI. Le programme encourage une collaboration active entre la recherche, les entreprises et la société dans le domaine de chaque Flagship en accordant un financement substantiel et à long terme. L'intelligence artificielle, au travers du Centre finlandais pour l'Intelligence Artificielle, fait partie des 10 fleurons sélectionnés par l'Académie de Finlande pour un financement sur la période 2018-2026.

Le Centre finlandais pour l'intelligence artificielle (FCAI) a reçu 8,3 M€ pour 2019-2022 pour démarrer son activité. L'Académie de Finlande a annoncé en janvier 2022 qu'elle prolongeait le financement de 6 programmes phares dont le FCAI et 11 M€ viennent d'être accordés pour la période 2023-2026. Le budget total du FCAI (avec les contributions d'autres organisations) est estimé à 250 M€ pour la période 2019-2026.

En parallèle, le plan de relance national finlandais (2021) prévoit des investissements et des réformes à hauteur de 2,1 Md€, dont 27 % pour la transition numérique du pays. Parmi ces investissements, 25 M€ sont dédiés au le Programme d'accélération des technologies de pointe. Le premier appel pour projets ouvre début 2022 et les décisions pour les premiers projets seront pris d'ici fin 2022.

En janvier 2022, le ministère des affaires économiques et de l'emploi a annoncé qu'il financera les pôles européens d'innovation numérique sélectionnés en Finlande pour les trois premières années. Ces centres soutiennent les entreprises et le secteur public dans l'utilisation et le déploiement de solutions numériques.

Au total, il est très difficile de faire une estimation globale de l'effort financier public en faveur de la recherche et de l'innovation en IA. Mais des priorités financières sont bien identifiées (programme *AI Business* de Finlande, Centre finlandais pour l'IA de l'Académie de Finlande) et le co-financement avec les entreprises privées, dont Nokia, est recherché très activement.

3. Les acteurs privés

*Technology Industries of Finland*¹⁵² est l'organisation de *lobbying* des entreprises de l'industrie technologique. Il y a plus de 300 start-up d'IA en Finlande. Les 30 premières entreprises classées par l'accélérateur finlandais d'intelligence artificielle doublent leur croissance chaque année. Le nombre de personnes travaillant dans des start-up d'IA en Finlande augmente d'environ 33 % chaque année. *Business Finland* a publié un rapport qui décrit comment les entreprises se répartissent¹⁵³.

4. Les centres de recherche

Selon l'OCDE les principales universités en nombre de publications de recherche portant sur l'IA, sont Université de Helsinki, Aalto Université, Université de Tampere, *Tampere University of Technology*, *Helsinki University of Technology*, Université de Oulu, Université de Turku, Université de Finlande orientale, Université de Jyväskylä.

Silo.AI est le plus grand laboratoire de solutions d'intelligence artificielle des pays nordiques, qui se consacre à la création d'un service d'intelligence artificielle centré sur l'humain. Créée en 2017, *Silo.AI* a des bureaux actuellement à Helsinki, Turku, Tampere, Oulu, Stockholm, Copenhague, Londres et Palo Alto et compte 220 experts. Depuis sa création, *Silo.AI* vise à établir un écosystème autour de sa plateforme afin de réunir des experts en IA et des partenaires technologiques.

Le Centre finlandais pour l'intelligence artificielle (FCAI) regroupe l'Université Aalto, l'Université d'Helsinki et le Centre de recherche technique VTT de Finlande et fait lui-même partie de réseaux plus larges de partenaires publics, industriels et académiques finlandais et internationaux¹⁵⁴. Il comprend 60 professeurs et 300 chercheurs et il dispose d'un budget de 250 M€ pour le mandat phare (2019-2026). Les sujets de recherche AI sont : l'IA probabiliste agile, l'inférence basée sur un simulateur, l'apprentissage profond de nouvelle génération, l'IA sécurisée et préservant la confidentialité, l'IA interactive.

Le CSC - *IT Center for Science* est un centre finlandais d'expertise en technologie de l'information appartenant à l'État finlandais (70 %) et aux

¹⁵² <https://teknologiateollisuus.fi/en/technology-industries-finlandt>

¹⁵³ [PowerPoint Presentation \(businessfinland.fi\)](#)

¹⁵⁴ Partenaires du FCAI : AIRC – Centre de Recherche sur l'intelligence artificielle, Japon ; *Alan Turing Institute* – l'institut national pour le data science et l'intelligence Artificielle, UK ; CLAIRE - Confédération des Laboratoires pour la recherche sur l'Intelligence Artificielle en Europe ; EIT Digital - Organisation européenne pour l'innovation numérique et l'éducation entrepreneuriale ; ELLIS (et ELLIS Unit Helsinki) – Laboratoire Européen pour l'apprentissage et les systèmes intelligents ; HumaneAI ; *Nordic Five Tech* - alliance stratégique des cinq principales universités techniques du Danemark, de Finlande, de Norvège et de Suède ; *NSF Science and Technology*, Centre pour la Science de l'Information, USA ; *RIKEN Center for Advanced Intelligence Project*, Japon ; *University of Manchester*.

établissements d'enseignement supérieur (30 %) : il fait partie intégrante du système national de recherche, développe, intègre et offre des services TIC de haute qualité pour la recherche, l'éducation, la culture, l'administration publique et les entreprises. Ce centre public, à but non lucratif, répond à la demande aux besoins de ses principaux clients que sont le ministère de l'éducation et de la culture et les organisations du secteur, les établissements d'enseignement supérieur (universités et universités de sciences appliquées), les instituts de recherche et l'administration publique.

Le centre technologique *NVIDIA¹⁵⁵ AI (NVAITC)* est un centre de recherche conjoint du centre finlandais d'intelligence artificielle *FCAI*, de *NVIDIA* et du centre informatique finlandais pour la science *CSC- IT Center for Science*. *NVAITC* Finlande contribue à accélérer la recherche, l'éducation et l'adoption de l'intelligence artificielle en faisant bénéficier les chercheurs en intelligence artificielle de l'expertise de *NVIDIA* dans l'utilisation des processeurs graphiques (GPU) et des logiciels d'IA dans les applications d'IA. *NVIDIA* a contribué aux recherches menées au *FCAI*. Le *NVAITC* fournit une quantité considérable de puissance de calcul aux chercheurs en IA. Jusqu'à présent, le *NVAITC* a entrepris neuf projets provenant de toutes les organisations participantes, l'Université d'Helsinki, le *VTT* et l'Université d'Aalto. Les sujets abordés couvrent différents domaines de l'IA, par exemple les processus gaussiens, la vision par ordinateur, la modélisation générative et le traitement du langage naturel.

5. Capacités de calcul

Lumi, le premier supercalculateur pré-exaflopique développé par EuroHPC, l'entreprise commune européenne pour le calcul à haute performance, a été inauguré à Kajaani, en Finlande, lundi 13 juin 2022. Il est considéré comme le plus écologique d'Europe et le troisième au niveau mondial. Il est uniquement alimenté par des énergies renouvelables, utilise des systèmes de refroidissement naturels et réutilise sa chaleur résiduelle pour alimenter jusqu'à 20 % du chauffage urbain local. Lumi devrait afficher un pic de performance de 550 pétaflops (550 millions de milliards de calculs par seconde). Lumi qui appartient à l'entreprise commune EuroHPC et est géré par un consortium de 10 pays ayant une longue tradition et des connaissances en matière de calcul scientifique : Finlande, Belgique, République tchèque, Danemark, Estonie, Islande, Norvège, Pologne, Suède et Suisse. Il est cofinancé à hauteur de 144,5 M€ par EuroHPC.

¹⁵⁵ *Nvidia Corporation* est une entreprise américaine spécialisée dans la conception de processeurs graphiques, de cartes graphiques et de puces graphiques pour PC et consoles de jeux.

La France ne participe pas au consortium LUMI, ayant décidé d'attendre l'appel à manifestation d'intérêt pour héberger et opérer une machine exascale prévu à fin 2022. La France ne contribue donc pas directement à cette acquisition mais indirectement *via* le budget européen puisque EuroHPC en finance 50 %. Les chercheurs français pourront postuler aux appels à projets ouverts sur la partie européenne de ce supercalculateur (50 %).

6. La formation

Aujourd'hui, la recherche et l'enseignement de l'apprentissage automatique et de l'IA sont menées dans plusieurs universités du pays, ainsi qu'au centre de recherche technique VTT de Finlande. Les grandes universités proposent plus de 250 cours individuels d'IA, 40 programmes de niveau master, 19 programmes de niveau licence et trois programmes de doctorat. Les universités de sciences appliquées sciences appliquées proposent 26 programmes d'études sur le sujet. Au total, environ 6 300 étudiants suivent chaque année au moins un cours en l'IA dans les universités finlandaises chaque année. Plusieurs centaines d'étudiants sont diplômés des programmes d'IA chaque année.

L'*AI Academy*, à l'université de Turku, fournit une plateforme ouverte pour apprendre l'IA aux étudiants et aux travailleurs de tous les domaines, sans avoir besoin d'avoir beaucoup de connaissances préalables en technologie. Dans cette philosophie, *AI Academy*, propose depuis fin 2020 un cours en ligne ouvert et massif sur l'IA et la cybersécurité.

*Helsinki Education Hub*¹⁵⁶ est né du besoin des partenaires fondateurs (start-up EdTech, investisseurs, experts pédagogiques, apprenants, chercheurs, entreprises et secteur public), de rassembler les innovateurs de l'éducation sous un même toit EdTech. *Helsinki Education Hub*, ouvert en 2020, est un lieu de collaboration pour développer les produits, les innovations et la productivité des start-up EdTech et participer ainsi à renforcer l'apprentissage et l'éducation en Finlande et dans le monde. Dans le cadre de leurs services, ils proposent un programme d'incubation EdTech de 20 semaines à Helsinki pour les start-up et les équipes EdTech. Les solutions développées vont de l'éducation de la petite enfance à l'éducation des adultes et de la réalité virtuelle à l'utilisation de l'IA. Les produits comprennent des jeux éducatifs, des plateformes d'apprentissage en ligne et des applications pour l'apprentissage de la musique, l'éducation sexuelle, l'évaluation et l'apprentissage des langues.

¹⁵⁶ <https://educationhubhelsinki.fi/>

En mai 2018, l'Université d'Helsinki et la société de conseil en logiciels Reaktor ont créé ensemble un cours destiné à enseigner aux particuliers les bases de l'intelligence artificielle - *Elements of AI*¹⁵⁷. L'objectif de ce cours était d'éduquer un pour cent de la population finlandaise (environ cinquante mille personnes) afin qu'elle se familiarise avec les concepts fondamentaux et la logique sous-jacente de l'IA. L'objectif a été dépassé puisque 100 000 personnes se sont inscrites au cours en Finlande et plus de 750 000 dans le monde à ce jour. *Elements of AI* est un cours en ligne gratuit qui donne aux citoyens une compréhension de base de ce qu'est l'IA et de ce à quoi elle peut et ne peut pas servir.

7. L'attractivité

Quatre initiatives de l'État finlandais sont à noter :

- la procédure accélérée pour l'obtention des permis de travail/résidence pour les spécialistes.
- les mesures prises en faveur du maintien en Finlande des étudiants internationaux (extension de la validité du permis de séjour).
- le projet HEI LIFE (Higher Education Institutions' Support for International Academics and Staff - Living, Integration, Family and Employment in Finland) vise à créer des modèles nationaux pour les établissements d'enseignement supérieur finlandais afin de soutenir l'intégration des universitaires et du personnel internationaux et de leurs familles. Le projet est financé par le ministère de l'éducation et de la culture.
- le ministère des affaires économiques et de l'emploi participe également à un projet de recherche qui vise à déterminer comment renforcer l'attractivité de la Finlande auprès des experts internationaux et des expatriés afin d'endiguer la pénurie de main-d'œuvre qualifiée qui constitue déjà un obstacle à la croissance dans de nombreux secteurs.

8. Faciliter l'acceptation des technologies IA par la société

*FCAI Society*¹⁵⁸ est un groupe interdisciplinaire d'experts dont l'objectif est d'analyser la technologie de l'IA et le rôle qu'elle a au niveau social et sociétal. Fondée en mars 2018, *FCAI Society* a sollicité des experts en philosophie, en éthique, en sociologie, en études juridiques, en psychologie et en art pour explorer l'impact que l'IA aura dans tous les aspects de la vie.

¹⁵⁷ <https://www.elementsofai.com/>

¹⁵⁸ <https://fcai.fi/fcai-society>

Les politiciens finlandais utilisent un rapport politique intitulé *Politique d'information éthique à l'ère de l'intelligence artificielle* comme base à la création de nouvelles lois et réglementations. Ce rapport de 2018 est le fruit d'un partenariat unique entre le secteur public et le secteur privé, auquel ont participé plus de 200 experts du gouvernement, de l'industrie et des universités/instituts.

En appui au groupe de travail sur l'Intelligence Artificielle du ministère de l'économie, quatre sous-groupes ont été mis en place au printemps 2018 pour alimenter la réflexion des autorités finlandaises autour des quatre orientations suivantes : 1. Expertise et innovations ; 2. Données et économie des plateformes ; 3. Transformation de la société et du travail ; 4. Éthique. Parmi les initiatives portées par ce sous-groupe, l'on peut citer le « Challenge éthique de l'intelligence artificielle » organisé en octobre 2018, auquel 70 entreprises et institutions finlandaises de d'activités ont participé afin d'échanger sur les principes éthiques devant présider au recours à l'intelligence artificielle.

La Finlande appuie, naturellement les travaux en cours à Bruxelles qui visent à encadrer l'usage de l'IA (DSA, DMA, Règlement IA).

Italie : un programme ambitieux pour rattraper les retards

Pour ce qui est de la qualité de la recherche, l'écosystème italien d'IA n'est pas éloigné des pays européens de sa taille (Royaume-Uni, Allemagne et France).

Cependant, le pays semble avoir pris conscience qu'il y a bien tout de même un décalage et qu'il risque de s'accroître.

Globalement, l'on rappellera tout d'abord la faiblesse de l'Italie lorsque l'on considère des paramètres tels que la dépense tant publique que privée en R&D et les brevets. Le domaine de l'IA n'y échappe pas¹⁵⁹.

En 2019, l'Italie comptait environ 740 chercheurs en IA (contre 2 974 au Royaume-Uni, 2 755 en France et 2 660 en Allemagne), mais 3 374 publications scientifiques (contre 6 645 au Royaume-Uni, 5 310 en Allemagne et 3 352 en France). La productivité moyenne par chercheur est donc de 4,57 articles (contre 2,23 au Royaume-Uni, 2,00 en Allemagne et 1,22 en France)¹⁶⁰. Mais cet indicateur est à interpréter avec prudence. Et avec 32 001 demandes, l'Italie est en queue de peloton en matière de brevets (dont en IA)¹⁶¹.

¹⁵⁹ Eurostat 2020 dépense en R&D en recherche : Allemagne 3,17 %, France 2,19 %, Royaume-Uni 1,76 % Italie 1,45 %.

¹⁶⁰ Programme Stratégique IA : <https://assets.innovazione.gov.it/1637777513-strategic-program-aiweb.pdf>

¹⁶¹ 178 184 pour l'Allemagne, 67 294 pour la France et 54 762 pour le Royaume-Uni.

Certes, l'Université Sapienza de Rome est une des premières universités européennes à avoir ouvert une Maîtrise en IA et Robotique, en 2009. Mais l'absence majeure de débouchés dans le domaine de l'IA en Italie favorise le départ des diplômés dans ce domaine, généralement vers le continent américain.

L'Italie dispose d'un éventail large d'entreprises qui fournissent des technologies spécialisées dans les solutions d'IA.

Elles ont réalisé en 2020, un chiffre d'affaires de 300 M€, soit 3 % du marché européen, dont 230 M€ sont sur le marché domestique et 70 M€ à l'exportation¹⁶². Mais comme le reconnaît le programme stratégique, le marché de l'IA en Italie reste encore très limité. Le fait est que l'Italie ne compte aucune entreprise globale championne digitale (qui fournit un service digital à d'autres sociétés dans le monde). Le programme stratégique, dans sa partie de diagnostic, pointe le sous-investissement en recherche IA du secteur privé. Selon un rapport de Mc Kinsey¹⁶³, le taux de croissance annuel tel que prévu en 2019 de la part du PNB en IA serait inférieur en Italie (13 %) à la moyenne européenne (19 %).

1. La stratégie nationale de novembre 2021

Le Programme stratégique IA apparaît comme un tournant drastique de la politique italienne en matière d'IA. À travers lui, l'Italie se dote d'une ambition sérieuse, aussi bien européenne que nationale (le *Ministero per l'innovazione tecnologica e la transizione digitale* rappelle que le programme stratégique italien s'aligne bien sur le *Coordinated Plan on Artificial Intelligence* établi en 2018 et augmenté en avril 2021 par la Commission européenne).

Si, au niveau de l'*ambition*, (les financements sont toujours désignés dans le Programme comme "*fonds possibles*") l'Italie se hisse à la hauteur des exigences exposées par le Plan de la Commission européenne, il est probablement trop tôt pour en évaluer les résultats concrets – il s'agit actuellement de la phase de mise en application d'un Programme qui se donne l'année 2024 pour horizon de réalisation et qui, s'il fonctionne, devrait placer l'Italie parmi les pays européens moteurs dans le domaine de l'IA.

¹⁶² Selon une étude publiée par l'Observatoire sur l'IA, en février 2021, 26 sociétés italiennes proposent des produits et service en IA.

¹⁶³ *The Future is Now*, séminaire Milan 2019.

Le gouvernement italien a adopté en novembre 2021 ce Programme stratégique pour l'Intelligence Artificielle sur la période 2022-2024¹⁶⁴. Il a été préparé par un groupe de travail nommé à cet effet¹⁶⁵

Ce programme part d'un constat sans fard : l'écosystème italien est dynamique et foisonnant, mais son potentiel n'est pas suffisamment exploité ; les communautés de recherche sont très actives, mais de petite taille et avec une faible capacité à générer des brevets ; le secteur industriel fournisseur de solution IA est en croissance rapide, mais encore sous dimensionné par rapport aux autres pays européens similaires. Ce document après ce tableau lucide décrit les défis à relever et propose des actions.

Cinq grands principes guident les actions proposées :

- la stratégie italienne s'inscrit parfaitement dans le cadre de la stratégie européenne dont elle reprend les propositions.
- l'Italie a l'ambition de devenir un pôle mondial de recherche et innovation en IA.
- l'IA italienne sera anthropocentrique, fiable et durable.
- l'IA doit diffuser au sein du secteur privé.
- les administrations publiques italiennes doivent gouverner l'IA et gouverner avec l'IA.

Le programme se fixe six objectifs :

- renforcer la recherche de rupture en IA ;
- réduire la fragmentation de la recherche en IA ;
- développer et adopter une IA anthropocentrique et fiable ;
- augmenter l'innovation basée sur l'IA et le développement de la technologie d'IA ;

¹⁶⁴ <https://assets.innovazione.gov.it/163777513-strategic-program-aiweb.pdf>. La plupart de chiffres et statistiques qui figurent dans cette note sont issues de ce document.

¹⁶⁵ Mmes et MM. Barbara Caputo, professeure (Polytechnique de Turin), Isabella Castiglioni (professeure à l'Institut de bio-image et de Physiologie moléculaire, membre du Conseil National de la Recherche), Marco Conti, Rita Cucchiara (professeur d'architecture informatique et de vision par ordinateur au département d'ingénierie Enzo Ferrari de l'université de Modène), Juan Carlos de Martin (professeur au département DAUIN de l'École polytechnique de Turin, cofondateur du Nexa Center of Internet and Society), Fosca Gianotti (professeure à l'École normale de Pise, directrice du *Pisa KDD Lab Knowledge Discovery and Data Mining*), Giuseppe Magnifico (membre du CNR, professeur de physique quantique à l'université de Padoue), Michela Milano (professeur d'Intelligence artificielle à l'université de Bologne), Giovanni Miragliotta (professeur associé à l'École Polytechnique de Milan, spécialiste de l'IOT).

- développer des politiques et des services basées sur l'IA dans le secteur public ;
- former, retenir et attirer en Italie des chercheurs en IA.

Finalement, le programme propose 24 actions dans trois domaines :

- renforcer et attirer les talents et les compétences (cinq actions A) ;
- accroître le financement de la recherche (six actions B et deux actions C) ;
- favoriser l'adoption de l'IA et de ses applications dans l'économie italienne (cinq actions D) et l'administration publique (six actions E).

Les actions sont définies dans le document de façon volontaristes (« renforcer », « promouvoir », organiser », etc.). En revanche, il y a rarement des jalons ou des chiffres-cibles posés comme actés.

2. Le financement de la stratégie nationale

Il n'y a pas de tableau global. Le plan s'appuie sur un ensemble de ressources, dont celles ouvertes par le Plan National de Relance et Résilience (PNRR) au titre du numérique, de l'éducation, de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, et divers fonds gérés par les ministères (le fonds Transition 4.0, et le fonds conjoint d'investissement en capital risque de la CDP¹⁶⁶ et du fonds pour l'innovation du ministère de l'industrie et du développement économique ; le fonds pour la science du ministère des universités et de la recherche, etc.) qui ne sont pas spécifiquement ciblés sur l'IA. On note cependant :

- un financement PNRR de 1,61 Md€ pour financer 15 projets de recherche public-privés dont un sur l'IA ;
- un financement PNRR de 1,6 Md€ pour financer cinq centres nationaux sur les technologies clés, dont un sur le calcul haute performance ;
- un investissement en capital risque de 45 M€ est prévu sur le Fonds national pour l'Innovation sur IA, Blockchain et IoT.

Des financements public-privés sont aussi envisagés sur certaines actions dans le domaine de l'innovation, notamment à travers le Fonds national pour l'Innovation, un fonds d'investissement public-privé géré par la Caisse des Dépôts et Prêts. Mais il n'y a pas de chiffrage de l'effet de levier attendu.

Le programme stratégique, qui rappelle les chiffres de financement associés aux plans allemand (5 Md€ pour la période 2019-2025) et français

¹⁶⁶ Caisse des Dépôts et Prêts, qui appartient au secteur public.

(la SNIA, 3 Md€ 2018 – 2025) ne donne donc pas de chiffre global italien. En revanche, il mentionne des financements « possibles » pour chacune des 24 actions à mener.

Il est clair que l'Italie compte bénéficier le plus possible de l'accroissement des financements européens¹⁶⁷. C'est ce qui explique l'insertion de l'IA dans le PNRR largement financé sur fonds européens.

3. Les secteurs d'activité spécifiquement visés dans le cadre du plan stratégique.

Les secteurs prioritaires du programme stratégique IA italien sont l'industrie manufacturière, l'éducation, l'agroalimentaire, la culture et le tourisme, la santé et le bien-être, l'environnement, les infrastructures et les réseaux, les services financiers, l'administration, la ville et les communautés intelligentes, la sécurité nationale (y compris la cybersécurité), les technologies de l'information.

Pour chacun de ces secteurs, le programme stratégique décrit brièvement les applications possibles de l'IA et leurs bénéfices. Mais, encore une fois, sans dans la plupart des cas aller jusqu'à poser des objectifs quantitatifs ni des jalons.

4. Le cadre général pour le développement de l'IA et son usage

En matière d'éthique en IA, le Programme IA s'aligne explicitement sur les propositions de la Commission européenne d'avril 2021, ayant pour but de définir un Règlement européen : l'*Artificial Intelligence Act* (le projet de règlement IA présenté en avril 2021 par la Commission européenne).

Le Programme IA s'aligne également sur le paragraphe 3 de la Constitution italienne, ainsi que sur les Lignes directrices éthiques pour un programme d'orientation et mise en œuvre fiable de l'IA définie par le *High Level expert Group on IA* de la Commission européenne.

L'Italie soutient la Commission dans sa stratégie visant à renforcer l'autonomie stratégique et industrielle de l'UE et à relever le défi de la transition durable et numérique. Le programme stratégique italien souligne explicitement que sa formulation s'inscrit dans la suite de la communication de la Commission européenne d'avril 2018 sur l'Europe et l'intelligence artificielle et dans le cadre de ses plans coordonnés pour l'intelligence artificielle de décembre 2018 et 2021. Elle compte beaucoup sur les financements européens.

¹⁶⁷ 1,5 Md€ pour la période 2018-2020, 1 Md€ par an après 2020 dans le cadre d'Horizon Europe et Digital Europe (Commission européenne, lignes directrices en matière d'éthique pour une IA digne de confiance).

L'Italie appuie les initiatives européennes dans les secteurs pour lesquels la crise a révélé ou amplifié une dépendance excessive vis-à-vis des pays tiers, et participe au deuxième PIIEC¹⁶⁸ sur l'électronique et la connectivité et au PIIEC sur le *cloud*. Elle est favorable à un PIIEC de grande envergure sur l'électronique pour accroître l'indépendance européenne en composants.

Outre les projets industriels d'envergure, l'Italie demande l'accélération de l'innovation dans les technologies numériques clés (IA, quantique, 5G/6G), et des actions européennes en faveur d'un *level playing field* global. L'Italie est favorable à l'harmonisation européenne, et a soutenu l'adoption des directives DSA et DMA.

Le ministre en charge de l'innovation technologique appuie le concept d'autonomie stratégique ouverte. Il défend une approche fondée sur trois piliers : une souveraineté européenne commune et partagée (la Commission fixant les objectifs que les entreprises doivent atteindre), une capacité de collaboration italienne avec des projets (si nécessaire en nouant des partenariats hors UE) et des personnes d'excellence (rôle de l'innovation).

5. Les acteurs de l'enseignement supérieur et de la recherche publique en matière d'IA.

Le paysage de la formation et de la recherche est morcelé.

Les universités italiennes offrent plus de 200 formations en IA distribuées sur environ 50 universités. Le ministère de l'université et de la recherche (MIUR) a chargé le CNR (équivalent du CNRS) de mettre en place un programme national de doctorats en IA qui a été lancé en 2021. Structuré en cinq grands domaines : IA et société, IA et cybersécurité, IA pour la santé et les sciences de la vie, IA et industrie 4.0 et IA pour l'environnement et l'agriculture, le programme implique plus de 50 universités et six organismes/instituts de recherche et a bénéficié jusqu'à maintenant de 200 bourses de doctorat (budget de 16 M €).

Les chercheurs italiens participent aussi aux réseaux internationaux de recherche réputés tels que CLAIRE, ELLIS, et ceux qui s'inscrivent dans le programme Horizon Europe¹⁶⁹.

Le *National Lab AIIS – Artificial Intelligence and Intelligent Systems*, créé en juin 2018 par le CINI (Consortium Interuniversitaire National pour l'Informatique), avec le soutien du Département d'Information et de Sécurité de la Présidence du Conseil des Ministres, est un réseau d'équipes de recherche réparties au sein de 46 universités¹⁷⁰ et

¹⁶⁸ Programme important d'intérêt européen commun.

¹⁶⁹ Le portefeuille ICT-48 : HumanE-AI-Net, TAILOR, AI4ME-DIA, ELISE, VISION.

¹⁷⁰ Liste complète : <https://www.conorzio-cini.it/index.php/it/labaiis-home/labaiis-organizzazione-e-nodi>.

trois organismes de recherche (Conseil National des Recherches, Institut Italien de Technologies, Fondation Bruno Kessler) pour un total de 905 spécialistes d'IA. Le Lab AIIS a à la fois un rôle de soutien aux institutions, de diffusion scientifique, de connexion avec l'industrie et de promotion des collaborations internationales.

L'écosystème IA italien disposent enfin de capacités de calcul¹⁷¹ qui ont récemment été accrues (supercalculateur Leonardo livré en novembre 2022 par Atos au consortium universitaire Cineca).

Pays-Bas : une gouvernance qui associe étroitement tous les acteurs publics et privés

1. Le plan d'action stratégique de 2019.

Le 8 octobre 2019, le gouvernement néerlandais a présenté son plan¹⁷².

Un principe de gouvernance est présenté dès le départ, pour poser le principe d'une gouvernance inclusive : c'est une « coalition », la « Coalition néerlandaise pour l'IA » - *NL AI Coalitie* (NL AIC), qui sera chargée de la mise en œuvre. Cette « coalition » réunit les entreprises, le gouvernement, les agences, les institutions en charge de la recherche et de l'enseignement. Sur tous les sujets (attirer des talents, accès aux données, acceptation sociale, recherche, transfert de compétence vers le secteur privé, etc.), la « coalition » est l'enceinte de discussion et de mise en œuvre¹⁷³. Ainsi, dès le départ un soin particulier est pris pour présenter l'action des autorités publiques comme s'inscrivant dans l'action de la large communauté de tous les acteurs.

2. Le nouveau contexte politique crée par l'affaire des allocations familiales¹⁷⁴.

Malgré l'identification dès le départ de l'importance des questions éthiques, les Pays-Bas ont connu un cas d'usage qui a mis en lumière concrètement les risques de dérapage et la nécessité d'une plus grande vigilance sur l'usage de l'IA. Les révélations, à partir de 2017, sur ce mauvais cas d'usage avaient commencé avant la publication de la stratégie nationale et celle-ci, déjà, en porte les traces, en insistant sur les questions éthiques ; mais les conséquences finales de ce cas ont eu lieu après. Le gouvernement néerlandais a démissionné en janvier 2021 à cause en particulier de ce scandale. C'est en Europe un cas emblématique.

¹⁷¹ Par exemple, l'infrastructure HPC CINECA-INFN, les infrastructures IIT HPV, le centre de calcul du CNR.

¹⁷² Une stratégie numérique avait précédé en juin 2018.

¹⁷³ Sur le fonctionnement de NL AIC cf. *infra*.

¹⁷⁴ [Scandale des allocations familiales aux Pays-Bas — Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Scandale_des_allocations_familiales_aux_Pays-Bas)

3. Les nouveaux documents de mise à jour sur la question de l'usage.

Postérieurs à ce scandale, plusieurs documents ont été publiés par diverses organisations liées à l'État néerlandais. Tous, d'une façon ou d'une autre, portent la marque du nouveau contexte issu de l'affaire des allocations familiales.

On mentionnera notamment que la Cour des Comptes néerlandaise (*Rekenkamer*) a publié en janvier 2021 une étude sur l'utilisation d'algorithmes au sens large par le gouvernement aux Pays-Bas, ce qui comprend l'intelligence artificielle. Le rapport de 66 pages, nommé *Aandacht voor algoritmes*, évalue l'utilisation d'algorithmes spécifiques au sein de certaines administrations gouvernementales et propose des pistes d'amélioration¹⁷⁵.

4. Les administrations et les enceintes de dialogue chargées du pilotage et du déploiement du plan d'action

En 2011, le gouvernement néerlandais a confié aux acteurs économiques la responsabilité d'identifier les secteurs clés dans lesquels les Pays-Bas ont une position concurrentielle internationale forte.

Cela a donné lieu aux *topsectoren*, instances de dialogue sectorielles entre les représentants de la « triple hélice » formée des entreprises, l'État et le monde de la R&D (à laquelle s'ajoutent, dans

¹⁷⁵ La Cour des comptes des Pays-Bas a élaboré un cadre d'évaluation pour la qualité et l'utilisation responsable des algorithmes au sein de l'administration. Ce cadre a vocation à être utilisé par l'État lorsqu'il met en place de nouveaux algorithmes, pour identifier d'éventuels défauts ou faiblesses dans différents domaines : gouvernance, légitimité, modèle, données, protection de la vie privée, qualité générale du système d'information, éthique. Une première étude sur les algorithmes déjà utilisés par l'État met en évidence, d'une part, que les algorithmes en usage sont transparents (ce ne sont pas des boîtes noires) et, d'autre part, que plusieurs enjeux doivent être pris en compte :

- manque d'attention portée aux questions d'éthique ;
- possibilités de recours à une décision prise *via* un algorithme peu connues ;
- risque de fonctionnement discriminatoire si l'algorithme comporte des préjugés ;
- risque de dépendance de l'État vis-à-vis de sous-traitants extérieurs (propriété intellectuelle, manipulation de données personnelles ;
- nécessité de protéger les données contre le sabotage, l'espionnage et la criminalité ;
- nécessité d'assurer un bon entretien des algorithmes.

Elle fait enfin six recommandations : (i) assurer la cohérence et l'uniformité des principes et critères de qualité concernant les algorithmes ; (ii) utiliser le cadre d'évaluation de la Cour des comptes pour définir des critères de qualité tangible pour les nouveaux algorithmes ; (iii) associer en tant que de besoin les expertises de différentes disciplines pour le développement d'algorithmes ; (iv) garder la maîtrise du fonctionnement des *IT General Controls* ; (v) définir un cadre pour la mise en œuvre d'algorithmes, et s'y tenir ; (vi) offrir de la transparence aux citoyens sur l'utilisation des algorithmes ainsi qu'un point de contact en cas de questions sur les algorithmes. Cet avis intervient alors que la presse révèle une fuite d'informations personnelles par les autorités sanitaires intercommunales (GGD), compétentes dans la lutte contre l'épidémie, et ce, depuis près de 10 mois.

certaines modèles de fonctionnement présenté par les autorités, les citoyens – experts, utilisateurs finals, etc. – pour constituer la « quadruple hélice ». Les *topsectoren* sont notamment chargés d’élaborer le cas échéant les priorités en R&D (*kennisagenda*) sur lesquelles se basent les dispositifs de financement gouvernementaux.

Un de ces *topsectoren* est dédié au secteur numérique : *Dutch Digital Delta*, qui a facilité la création de la *NL AI Coalitie* (NL AIC) avec l’aide d’organisations patronales (VNO-NCW, MKB-Nederland), d’entreprises (Philips, IBM) ainsi que le ministère néerlandais de l’économie et du climat (EZK). NL AIC reprend les compétences du *topsector Dutch Digital Delta* spécifiquement pour l’intelligence artificielle. Cette organisation se présente comme le fédérateur néerlandais dans le domaine de l’intelligence artificielle et a donné naissance au projet AINed (cf. *infra*).

L’IA est considérée comme une « technologie systémique », dont les applications concernent tous les processus de manière transverse. Ainsi, la *NL AI Coalitie* (NL AIC) cible un grand nombre de secteurs : la culture et les médias, la défense, l’énergie et le développement durable, les services financiers, l’environnement bâti, la santé et les soins, les ports et la mer, l’agriculture et l’alimentation, la mobilité/transport et la logistique, l’éducation, les services publics, l’industrie technique, la sécurité, la paix et la justice.

NL AIC est la principale enceinte de dialogue pour les acteurs publics, privés et du monde de la recherche pour coordonner leur action. NL AIC est organisée en groupes de travail thématiques (start-up, R&D, Acceptabilité sociale, etc.) ou consacrés à des domaines d’application, appuyés par une administration¹⁷⁶ composée :

- du bureau central (*Coalition Desk*), chargé du support opérationnel ;
- du bureau des programmes (*Program Team*), chargé de la coordination des groupes de travail ;
- du bureau stratégique, qui représente les composantes de la « quadruple hélice ».

¹⁷⁶https://www.vno-ncw.nl/sites/default/files/actieagenda_nl_ai-coalitie_okt_2019.pdf

5. Les administrations et les enceintes de dialogue chargées du pilotage et du déploiement de l'agenda national de la recherche en IA

Sous la supervision du Prof. M. Inald Lagendijk¹⁷⁷, (*TU Delft*), l'agenda national de la recherche sur l'IA (AIREA-NL¹⁷⁸) a été rédigé par la NWO (le Conseil national de la recherche des Pays Bas) en novembre 2019. Il se présente sous la forme d'un rapport qui après un rappel du contexte, fait la liste des différentes directions de recherche qui doivent être couvertes¹⁷⁹. Mais il ne contient pas de chiffrage. Aujourd'hui, le suivi de l'agenda est assuré par la NL AIC.

6. Les centres de recherche publics.

En ce qui concerne le fédérateur NL AIC, la plupart des universités néerlandaises sont membres du réseau, y compris l'université technologique de Delft (*TU Delft*) – l'un des établissements clés en la matière ainsi qu'en attestent les résultats de la 2^e vague de l'appel à projets du FNC (résultats communiqués en avril 2022)¹⁸⁰. Au sein de NL AIC, un groupe de travail « Recherche et Innovation » a été constitué. Ce dernier coopère avec une multiplicité d'acteurs dans le domaine de la recherche sur l'IA. Ils le font en assurant une veille dans ce domaine pour identifier les tendances émergentes et repérer les possibles failles dans la stratégie néerlandaise. Le groupe de travail joue aussi un rôle d'entremise en matière de partenariats sur des sujets spécifiques.

Les universités, en tant que composantes de la « quadruple hélice », jouent un rôle prépondérant dans la gouvernance du plan d'action stratégique en matière d'IA et de l'agenda de recherche correspondant. Siègent au sein de la NL AIC les universités d'Amsterdam (UvA et VU), Breda, Eindhoven, Enschede (Twente), Leyde, Maastricht, Nimègue (Radboud) et Utrecht, ainsi que les instituts technologiques HAN

¹⁷⁷ Rédacteurs : Antal van den Bosch (KNAW Meertens), José van Dijck (*Utrecht University*), Natali Helberger (*University of Amsterdam*), Dirk Heylen (*University of Twente*), Koen Hindriks (VU Amsterdam), Holger Hoos (*Leiden University*), Inald Lagendijk (*Delft University of Technology*), Wiro Niessen (Erasmus MC/*Delft University of Technology*), Maarten de Rijke (*University of Amsterdam*), Bart Verheij (*University of Groningen*), Piek Vossen (VU Amsterdam), Aimee van Wynsberghe (*Delft University of Technology*).

¹⁷⁸ <https://www.nwo.nl/en/news/first-national-research-agenda-artificial-intelligence>

¹⁷⁹ *Machine learning, knowledge representation and reasoning, planning and search, computer vision, natural language processing, information retrieval, autonomous agent systems, ai systems attuned to and inspired by human cognition, data dependencies, quality and enrichment, ai-dedicated hardware, ethical dimensions of ai, legal requirements for ai, societal context of ai.*

¹⁸⁰ Huit projets proposés par la *TU Delft* ont été en effet retenus.

(Nimègues, Arnhem) et Saxion (Enschede). Amsterdam se targuent d'être en pointe (« *as one of the world's most AI-ready cities* »).

7. Les capacités de calcul

Le supercalculateur Snellius porté par SURF¹⁸¹ remplacera Cartesius. Lancé en 2013, ce dernier était devenu obsolète (vitesse de 1,8 petaflops).

Le coût du remplacement s'élèvera à 20 M€ : 18 M€ seront portés par le gouvernement et 2 M€ par SURF. Le nouveau supercalculateur atteindra une vitesse évaluée au plus bas à 13,6 ; au plus haut à 21,5 petaflops. Il sera installé à Amsterdam, sur le site du Parc des Sciences, dans la tour dite *Data Tower*, et sera accessible à tous les chercheurs néerlandais. La construction durera cinq ans. Il est par ailleurs prévu de l'actualiser deux fois au cours des prochaines années.

Le nouveau supercalculateur sera doté de processeurs AMD EPYC de dernière génération (7H12) et de la dernière génération de processeurs de Nvidia GPU (A100).

8. Les indicateurs globaux et les financements

8.1. Il ne semble pas y avoir d'indicateurs quantitatifs pour le plan d'action stratégique national pour l'IA aux Pays-Bas dans les sources ouvertes (nombre de start-up cibles, de brevets, développement de la formation, etc.).

8.2. S'agissant des financements, en l'état, il est difficile aussi d'accéder à des informations globales.

On retiendra toutefois deux points :

8.2.1. Au moins 2,1 Md€ pour des dépenses d'investissement pour NL AIC pour la période 2021 – 2027, dont 1,05 Md€ du Fonds national de croissance (fonds publics).

Le Fonds national de croissance est un programme d'investissement du gouvernement doté d'une enveloppe de 20 Md€ jusqu'en 2025. Dans le cadre de l'appel à projets de 2021 du Fonds national de croissance néerlandais (FNC), le consortium AINed¹⁸² a obtenu un financement à hauteur de 276 M€ pour réaliser des projets d'intelligence artificielle.

¹⁸¹ SURF est l'association qui regroupe les universités, et les autres e d'enseignement de haut niveau néerlandais dans le domaine de la recherche IT (plus de 100 entités sont membres).

¹⁸² AINed est la fondation qui agit pour la coalition AI NLC.

D'après la commission de sélection des projets du FNC, le programme d'investissement AiNed apporte une contribution significative à la compétitivité internationale du pays en ce qui concerne le développement et l'application de l'IA dans les domaines suivants : IA embarquée ; les systèmes d'IA hybrides ; infrastructures contrôlées par l'IA ; IA pour la langue néerlandaise ; la personnalisation et la protection de la vie privée ; le partage des données.

La logique inhérente du FNC est que le FNC subventionne 50 % des dépenses induites par les projets, le reste devant émaner d'autres fonds, publics ou privés. Ce point est essentiel. L'effet de levier recherché est le doublement de l'enveloppe.

8.2.2 A cette annonce au titre du FNC, il faut ajouter d'autres annonces qui figurent déjà dans la stratégie de 2019, de l'ordre de 45 M € par an (différents programmes sectoriels, portés par différents ministères), ainsi que les 18 M € pour les capacités de calcul (cf. *supra*) et le financement de l'autorité de protection des données personnelles¹⁸³.

Ainsi, ce premier financement pour NL AIC de 276 M € est un premier jalon, distribué dans le cadre d'une première allocation de l'enveloppe du FNC, FNC au total de 20 Md€, cette première allocation du FNC étant de 4,12 Md€.

Le financement total du programme AiNed est de 2,1 Md€ : un investissement public de 1,05 Md€ est attendu du Fonds national de croissance pour la période 2021-2027, tandis que le même montant sera financé par des investisseurs privés.

Il y a donc une visibilité sur la cible de l'enveloppe, mais de nombreux jalons sont prévus pour le déblocage des fonds, et une condition générale d'effet de levier avec le secteur privé ; en contrepartie, le secteur privé est bien associé à la gouvernance de la stratégie.

Autres pays européens

Royaume-Uni : l'ouverture de l'écosystème et l'excellence d'une recherche universitaire concentrée

1. Organisation générale de la sphère publique dans le domaine de la politique de la recherche en IA

¹⁸³ À partir de 2023 des fonds seront débloqués pour cette autorité : 1 M€ en 2023, 2 M€ en 2024, 3 M€ en 2025 et 3,6 M€ à partir de 2026 sur une base structurelle.

De manière générale, la recherche publique britannique respecte une séparation claire entre les pouvoirs publics, qui fixent les grandes priorités et en contrôlent l'application, les *Research Councils*, qui financent la recherche sur appels à projets et les universités qui exécutent les travaux de recherche. Suivant cette répartition, les principales institutions publiques dans le domaine de la recherche et de l'innovation en IA sont les suivantes.

Les ministères et agences gouvernementales (*Office for IA*, *Center for Data Ethics and Innovation*, etc.) se consacrent au suivi de l'application de la stratégie IA.

La stratégie en IA est mise en place par l'*Office for Artificial Intelligence*, secrétariat sous la tutelle de deux ministères, le *Department for Business Energy and Industrial Strategy* (BEIS) et le *Department for Digital, Culture, Media and Sport* (DCMS). Parallèlement, le *Center for Data Ethics and Innovation*, sous la tutelle exclusive du DCMS, est en charge de superviser l'utilisation responsable des données et de l'IA.

Les commissions parlementaires : *House of Lords AI Committee* et *House of Commons Science & Tech committee*.

Les actions et projets sont financés par le *UK Research and Innovation* (UKRI), sous la tutelle du BEIS. Chaque nation est libre de décliner la stratégie nationale via ses acteurs locaux, cependant la recherche n'est pas dévolue et suit donc les recommandations de Londres. L'*Engineering and Physical Sciences Research Council* (EPSRC), un des sept *Research Councils*, est le principal financeur public.

L'*Alan Turing Institute*, l'institut national britannique en science des données et en IA joue un rôle clé dans les travaux de recherche. Fondé en 2015 à l'initiative des universités de Cambridge, d'Oxford, d'Edimbourg, de Warwick et UCL (*University college of London*), il est le principal centre d'excellence de la recherche dans ce domaine.

Le *Digital Catapult*, centre rattaché à *Innovate UK* (l'agence publique de financement de l'innovation) a la mission d'accélérer le développement des jeunes entreprises du numérique.

À l'interface entre le secteur public et le secteur privé, l'*AI Council* est un comité d'experts qui représente les entreprises du secteur. Il offre un espace de dialogue et conseille le *Government Office for AI*.

Enfin, les *Charities* (fondations privées) jouent aussi un rôle important : l'*Open Data Institute*, fondation créée par Tim Berners-Lee (inventeur du *worldwide web*) qui œuvre pour l'accès à la donnée ouverte,

ou *NESTA*, la principale fondation dédiée au financement de l'innovation technologique au Royaume-Uni.

2. Les autorités britanniques ont commencé à publier des documents de stratégie dès 2017 et la dernière stratégie nationale IA a été publiée en 2021, avec une vision à 10 ans. Elles s'entourent de nombreux avis qui sont publics.

Dès 2017, un rapport préliminaire rédigé à la demande du *Business and Culture Secretary* a posé les bases du diagnostic et des propositions¹⁸⁴ et, en avril 2018, une première stratégie nationale en matière d'IA, *AI Sector Deal*, a été publiée. Elle a été mise à jour en mai 2019. Le nouveau document publié en 2021 propose une vision à 10 ans. Inscrit dans la stratégie globale de l'industrie (*Industrial strategy*), ce document définit une approche autonome.

Le secteur public a un premier ensemble d'interlocuteurs privilégiés formé par les instituts académiques soutenus par le gouvernement mais ayant un statut légal philanthropique ou de structure indépendante : le *Alan Turing Institute*, le *Leverhulme Centre for the future of intelligence*. Il faut ajouter le *AI Council* qui est un groupe indépendant d'experts qui conseille le gouvernement et les *think tanks* comme le *Ada Lovelace Institute*. Enfin, existe le *Big Innovation Centre*, un *hub* créé en 2011 par le monde académique et soutenu par un réseau d'entreprises.

Innovation Eye Limited est une société créée en mars 2019 par *Big Innovation Centre Limited Deep Knowledge Analytics Ltd*. C'est un consortium d'entreprises privées et d'organisations non commerciales. Elle fournit des analyses publiques aussi bien pour les groupes interparlementaires et les comités parlementaires que pour les entreprises. Ses rapports sont très détaillés¹⁸⁵. En 2021, elle a publié son second rapport sur le paysage de l'IA au Royaume-Uni¹⁸⁶. Les données fournies ci-après sont issues de cette source publique, sauf lorsqu'une autre source est citée.

¹⁸⁴ *Growing the artificial intelligence industry in the UK*, Wendy Hall (professeur en science de l'informatique à l'université de Southampton) et Jérôme Pesenti (actuellement VP AI chez Meta).

¹⁸⁵ Source : <https://www.innovationeye.com>

¹⁸⁶ Source : <https://analytics.dkv.global/AI-in-UK-2021/Report.pdf>

3. Résumé des initiatives gouvernementales de 2019 à 2021

Les initiatives publiques ont porté sur cinq domaines : le capital humain, le développement du laboratoire au marché, l'attraction des talents et le renforcement des collaborations, la réglementation, les infrastructures.

Le capital humain : 16 nouveau centre doctoraux (jusqu'à 100 M£), formation des enseignants (42 M£), financement par l'industrie de nouveaux masters en IA, bourses *Turing*, renforcement des compétences dans le domaine des sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (406 M£), inclusion de l'IA dans les programmes de réadaptation au marché du travail.

Accélération de la recherche et développement : financement de la recherche en sciences de la donnée et IA (300 M£), programme IA en ingénierie, planification urbaine, et santé (79 M£), 179 bourses de recherche (157 M£), lancement du centre pour l'industrialisation numérique, la robotique et l'automatisation (50 M£), financement du *Alan Turing Institute* (42 M£), lancement de centres d'imagerie médicale utilisant l'IA et développement de l'IA en santé (*NHS AI Lab*), financement de la recherche en robotique et IA en environnement extrême (93 M£) et enfin création d'un fonds d'investissement pour soutenir les entreprises innovantes (2,5 Md£).

Attractivité et mise en réseau : accroissement des visas talents exceptionnels (jusqu'à 2 000 par an), création de grands centres de données, par exemple le centre Bayes à Édimbourg (30 M £), simplification des règles d'immigration pour les scientifiques et chercheurs, création du *AI Council* pour faciliter le dialogue entre académiques, industrie, et autorités publiques.

Infrastructures : création de la Commission géo-spatiale, financement de l'*Open Data Institute* et du *Open Data Research Forum*, création d'un fonds pour l'amélioration des connexions de transport (1,7 Md£), diffusion de la 5 G (176 M£) et les réseaux fibres (200 M£).

Règles éthiques : création du *Centre for data Ethics and Innovation* (CDEI), renforcement du *Data Protection Act*.

Toujours selon ce dernier rapport de 2021 d'*Innovation Eye*, depuis 2014 le gouvernement britannique a investi plus de 2,3 Md£ sur l'Intelligence artificielle toutes actions confondues (formations, centres de recherche, soutiens aux infrastructures technologiques, soutien aux start-up, soutien aux projets d'innovation spécifiques comme la mobilité, la santé).

4. Les centres de recherche publics en pointe et les domaines d'excellence de ces centres en matière d'IA¹⁸⁷.

Le *Alan Turing Institute* a été fondé en 2015 à l'initiative du gouvernement britannique par l'intermédiaire de l'*EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council)*. Soutenu par cinq universités à sa fondation, il en réunit désormais 13. Il est installé à Londres au sein de la *British Library*. Il rassemble des informaticiens, ingénieurs, statisticiens, éthiciens et chercheurs en sciences sociales sur des problèmes communs et fonctionne comme un *hub* entre centres de recherche d'excellence au Royaume-Uni. Son activité touche à l'ensemble de l'IA. Il est régulièrement sollicité par le gouvernement sur des questions d'éthique et de gouvernance.

En dehors du *Alan Turing Institute*, la recherche se fait essentiellement au sein des universités, parfois dans le cadre de partenariats de financement avec des entreprises privées. On peut citer quelques centres d'excellence :

- le Center for Artificial Intelligence à l'University College London (UCL). UCL a des partenariats avec Google DeepMind depuis 2017 et Facebook AI Research (FAIR) depuis 2021 et héberge également le UKRI Centre for Doctoral Training in Foundational Artificial Intelligence qui finance des thèses.
- l'*Imperial College*, qui est l'université qui produit le plus de publication dans le domaine de l'IA au Royaume-Uni. Son *AI Network* est un programme transfaculté qui réunit plus de 200 chercheurs dans les domaines du *machine learning*, du *big data* et de l'interaction Homme-IA.
- l'Université d'Oxford : on peut mentionner notamment le prestigieux *Oxford Machine Learning Research Group*, rattaché au département des statistiques. Il collabore également avec *Google DeepMind*.
- l'Université de Cambridge : le *Computer Laboratory* réunit des chercheurs avec diverses spécialisations. Il a lancé en 2019 avec le soutien du gouvernement un vaste partenariat dans le domaine du *machine learning*, qui a conduit à l'implantation du *Microsoft Research Lab*.
- l'Université de Manchester fait partie du *European Laboratory and Intelligent Systems (ELLIS)*, spécialisé dans le *machine learning* et

¹⁸⁷ Source : ambassade de France au Royaume-Uni.

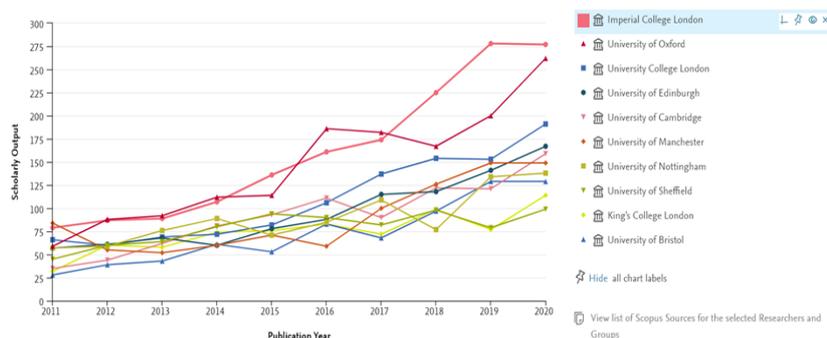
rassemblant 14 universités européennes et d'importants financements de *charities*.

- l'Université de *Surrey* coordonne un *hub* de recherche sur l'IA et la robotique adaptée à l'exploration spatiale (*Future AI and Robotics for Space – FAIR*). Elle a aussi lancé en 2022 le *Surrey for People-Centered AI*.

Cette liste est loin d'être exhaustive et la quasi-totalité des universités possèdent désormais des formations et des programmes de recherche en IA dans leurs départements d'ingénierie, d'informatique ou de mathématiques.

Au niveau des institutions, les cinq universités ayant eu la production académique la plus importante en IA en 2020 sont *Imperial College* (277 publications), *Oxford* (262), *UCL* (191), *Edimbourg* (167) et *Cambridge* (159)¹⁸⁸. Quatre de ces cinq universités sont des membres fondateurs du *Alan Turing Institute*.

Graphique n° 27 : nombre de publications des universités britanniques



Source : *Innovation Eye limited*

5. Les structures et instruments pour favoriser le transfert de technologie vers les domaines d'application¹⁸⁹

Plusieurs outils sont disponibles pour favoriser l'innovation.

¹⁸⁸ Source : base de données *Scopus*.

¹⁸⁹ Source : ambassade de France au Royaume-Uni.

Le *Knowledge Transfer Network (KTN)* est un département de *UKRI*. Il met à disposition un panel d'experts en charge d'identifier où le transfert de technologie est possible. Les chercheurs peuvent solliciter le panel pour avis. Les activités du *KTN* ne sont pas limitées au secteur public et sont mises aussi à disposition des entreprises.

L'autre grand outil est plus local, c'est-à-dire propre aux universités : ce sont les bureaux de transfert de technologie. C'est un véritable accompagnement de proximité pour les chercheurs, mais seules les universités très bien développées peuvent se permettre de mettre en place ce type de structure interne, les autres auront recours au *KTN*. On peut citer : *Oxentia/Oxford University Innovation* pour l'université d'Oxford, *Imperial Enterprise* pour *l'Imperial College London*, *Cambridge Enterprise Lab* pour Cambridge. Certaines structures comme *Oxentia* aident les universités les plus modestes qui ne possèdent pas de bureau de transfert. Certaines universités mettent en place des incubateurs, comme c'est le cas pour *l'Imperial College London*.

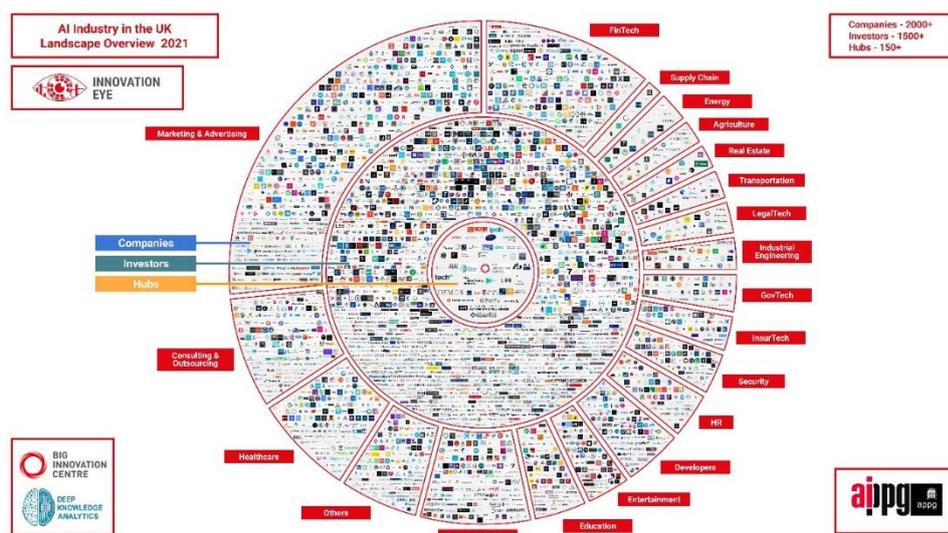
En ce qui concerne le soutien financier des chercheurs, il y a pléthore d'outils mis en place par le gouvernement. Ils sont gérés par *InnovateUK*, les fondations (*Charities*) ou par *NESTA*. À la marge, il y a aussi des crédits d'impôts utilisables pour les entreprises.

6. Les acteurs privés.

Comme on peut le voir sur le diagramme ci-dessous, la structure des forces industrielles est très polarisée : les secteurs marketing et publicité (23 %), Fintech (26 %) et santé dominant (13 %). Les territoires sont aussi polarisés. Londres représente 80 % des entreprises en IA dans le top 50 et 65 % des start-up. Cambridge, Edimbourg, Manchester et Oxford sont les autres villes qui comptent le plus d'entreprises utilisant l'IA.

Depuis 2010, et au début de 2022, sept licornes (start-up valorisées à plus d'1 Md\$) ont été créées dans le secteur de l'IA en tant qu'activité principale. Cependant, l'émergence de ces entreprises a vraiment débuté en 2016-2017. Il est possible d'anticiper environ 20 nouvelles licornes en devenir.

Schéma n° 5 : écosystème industriel au Royaume-Uni



Source : Innovation Eye limited

Le total des financements drainé depuis le début par les entreprises utilisant l'IA (investissements, dons, subventions) est estimé à 13,8 Md£, dont 9 Md£ au cours des trois dernières années. Le nombre total d'investisseurs est de 1 500 avec une augmentation de 900 entre 2019 et 2021. L'investissement dans l'industrie IA vient essentiellement des *Venture Capital*. Les trois premiers sont *AI Seed*, *Albion VC* et *Amadeus Capital Partners*.

7. Le cadre général pour le développement de l'IA et son usage

Le gouvernement affiche clairement, notamment dans la stratégie IA de 2021, une ambition de créer un environnement « pro-innovation » afin de faire du Royaume-Uni une destination attractive pour développer des technologies d'IA. L'objectif est de maintenir une réglementation au minimum. Il valorise le contraste avec l'approche européenne (cf. la proposition de la Commission d'un règlement sur l'IA). Pour illustrer cette divergence, le projet de réforme du cadre réglementaire applicable aux données propose la suppression de l'obligation de supervision humaine sur les décisions automatisées produites par des outils d'IA, actuellement imposée par le RGPD (art. 22). Un *White Paper* est attendu au début 2022.

Plusieurs *think tanks*, fondations et centres de recherches privés contribuent au débat. Le *Alan Turing Institute* pilote le *Data Ethics group* dans l'amélioration du cadre réglementaire conciliant innovation et

protection des données. Dans le débat interviennent aussi l'*Institute for Ethical AI and machine learning* (think tank bénévole), l'*Oxford Internet Institute*, le *Ada Lovelace Institute* (créé en 2018 et financé par la *Nuffield Foundation* qui analyse les questions sociétales), le *Leverhulme Centre for the future of intelligence* (au sein de l'université de Cambridge). *Google DeepMind* a lancé en 2017 un groupe de recherche *Ethics and Society* pour associer la recherche en éthique au développement de ses algorithmes.

Il est intéressant de noter que l'Écosse tend à se distinguer, comme l'a montré l'annonce d'une stratégie IA en mars 2021 « *trustworthy, ethical and Inclusive* ».

8. La coopération franco-britannique

En 2018, un *memorandum of understanding* a été signé entre DataIA¹⁹⁰ et le *Alan Turing Institute*. Depuis décembre 2019, une représentation d'Inria au sein de l'*University College London*, dans le cadre du *INRIA London Programme*, a pour but de renforcer les collaborations scientifiques entre Inria et UCL.

Pour développer la collaboration scientifique plusieurs approches peuvent être envisagées.

9. Conclusion

Les points forts de l'écosystème de l'IA au Royaume-Uni sont une grande disponibilité de capital et une grande disponibilité de liquidité, un écosystème dense avec une grande proximité des centres de recherche, des entreprises, des bureaux de transfert de technologie, des agences de financement, des *venture capital*/fonds d'investissement, mais aussi une grande réactivité avec accompagnement. L'attractivité des campus universitaires est primordiale dans la réussite des initiatives menées.

Les points faibles qu'on peut relever sont la difficulté de *scale-up* des *start-up*, même si le gouvernement et l'écosystème dans son ensemble essayent d'y remédier. Il est en effet difficile de trouver des financements arrivés à un certain niveau de développement, ce qui a pour conséquence le départ des *start-up* vers les États-Unis, notamment.

¹⁹⁰ Désigné comme Institut Convergence dans le cadre du PIA 3, l'Institut DATAIA rassemble sur le plateau de Saclay des compétences de recherche interdisciplinaires en sciences des données, intelligence artificielle et société. Il associe de nombreux partenaires (Centrale Supélec, CEA, Inria, Université Paris-Saclay, Agro Paris Tech, Université d'Évry, Université de Paris-Saclay, Institut Mines-Telecom, l'Inrae, l'IFP, l'ENS Paris-Saclay. Il développe de nombreux partenariats industriels.

Suisse : une attractivité naturelle mais aussi entretenue

1. La stratégie et son financement

En 2018, le Conseil Fédéral a fait de l'IA une thématique centrale de sa stratégie « Suisse numérique » 2021 – 2024. Un groupe de travail interministériel a été constitué et placé sous la direction du SEFRI. Dans son rapport publié en décembre 2019, ce groupe de travail est parvenu à la conclusion que la Suisse était dans l'ensemble bien positionnée pour répondre aux défis de l'IA. Ce rapport a également proposé en 2020 des lignes directrices sur l'utilisation de l'IA au sein de l'administration fédérale. La lecture de ce document montre l'importance que l'approche helvétique accorde à l'acceptabilité sociale de l'IA.

Compte tenu de l'approche ascendante de la Suisse pour encourager l'innovation, il est difficile d'identifier les chiffres exacts du financement public. Toutefois, le soutien des pouvoirs publics dans le domaine de l'IA s'inscrit principalement dans le cadre des soutiens à l'innovation par le financement de projets proposés par des acteurs privés ou publics à travers deux organismes :

Le FNS (Fonds nationale suisse)¹⁹¹

Le FNS peut financer directement des projets de recherche dans l'IA mais aussi financer des recherches à travers les Programmes Nationaux de Recherche (PNR), à l'instar du PNR 75 sur les *big data* d'un montant de 25 MCHF (2015 - 2020) ou le PNR 77¹⁹² sur la transformation numérique d'un montant de 30 MCHF (2018 - 2024)¹⁹³.

Par le passé, le FNS a également lancé le PNR 23 « Intelligence artificielle et robotique » (terminé en 1995 avec un budget de 12 MCHF), le programme « IM2 - Gestion interactive et multimodale de systèmes d'informations » (2001-2013) et le programme « Robotique » (2010-2017).

InnoSuisse (agence Suisse pour le financement de l'innovation)

InnoSuisse est l'agence de la Confédération chargée de soutenir l'innovation dans la recherche appliquée et développement, la promotion

¹⁹¹ Le FNS est financé par des contributions de la Confédération (de l'ordre de 800 MCHF en 2021), ainsi que par des subventions des tiers et des revenus de placement.

¹⁹² Président du comité de direction : Prof. Dr. Abraham Bernstein (professeur à l'université de Zurich, PHD au MIT (*sloan school of management*)).

¹⁹³ Au 12 avril 2022, 1 CHF = 0,99 €.

de l'entrepreneuriat et le développement de jeunes entreprises¹⁹⁴. Elle contribue à l'optimisation du transfert de savoir et de technologie par le biais de réseaux thématiques nationaux. Elle s'appuie sur des projets conjoints entre hautes écoles et entreprises, le partenaire privé devant, en principe (sauf circonstances économiques particulières) financer un minimum de 50 % du projet.

Les cantons et les régions suisses sont également actifs pour soutenir l'innovation dans le cadre de leur promotion économique. La plupart des cantons disposent d'une loi sur la promotion de l'innovation comprenant le soutien à l'innovation. Les cantons peuvent participer au financement d'entreprises innovantes, notamment à travers les banques cantonales. Par ailleurs, les décisions relatives à l'implantation d'entreprises tournées vers l'innovation ou l'établissement de parcs technologiques relèvent souvent des communes.

En d'autres termes, il n'y a pas, en Suisse, de stratégie formalisée chiffrée sur l'IA en tant que telle (c'est-à-dire un document programmatique, avec des tableaux, des chiffres, des actions visées, et cela même s'il y a bien des chiffres globaux pour les programmes du PNR). Aucune information précise n'a été trouvée sur les montants des financements de la stratégie numérique Suisse, à l'exception d'un budget d'environ 15 MCHF pour la numérisation de l'État fédéral. Une extrapolation possible, à prendre avec beaucoup de précautions, serait donc un budget de plusieurs dizaines de millions de CHF pour cette stratégie numérique, sur la période 2021 - 2024. D'après les documents disponibles et consultés sur la stratégie "suisse numérique", mise à jour pour la période 2021 - 2024, aucun indicateur n'a semble-t-il été déterminé.

En revanche, l'IA est bien une thématique centrale de la stratégie « Suisse numérique » 2021-2024. Et il existe un groupe de travail interministériel sur l'IA sous la direction du Secrétariat d'État à la formation, la recherche et l'innovation.

La Suisse a historiquement une place très importante dans la recherche européenne. À ce titre, la Suisse a une volonté très forte de

¹⁹⁴ InnoSuisse est un établissement de droit public doté de sa propre personnalité juridique. Son organisation résulte de la loi fédérale sur l'Agence suisse pour l'encouragement de l'innovation (LASEI). Son Conseil d'administration et son président sont nommés par le Conseil fédéral. Ses membres proviennent du secteur public, dont académique, et du monde des entreprises et du conseil. Un conseil de l'innovation décide des demandes d'encouragement et rend compte au Conseil d'administration. Il a recours à un *pool* d'experts. La direction comprend cinq membres avec à sa tête une directrice.

réintégrer le Programme Cadre de Recherche et Développement (PCRD) de l'UE, dont elle est exclue pour l'instant suite à la rupture des négociations avec l'UE à l'été 2021. C'est aujourd'hui le premier problème de la recherche suisse. Les chercheurs suisses pointent clairement une menace directe de perte de compétitivité à travers leur non-participation à Horizon Europe. Or, la compétitivité de la recherche suisse et sa capacité à innover est une des sources de financement importante de la recherche.

2. Les centres de recherche

Les quatre principaux centres de recherche en Suisse d'origine publics sont l'*ETHZ AI Center* à Zurich, le *Swiss Data Science Center* à Lausanne, le *Center for Artificial Intelligence in Medicine* à Berne et l'Institut d'Intelligence artificielle perceptive dans le Valais.

- *ETHZ AI Center* est le pôle central de l'ETHZ pour l'IA : il rassemble les recherches fondamentales, les applications de l'IA dans tous les départements. L'excellence de la recherche, l'innovation industrielle et l'entrepreneuriat en matière d'IA sont encouragés afin de promouvoir des systèmes d'IA fiables, accessibles et inclusifs.
- *Swiss Data Science Center* est le résultat d'une initiative nationale en data science du Conseil des EPF (écoles polytechniques fédérales) de 2017, qui ont créé une coentreprise entre l'EPFL et l'ETH Zurich. La mission du centre est d'accélérer l'utilisation de la science des données et des techniques d'apprentissage automatique au sein des disciplines académiques du domaine des EPF (deux écoles et quatre laboratoires), de la communauté académique suisse dans son ensemble et du secteur industriel. Une équipe pluridisciplinaire de data scientists seniors et d'experts dans des domaines tels que la santé et la médecine personnalisées, la terre, l'eau, l'énergie, les transports, les sciences de la terre et de l'environnement, les sciences sociales et les humanités numériques, ainsi que l'économie, permet de collaborer à des projets universitaires et industriels.
- le *Center for Artificial Intelligence in Medicine (CAIM)* a été créé en janvier 2021 à Berne. Le centre, fondé par l'Université de Berne et l'Inselspital, Hôpital universitaire de Berne, est une plateforme de recherche, d'enseignement et de transfert de technologies médicales utilisant l'IA, visant à améliorer la fourniture de soins aux patients et à faciliter le travail des médecins et des soignants.
- l'institut de recherche IDIAP (anciennement Institut d'intelligence artificielle perceptive), situé à Martigny dans le canton du Valais, est

une fondation à but non lucratif¹⁹⁵ spécialisée dans la recherche et le développement dans le domaine de la gestion de l'information multimédia. Il est reconnu internationalement pour ses travaux en reconnaissance de la parole, apprentissage artificiel, vision par ordinateur et interface homme-machine.

On peut ajouter :

- IDSIA – Institut Dalle Molle de recherche en intelligence artificielle »¹⁹⁶, à Lugano, spécialisé dans l'apprentissage automatique, l'exploration de données et la robotique.
- *Artificial Intelligence Lab* ¹⁹⁷ de l'Université de Bâle (Uni Basel), sur la planification automatique.

Au titre des centres de recherche portés au départ par le monde de l'entreprise, le IBM Research Center en IA et le centre Google à Zurich sont des centres de recherche de pointe.

3. Les capacités de calcul

Le Centre suisse de calcul scientifique (CSCS) à Lugano accueille depuis mai 2021 l'ordinateur Alps¹⁹⁸, le plus puissant supercalculateur dédié à l'intelligence artificielle (la phase finale devrait se conclure début avril 2023).

Le super calculateur de Lugano, nommé Alps, devrait être sept fois plus puissant que le supercalculateur le plus puissant actuel, nommé Selene et basé également à Lugano, qui a une puissance de 63 460 petaflops (ou 2,8 AI-exaflops). Il semble difficile d'estimer la puissance réelle de ce super calculateur avant sa mise en service (d'autant que le logiciel de fonctionnement n'est pas encore achevé).

Le conseil des EPF (qui rassemble l'EPFL et l'ETHZ et quatre centres de recherche : EMPA, PSI, EaWAG, WSL) finance le développement et l'installation de cet ordinateur. Les coûts d'exploitation sont couverts par les contributions de l'ETH Zurich (le Centre Suisse de Calcul Scientifique (CSCS) est une unité de l'ETHZ). Le CSCS a un budget de 20 MCHF annuel pour le fonctionnement et de 20 MCHF annuel pour les investissements. Le *business model* du data center est de proposer de

¹⁹⁵ Cet institut a notamment été créé par la ville de Martigny, le canton du Valais, Swisscom, l'EPFL et l'université de Genève.

¹⁹⁶ http://www.idsia.ch/idsia_en.html

¹⁹⁷ <http://ai.cs.unibas.ch/people/helmert/index.html>

¹⁹⁸ <https://www.letemps.ch/sciences/suisse-hebergera-plus-puissant-supercalculateur-dedie-lintelligence-artificielle>

louer la puissance de calcul plutôt que l'usage des infrastructures aux scientifiques. Alps a vocation à être un super ordinateur à usage général, qui permettra aux chercheurs suisses et internationaux de réaliser des simulations informatiques ultra-rapides dans les domaines de l'astrophysique, des sciences de la vie, du climat et de la météo (utilisation par MétéoSuisse des infrastructures qui existaient auparavant et des nouvelles infrastructures à venir), des sciences des matériaux, de la dynamique moléculaire et de la chimie quantique.

Le nouveau *Central Processing Unit* (CPU), nommé Grace de l'entreprise Nvidia, qui équipe le superordinateur Alps à Lugano, permet de faire converger les technologies d'IA et les superordinateurs classiques pour résoudre certains des problèmes les plus difficiles de la science informatique. À noter que le CSCS est membre du consortium LUMI, qui fait partie de l'initiative Pre-Exascale. L'acronyme signifie *Large Unified Modern Infrastructure*. Il s'agit d'un nouveau superordinateur pré-exascale qui sera situé en Finlande. Le consortium LUMI compte 10 États membres, dont les pays scandinaves, où les conditions de production d'électricité bon marché et sans CO₂ et de refroidissement des ordinateurs sont optimales¹⁹⁹.

4. La formation

Les principaux établissements d'enseignement supérieur proposant des formations en IA ou dans des domaines connexes sont les deux écoles polytechniques (EPFL et ETHZ), l'université de Genève, l'université de Neuchâtel, les Hautes Écoles Spécialisées (HES) dans les domaines des sciences exactes (à l'instar de la HES de Lucerne).

Les formations en IA sont principalement de niveau Master. Le nombre d'étudiants exact en IA est difficile à obtenir mais on peut estimer que l'ordre de grandeur est d'une centaine. À ce chiffre, il faut ajouter les autres formations en physique, sciences de l'ingénieur, informatique, mathématique, etc. qui peuvent également délivrer des cours en IA, sans que cela soit l'objet premier de la formation.

Les EPF et HES en général entretiennent des liens très étroits avec les entreprises et proposent des formations correspondant aux besoins des entreprises. Des entreprises sont fréquemment associées à des projets universitaires liés à l'IA.

¹⁹⁹ Source : <https://www.scienc.ch/fr/research/we-dont-just-procure-a-new-computer.html>

Les HES, qui ont des exigences en termes d'expérience professionnelle²⁰⁰ pour le recrutement de leurs étudiants, proposent des formations particulièrement adaptées aux besoins des entreprises : en 2017, 96 % des titulaires d'un bachelor des HES avaient intégré le marché du travail un an après leur diplôme. Les laboratoires de recherche encouragent également leurs étudiants à constituer des start-up, notamment pour développer des projets initiés lors de leur formation. Malgré la qualité de ces formations, la Suisse connaît d'importants besoins de main d'œuvre dans le domaine *Information Technology* (IT).

5. L'innovation

En Suisse, il y a une très forte imbrication de la recherche et de l'industrie, avec des financements conséquents du Conseil fédéral à travers l'agence de financement de la recherche InnoSuisse, par exemple, qui permet de passer du projet de recherche au prototype industriel puis à un produit commercialisable. InnoSuisse permet donc aux industriels de se lancer aux côtés de la recherche en diminuant le risque financier jusqu'à le rendre acceptable. Les innovations sont systématiquement valorisées, par la création de start-up ou d'entreprises.

L'innovation est à l'initiative des entreprises ou des établissements d'enseignement supérieur, notamment les Écoles polytechniques fédérales (deux EPF, de Lausanne et Zurich) et les Hautes écoles spécialisées (neuf HES)²⁰¹.

Le financement de projets liés à l'innovation peut aussi être réalisé directement par les deux écoles polytechniques (à Lausanne et Zurich). Elles ont, par exemple, financé à hauteur de 30 MCHF le projet *SwissData Center* de la Confédération assurant la promotion de l'innovation dans la

²⁰⁰ Elles exigent une maturité professionnelle ou une maturité gymnasiale assortie d'une expérience professionnelle d'un an.

²⁰¹ Les hautes écoles spécialisées (HES) offrent des formations de niveau haute école axées sur la pratique. Elles préparent à des activités professionnelles spécifiques qui requièrent l'application de connaissances et de méthodes scientifiques. L'enseignement combine aspects théoriques et pratiques. Les HES couvrent différents domaines d'études. La plupart des programmes diplômants concernent les domaines de la santé, des arts, des sciences sociales, de la technique et de l'économie: les HES couvrent différents domaines d'études. Le bachelor est professionnalisant et constitue le diplôme standard des hautes écoles spécialisées. L'admission à une filière HES est généralement possible sans compléments de formation pour les personnes titulaires d'une maturité professionnelle. La plupart des filières demandent une expérience professionnelle dans un domaine apparenté et certaines soumettent les étudiants et étudiantes potentiels à une procédure d'admission particulière. Au total on compte une soixantaine de hautes écoles. Neuf forment à des compétences utilisées dans la recherche en IA.

science des données et de la recherche multidisciplinaire, regroupant entre 30 et 40 spécialistes de données.

Les HES jouent un rôle particulier dans ces transferts. À titre d'exemple, en 2017, 69 % des entreprises ayant pratiqué des TST l'ont fait avec au moins une HES (*via* des projets de R&D, des réseaux institutionnels, des formations continues ou réseaux professionnels). À noter que pour les HES, ces transferts technologiques représentent une part non négligeable dans leurs recettes totales (environ 25 % en moyenne sur la dernière décennie).

Les parcs suisses de l'innovation sont pilotés par la fondation *Switzerland Innovation* (budget de 350 MCHF à son lancement en 2015), sise à Berne et financée par le secteur privé²⁰². *Via* ces parcs d'innovation, les universités et hautes écoles peuvent collaborer étroitement avec l'économie et ainsi permettre aux entreprises suisses et étrangères dotées de départements de recherche et développement de s'y établir.

6. L'attractivité

Le secteur de l'IA en Suisse jouit de l'attractivité habituelle et déjà connue et reconnue de la Suisse, qui n'a pas mis en place d'instruments d'activité pour le secteur de l'IA.

²⁰² <https://www.switzerland-innovation.com/fr/node/29>. *Switzerland Innovation* est une fondation. En 2012, l'Assemblée fédérale suisse a révisé la loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation et créé les bases légales du soutien de la Confédération en faveur d'un parc d'innovation suisse. En 2015, l'Assemblée fédérale a décidé d'instaurer deux nouveaux outils pour soutenir la réalisation du parc d'innovation : le cautionnement de la Confédération d'un crédit-cadre de 350 MCHF affectés à des objectifs précis (pour permettre aux parcs d'innovation de financer des infrastructures de recherche (équipements) ; la cession de biens-fonds appartenant à la Confédération, assortis d'une rente fonction du droit de superficie. Durant la phase de lancement de *Switzerland Innovation*, d'une durée de cinq ans, des sponsors du secteur privé ont financé le fonctionnement de la fondation nationale. Au cours des prochaines années, des entreprises privées agiront en tant que partenaires d'innovation et permettront à *Switzerland Innovation* de faciliter des projets d'innovation qui abordent des questions intersectorielles pertinentes sur le plan social et de promouvoir la coopération entre les parcs d'innovation, renforçant ainsi l'écosystème du réseau. Le Conseil de la fondation est composé de représentants du secteur public, académiques compris, et d'entreprises. Le Comité prépare les dossiers du Conseil de fondation et représente la fondation à l'extérieur. Il est responsable des résultats financiers globaux de la fondation et statue sur l'aide à apporter aux sites. Un Comité prépare les dossiers du Conseil de fondation et représente la fondation à l'extérieur. Il est responsable des résultats financiers globaux de la fondation et statue sur l'aide à apporter aux sites.

Pour les ingénieurs et chercheurs, il est à souligner l'attractivité très forte de la Suisse pour les acteurs du monde de la recherche. En effet, la qualité de vie y est bonne voire très bonne, les salaires élevés, les infrastructures de travail modernes et les équipes de collaborateurs très compétentes.

Pour les étudiants, les frais d'inscriptions dans les universités suisses sont raisonnables (environ 1 500 CHF par semestre dans les meilleures écoles) et les chances d'y rentrer sont relativement élevées. Ensuite, le grand soutien apporté aux étudiants entrepreneurs (notamment par un soutien financier et le mentorat) pour développer leurs projets entrepreneuriaux est aussi une raison de rester en Suisse. *Idem* pour les jeunes diplômés, qui trouvent un emploi après leurs études souvent avec des salaires plus élevés qu'en France (et dans beaucoup de pays en Europe).

7. Faciliter l'acceptation de l'IA par la société

Pour mémoire, l'on rappellera les Directives de la Confédération pour que l'utilisation de l'IA soit encadrée d'une réglementation technologique neutre. Les événements à destination des professionnels pour travailler sur les applications de l'IA, comme celui proposé par l'EPFL organisé tous les ans²⁰³, sont nombreux.

Enfin, il y a toutes les publications sur l'éthique de l'IA pour sensibiliser et avertir sur le sujet dans la presse spécialisée, qui se demande si « la Suisse pourrait devenir un leader de l'intelligence artificielle éthique »²⁰⁴ ou « comment la Suisse doit réglementer l'intelligence artificielle »²⁰⁵.

La Suisse, globalement, a suivi l'orientation européenne sur la protection des données²⁰⁶

8. La coopération franco-suisse

8.1 Les projets existants

²⁰³ <https://appliedmldays.org/>

²⁰⁴ https://www.swissinfo.ch/fr/technologies-et-r%C3%A9glementation_la-suisse-pourrait-elle-devenir-un-leader-de-l-intelligence-artificielle-%C3%A9thique-/45762218

²⁰⁵ <https://dievolkswirtschaft.ch/fr/2021/07/comment-la-suisse-doit-elle-reglementer-lintelligence-artificielle/>

²⁰⁶ Le Conseil de l'Europe a ainsi mis à jour sa Convention sur la protection des données en 2018 et l'UE a adapté le RGPD aux besoins de l'ère numérique. En Suisse, le Parlement a approuvé en septembre 2020 la révision de la loi fédérale sur la protection des données (LPD), qui s'inspire sur le fond du RGPD. La LPD entrera probablement en vigueur en 2022.

Trois projets soutenus par le Programme Hubert Curien – Germaine de Staël

La collaboration franco-suisse dans ce domaine s'exprime notamment à travers le Programme Hubert Curien, qui compte trois projets sur 10 en lien avec l'IA en 2021 – 2022. Les projets portent sur l'imagerie médicale (entre l'université de Berne et l'IMT Atlantique), l'analyse de tissus hépatiques (entre l'Université Paris Descartes et la Haute École du Valais), et sur le calcul à haute fréquence (entre l'Université Paris Saclay et l'Université de Bâle).

Une collaboration sur l'IA financée par l'Interreg France – Suisse

Ce projet d'innovation transfrontalier²⁰⁷, auquel participent notamment le Service des urgences du CHUV et la Haute École d'Ingénierie du canton de Vaud a pour objet d'entraîner des systèmes intelligents pour aider les centrales d'urgence à identifier les appels les plus critiques et à optimiser l'emplacement des ambulances sur le territoire. Ce projet est financé par l'Interreg Franco-Suisse.

8.2 Les pistes supplémentaires pour l'avenir

Créer un Fond d'investissement pour le transfert technologique public-privé et l'innovation franco-suisse

Le transfert technologique des laboratoires vers l'industrie, dans les domaines où l'innovation est onéreuse (comme les lasers, la robotique, l'IA pour certaines applications, etc.), est en grande partie pris en charge par les agences suisses comme InnoSuisse. Il n'existe pas d'équivalents stricts de cette agence en France (ou en tout cas pas qui finance avec des taux de réussite des candidatures aussi élevés).

Une piste à développer sur le long-terme serait de créer un fonds pour le financement de la recherche publique – privée entre la France et la Suisse (partenariats entre des laboratoires suisses et des entreprises françaises), pour aider à l'innovation franco-suisse par le transfert technologique, pour ne pas laisser InnoSuisse porter la majorité des risques et récupérer *de facto* la majorité des retombés financières et technologiques de la recherche, même quand celle-ci implique des entreprises françaises. De plus, InnoSuisse pourrait s'épuiser dans cette posture.

²⁰⁷<https://www.ictjournal.ch/news/2021-08-20/projet-franco-suisse-pour-mieux-traiter-les-appels-aux-urgences-a-laide-de-lia>

Inciter au développement de nouvelles coopérations au niveau des chercheurs et des étudiants

Pour développer les coopérations dans le domaine de l'IA, il pourrait être intéressant d'inciter le développement de projets, par exemple, avec des bourses spéciales, des PHC ou PROCOPE+ ou par l'organisation d'événements de réseautage. De tels projets pourraient permettre aux chercheurs de se rencontrer et initier de nouvelles coopérations franco-suisse, avec certains centres de recherche et laboratoires d'excellence en France et en Suisse.

Il est aussi possible d'envisager d'intervenir de la même façon pour les formations d'étudiants en développant des programmes d'échanges entre formations dans l'IA, ou des doubles-diplômes. Des programmes de stage co-développés entre la France et la Suisse pourraient également permettre le développement de savoirs et d'expériences communes dans ce domaine.

Annexe n° 3 : reste du monde

Israël : une stratégie et un écosystème liés à la situation particulière d'Israël

1. La stratégie de 2019

1.1 L'origine

L'adoption des technologies en IA a été vivement encouragée par les besoins militaires du pays dont les différentes unités de l'armée ont développé des systèmes intelligents basés notamment sur des technologies de reconnaissance vocale ou de *deep learning*. La recherche sur l'IA est solidement établie depuis les années 1980 et un certain nombre de groupes et de laboratoires de recherche sur l'IA ont vu le jour avant 2019. En 2018, le Premier ministre Beyamin Netanyahu impulse « l'Initiative nationale pour les systèmes intelligents sécurisés ». Un comité d'experts israéliens est mis en place en 2018 sous l'égide des professeurs Isaac Ben Israel et Eviatar Matania. Ces deux professeurs étaient déjà à l'origine d'une initiative similaire en 2010 visant à promouvoir les technologies de cybersécurité. La volonté du Premier ministre Netanyahu était donc de reproduire avec la stratégie IA le succès enregistré en cybersécurité, en faisant à terme d'Israël l'un des cinq pays leaders mondiaux en IA. Ce comité dédié à l'IA était composé de quinze sous-comités, au sein desquels ont siégé près de 300 personnes, dont des hauts fonctionnaires, des représentants de l'armée, de l'industrie et des universités. Les experts ont été répartis en 15 groupes de travail traitant de divers aspects technologiques, sectoriels et transversaux des systèmes intelligents.

Les conclusions et les recommandations du comité ont été intégrées dans un rapport final qui propose une stratégie nationale pour Israël dans le domaine des systèmes intelligents sécurisés (le "rapport d'initiative nationale"). Le rapport rédigé par les professeurs Ben Israel et Matania, visant à faire d'Israël l'un des cinq pays leaders mondiaux en intelligence artificielle, a été remis en 2019. Aucun document programmatique n'a été publié par Israël à ce stade. Mais le ministère des Finances israélien a récemment annoncé l'élaboration de ce plan dédié à l'IA. Le gouvernement israélien devrait ainsi publier dans les prochains mois un plan national pour renforcer le développement national de l'IA.

1.2 Les axes prioritaires retenus en 2019

La stratégie dédiée à l'IA met l'accent sur le besoin impérieux de développer une IA sécurisée, comme en témoigne le titre du rapport des

professeurs Ben-Israel et Matania : *national secured artificial intelligence initiative*. La stratégie repose sur quatre grands piliers :

- développer les technologies essentielles à l'IA : le plan identifie sept technologies essentielles parmi lesquelles l'apprentissage automatique, la gestion des données, la puissance de calcul (super ordinateurs, ordinateurs quantiques, etc.) ou encore la connectivité entre les différents capteurs. Afin d'accélérer la recherche et le développement de l'IA, le comité suggère de construire des infrastructures informatiques appropriées en Israël. Il recommande notamment la publication d'un appel d'offres relatif à la mise en place d'un *cloud*, avec une implication probable d'entreprises comme Amazon, Google, Nvidia et Intel.
- identifier des domaines d'application prioritaires : la stratégie se base sur le postulat que les technologies de l'IA affecteront significativement tous les secteurs de nos sociétés dans les prochaines années. Quatre domaines sont toutefois jugés prioritaires : la santé, les transports, l'agriculture et la sécurité.
- renforcer l'enseignement et la recherche en IA : le comité recommande la création de quatre à six centres interdisciplinaires spécialisés en IA dans les universités afin de développer la recherche et d'encourager les transferts de technologie vers l'industrie. Le plan suggère également l'augmentation du nombre d'étudiants étrangers effectuant un doctorat ou post doctorat en Israël, afin notamment d'accroître substantiellement le nombre de publications dédiées à l'intelligence artificielle. Par ailleurs, la stratégie israélienne met l'accent sur l'enseignement de l'IA à l'école, dès le plus jeune âge.
- promouvoir une intelligence artificielle éthique : bien que le rôle de l'État israélien soit traditionnellement limité en matière d'encadrement des innovations technologiques, que ce soit au niveau national ou international, la stratégie accorde une importance particulière aux questions d'éthique et de régulation. Cela s'inscrit dans la continuité d'une récente prise de conscience des autorités (gouvernement, Knesset) d'un besoin accru de régulation, illustré par des premiers débats dans les milieux académiques et au parlement.

1.3 Les actions mises en œuvre pour répondre au besoin de capital humain qualifié en IA

L'instance en charge de l'enseignement supérieur israélien, le Conseil de l'Enseignement supérieur (*Council for Higher Education* – CHE) a inscrit dans son plan pluriannuel 2017-2022 l'objectif d'augmenter le nombre d'étudiants et de professeurs dans les filières de l'ingénierie et

des sciences informatiques. Cette mesure a permis aux départements de sciences informatiques des universités d'engager davantage de professeurs avec un focus sur l'IA et de dispenser davantage de cours portant sur les technologies IA. Le nombre d'étudiants de première année en *high-tech* est passé d'environ 6 000 par année en 2012 à 7 000 en 2016 et devrait atteindre environ 11 000 en 2022. Le nombre de diplômés au niveau master et doctorat a augmenté de 150 % entre 2007 et 2018, passant de 60 à 90 diplômés par an.

Israël s'est récemment doté d'un programme national intitulé *the national program for AI infrastructure*, initiative coordonnée par le MOST, le ministère des Finances, l'IIA²⁰⁸, le *National Cyber Directorate* et le CHE²⁰⁹. Ce programme s'articule autour de cinq piliers majeurs :

- créer des infrastructures adaptées ;
- adresser la réduction du capital humain ;
- promouvoir la collaboration entre les acteurs des secteurs académique, public et privé ;
- favoriser la mise en place d'une régulation propice au développement de l'innovation ;
- implémenter et adapter l'IA aux besoins du secteur public.

Dernièrement, le gouvernement israélien a mis en place certaines mesures pour faciliter l'immigration en Israël de professionnels de la *high-tech* étrangers (talents israéliens vivant à l'étranger et talents internationaux).

1.4 Les acteurs publics en charge de la mise en œuvre de la stratégie

Les principales autorités nationales en charge de la définition des orientations stratégiques de l'écosystème de recherche et d'innovation sont :

- le ministère de l'innovation, de la science, de la technologie et de l'espace (*Ministry of Innovation, Science and Technology – MOST*), qui coordonne les aspects stratégiques de la recherche publique en Israël dans tous les secteurs d'intérêt national.
- l'Autorité israélienne de l'innovation (*Israeli Innovation agency*), organisation publique indépendante créée en 1984 et rattachée au MOST depuis 2021, qui assure la mise en œuvre des politiques

²⁰⁸ L'Association israélienne pour l'intelligence artificielle (IAAI), qui réunit les chercheurs en Israël.

²⁰⁹ *Council of Higher Education*.

d'innovation. L'autorité est chargée du développement de l'écosystème israélien de l'innovation et du financement de programmes de R&D dans les secteurs industriel et technologique. Elle est également responsable des coopérations internationales et de l'accompagnement des candidatures israéliennes aux financements européens. Elle conseille par ailleurs le gouvernement sur les choix stratégiques en matière d'innovation à mettre en œuvre.

- le Forum TELEM (*Forum for National Research and Development Infrastructure*), chargé de mettre en commun les ressources budgétaires de ses membres (MOST, ministère de l'économie, ministère de la défense, etc.), en vue d'initiatives conjointes d'intérêt national dans le domaine de la science et de la technologie.
- la Direction nationale de la cybersécurité d'Israël (*Israel National Cyber Directorate, INCD*) – agence nationale de sécurité et de technologie chargée de défendre le cyberspace national d'Israël et développer la cyberpuissance d'Israël – est aussi largement impliquée. Elle favorise le développement de solutions technologiques et cyber innovantes, formule des stratégies et des politiques sur les scènes nationales et internationales et développe sa main-d'œuvre cyber.
- du fait de sa mission de mise en relation des entreprises, des gouvernements et des ONG du monde entier avec l'innovation israélienne, *Start-up Nation Central*²¹⁰ joue également un rôle important.

Par ailleurs, on peut également citer au niveau académique l'Université de Tel Aviv qui est profondément engagée sur les sujets IA notamment avec :

- le centre Blavatnik (*Blavatnik Interdisciplinary Cyber Research Center, ICRC*), spécialisé dans la transformation numérique et la cybersécurité. L'ICRC contribue surtout chaque année à l'organisation de l'*AI week*, rendez-vous annuel de l'Université de Tel-Aviv dont l'ambition est de mettre en avant l'impact sur notre quotidien des technologies basées sur l'IA, et de favoriser l'adoption des nouvelles technologies liées à l'IA dans la société.
- le centre dédié à l'IA et la science des données – le *TAD center* – qui a notamment pour vocation d'encourager une recherche

²¹⁰ *Start-up Nation Central* est une plateforme qui réunit les entreprises, les investisseurs, les laboratoires de recherche et les chercheurs. C'est une organisation sans but lucratif.

pluridisciplinaire s'appuyant sur les dernières méthodes d'IA et de la science des données et de renforcer les collaborations avec les agences gouvernementales et l'industrie.

- enfin, au niveau associatif, l'Association israélienne pour l'intelligence artificielle (IAAI), se démarque par ses activités impliquant la communauté des chercheurs en IA en Israël du milieu universitaire et de l'industrie. L'IAAI est membre de l'ECCAI, le Comité européen de coordination pour l'IA, qui comprend 29 organismes européens, et promeut l'étude, la recherche et l'application de l'IA en Europe.

1.5 Les financements alloués à la stratégie nationale

Les professeurs Ben Israel et Matanya, en septembre 2020, préconisaient la création d'un organe dédié au sein du cabinet de Premier ministre, et un investissement s'élevant à 10 Md de shekels²¹¹ sur cinq ans. En raison de l'instabilité gouvernementale israélienne, l'approbation de ce budget a été retardée depuis 2020, freinant ainsi le déploiement du programme de promotion de l'IA. Une partie du budget actuellement disponible a néanmoins été dédiée à la mise en œuvre de ce projet. Le Forum TELEM (cf. 1.4), a créé en février 2020 un comité dédié à l'IA dirigé par le Dr. Orna Berry. Ce comité suggérait l'adoption d'un programme de promotion de l'IA au niveau gouvernemental, complémentaire à celui proposé par les professeurs Ben Israel et Matania. Le Dr. Orna Berry, quant à elle, recommandait fortement de transférer en priorité un budget partiel d'un demi-milliard de shekels afin de lancer les travaux les plus urgents et importants et de permettre à Israël de devenir un leader dans le secteur de l'IA.

De manière générale et donc également en matière d'IA, l'écosystème israélien de recherche et d'innovation est financé par plusieurs entités publiques, parmi lesquelles :

Le Comité de Planification et de Budgétisation - CPB (*Planning and Budgeting Committee* - PBC) du Conseil pour l'Enseignement Supérieur (*Council for Higher Education* - CHE) est responsable du financement du système israélien de l'enseignement supérieur. Le Comité finance également les centres de recherches d'excellence (*I-CORE*), fondés en 2011 et au nombre de 16, dans des domaines variés comme les sciences cognitives ou la science des algorithmes. Le but de ces centres est de permettre l'innovation et de renforcer l'embauche de nouveaux chercheurs dans les thématiques à grand potentiel. À noter que le budget du système d'enseignement supérieur a connu une augmentation significative ces

²¹¹ 1 shekel (NIS) = 0,28 €.

dix dernières années, passant de 7,3 Md de NIS en 2011-2012 à 12,5 Md de NIS en 2021-2022.

La Fondation israélienne pour la Science (*Israeli Science Foundation* – ISF) est la principale organisation publique pourvoyeuse de financement pour la recherche en Israël. Elle est financée par le gouvernement (par l'intermédiaire du CPB), mais aussi par des fonds et donateurs privés désireux d'investir dans la recherche. La fondation soutient des projets de recherche dans des domaines variés, des sciences exactes aux sciences humaines et sociales, à partir d'appels d'offres annuels. À ce titre, elle gère des programmes de soutien à la recherche variés, qui s'articulent au sein de deux volets de financement distincts mais complémentaires : les *Core Programs* et les *Dedicated Programs*.

L'Autorité israélienne de l'innovation (cf. 1.4), principale agence de financement de l'innovation et dont le budget a connu une forte augmentation en 2020 à la faveur de la crise de la covid-19 (2,3 Md de NIS contre 1,7 Md de NIS en 2019), intégralement alloué par appel à projet à des entreprises ou start-up.

Les fondations et les fonds européens sont aussi d'importants pourvoyeurs de financement de la recherche en Israël, notamment par le biais des programmes-cadres de recherche de l'Union Européenne (parmi lesquels les programmes H2020 ou Horizon Europe). Ils subventionnent notamment tous les programmes d'excellence, notamment dans les domaines de l'IA. La participation d'Israël au programme Horizon 2020 a eu un impact significatif sur l'écosystème israélien, avec plus de 1,3 Md€ de subventions allouées aux universités et industries israéliennes. Israël a rejoint en décembre 2021 le nouveau programme de recherche et d'innovation de l'Union Européenne pour la période 2021-2027, Horizon Europe. Les institutions de recherche et les entreprises israéliennes peuvent désormais prendre part à ce programme de 95,5 Md€ pour la recherche et l'innovation, au même titre que les États membres de l'Union européenne.

1.6. Liens entre la stratégie nationale de 2019 et la stratégie d'intelligence artificielle pour les forces armées lancée en février 2022

Le plan national en IA réalisé par les professeurs Ben Israel et Matanya, ne comporte pas de dimension militaire ou duale. Bien que le secteur de l'innovation en Israël soit intrinsèquement lié à l'armée, les deux plans stratégiques ne présentent pas de corrélations, de façon publique.

La nouvelle stratégie d'IA pour les forces armées israéliennes (IDF), lancée en février 2022 s'est concrétisée par la mise en œuvre d'un plan d'action pluriannuel. Appelé *Tnufa* en hébreu et *Momentum* en anglais, ce plan a commencé dès 2020 et doit se terminer en 2024. Il a pour objectif

de moderniser les forces sur le plan numérique, notamment en incorporant l'utilisation de l'IA dans toutes les branches de commandement de Tsahal, afin d'apporter une réponse aux formes asymétriques ou « hybrides » des conflits guerriers.

L'armée israélienne n'a pas divulgué le coût budgétaire du plan. Néanmoins, il a été fait mention, en 2020, du chiffre de 40 Md de NIS sur dix ans. Ce chiffre provient du plan « vision stratégique pour la sécurité nationale en 2030 »²¹² adopté en 2018, par le gouvernement israélien.

2. Les acteurs privés.

L'écosystème d'IA en Israël est avant tout façonné par le marché privé, et en particulier par les entreprises opérant dans le secteur de l'IA – au nombre de 1400 en 2019. Ces dernières sont donc au cœur du développement de l'IA et représentent les principaux interlocuteurs des pouvoirs publics, notamment au travers de l'Autorité israélienne de l'innovation (cf. 1.4).

3. Le partenariat public-privé

3. 1 les centres de recherche, publics et privés en pointe et les domaines d'excellence de ces centres en matière d'IA

Israël héberge de nombreux centres de recherche dans le domaine de l'IA, tant dans le secteur académique qu'industriel. Parmi les centres de recherche publics, le plus emblématique est le centre interdisciplinaire dédié à la science des données et à l'IA de l'Université de Tel Aviv, ouvert en 2021 : le *TAD Center* (cf. 1.4). Les grandes universités israéliennes (Technion, Institut Weizmann, Université Ben Gourion du Néguev, etc.) disposent également d'autres centres IA à la pointe de la recherche publique. Le tableau après présente quelques laboratoires de recherche d'excellence dans divers domaines liés à l'IA (liste non exhaustive).

²¹² https://www.inss.org.il/wp-content/uploads/2019/02/Memo187_11.pdf

Tableau n° 8 : quelques laboratoires israéliens de recherche d'excellence dans des domaines liés à l'IA

<i>UNIVERSITE</i>	<i>DOMAINE</i>	<i>PROJETS DE RECHERCHE</i>
<i>Université de Tel-Aviv</i>	Cyber	Le Centre Blavatnik (CICR) conduit des recherches interdisciplinaires sur la transformation numérique et la cybersécurité. De plus, le CICR organise la <i>Cyber Week</i> , évènement annuel rassemblant une variété de leaders de l'industrie, des politiques et de la technologie en Israël et dans le monde.
	Data	Le centre interdisciplinaire dédié à l'IA et la science des données – le <i>TAD center</i> – a pour vocation d'approfondir les connaissances dans toute discipline en lien avec l'IA ; d'encourager une recherche pluridisciplinaire s'appuyant sur les dernières méthodes d'IA et de la science des données ; de renforcer les collaborations avec les agences gouvernementales et l'industrie ; et de promouvoir l'éducation et la formation de la nouvelle génération de chercheurs et d'industriels.
<i>Technion</i>	Agriculture	Le laboratoire CEAR Lab (<i>Civil, Environmental and Agricultural Robotics Lab</i>) développe des robots dont le fonctionnement est optimisé pour une tâche agricole donnée (récolte).
	Data	Le <i>Technion Data & Knowledge Lab</i> se concentre sur le développement d'une infrastructure de gestion et d'analyse des données. Les thématiques de recherche sont multiples : algorithmes d'énumération, analyse de textes, gestion de l'incohérence et de l'incertitude de données, stockage de données dans le <i>cloud</i> , etc.
<i>Institut Weizmann</i>	Vision	Le <i>Weizmann Artificial intelligence Center</i> (WAIC) travaille sur le traitement de l'information visuelle (vision biologique, vision artificielle). Ses activités de recherche se concentrent sur le fonctionnement du système visuel et sur la construction d'un système visuel artificiel. Les applications envisagées sont multiples : voitures autonomes, robotique, imagerie médicale, etc.
<i>Université hébraïque</i>	Santé	Le centre <i>Edmond & Lily Safra Center for Brain Sciences</i> (ELSC) utilise l'IA dans des applications liées à la sensation et perception, la planification et

		le contrôle des mouvements, la neuroscience informatique, la conscience et cognition et les troubles neurologiques.
<i>Université de Bar-Ilan</i>	Data	Le <i>Bar Ilan Data Science Institute</i> est spécialisé dans le développement du <i>big data</i> et de la science des données mais travaille aussi à l'application en médecine, sciences du langage, sciences de la vie, etc.
	Sciences humaines et sociales	Le groupe de recherche MAVERICK lie IA et intelligence sociale. De nombreux projets y sont menés autour de la reconnaissance d'intentions et d'objectifs, des systèmes multi-robots, des agents autonomes, de l'intelligence sociale artificielle, ou encore des robots moléculaires (nanobots).
<i>Université Ben-Gourion</i>	Robotique	Le centre ABC Robotics Initiative (<i>Agricultural, Biological and Cognitive</i>) travaille au développement de robots dotés d'un comportement « intelligent » inspiré des modèles biologiques et du comportement humain.

Source : Cour des comptes

Par ailleurs, les centres de recherches privés civils sont souvent des grands groupes étrangers (historiquement des acteurs américains comme IBM, Google ou INTEL). Les universités et les grands groupes industriels collaborent régulièrement, en particulier sous la forme de challenges ou de défis dans des formats de type « hackathon ». Enfin, des lieux d'innovation interdisciplinaires et public-privés sont également présents ou en train d'émerger dans les universités pour accueillir physiquement – et sur un temps plus long – ce type d'initiatives comme le *TAU Innovation Lab* de David Mendlovic, à la fois professeur émérite de l'université et vice-Président de Samsung.

3.2 Les structures et instruments pour favoriser le transfert de technologie vers les domaines d'application

L'ISERD (*Israel-Europe R&I Directorate*), dépendant de l'Autorité israélienne de l'innovation, est un organisme dédié au transfert technologique. À l'instar de structures françaises comme le SGPI, BPI France ou les Pôles de Compétitivité, l'ISERD regroupe des programmes thématiques dont le but est d'initier ou de soutenir des filières, dans des domaines d'application porteurs et ainsi créer les synergies propices à l'application. Les montants mobilisés par cette structure ne sont pas comparables à ceux déployés en France par les Stratégies d'Accélération

des PIA/France Relance. Les moyens s'élèvent à des dizaines de millions d'euros pour les plus gros projets. Des exceptions existent notamment pour l'achat de gros équipements comme les supercalculateurs.

Les universités israéliennes jouent également un rôle central en ce qui concerne le transfert technologique. Elles sont au cœur du continuum vertueux entre enseignement, recherche et industrialisation. Pour ce faire, elles disposent de sociétés de transfert de technologies intégrées qui accompagnent les étudiants et les chercheurs dans la valorisation de leurs produits et de leurs travaux (création de start-up, dépôt de brevet, etc.).

3.3 Les initiatives en matière de formation, d'attractivité des talents et de financements pour favoriser la diffusion de l'IA vers le secteur économique et valoriser la recherche.

- deux facteurs principaux freinent la croissance du secteur de l'IA : le manque de ressources humaines (s'expliquant notamment par un nombre de diplômés insuffisant, par le départ des professeurs dans le secteur privé, par une attractivité des talents de l'étranger à optimiser) et le manque d'infrastructures de pointe. Aussi, l'objectif du programme *The national program for AI infrastructure* (cf. 1.3) est de fournir au pays l'infrastructure et les outils dont il a besoin pour rester un leader dans le secteur de l'Intelligence Artificielle (IA). Ce programme devra être accompagné d'investissements supplémentaires, pour permettre à Israël de conserver sa place sur la scène internationale.
- en plus des différentes initiatives mises en place par le gouvernement, le secteur militaire continue de jouer un rôle fondamental en investissant massivement dans le secteur de l'IA en termes de main-d'œuvre et d'utilisation de technologies. Le secteur militaire forme et retient les talents IA tout en finançant massivement les infrastructures en IA.

Pour favoriser la croissance de ce secteur d'un point de vue scientifique et économique le professeur Ben-Israel propose également davantage de flexibilité aux chercheurs pour leur permettre de travailler entre l'université et le secteur privé et ainsi pour faire face au nombre de professeurs qui préfèrent travailler dans le secteur privé. À noter que les universitaires sont attirés vers le secteur privé par des salaires bien plus élevés, mais aussi par la quantité de ressources informatiques disponibles, indispensables pour certains travaux de recherche.

4. Le cadre général pour le développement de l'IA et son usage

En septembre 2019, Israël a adopté des lignes directrices en matière d'éthique pour une R&D responsable en IA en tant que membre de

l'OCDE. Ces directives entendent garantir la protection de la vie privée des utilisateurs et un accès rapide aux bases de données publiques.

En octobre 2020, un rapport a été publié sur les perspectives israélienne en termes d'éthique et de gouvernance du secteur de l'IA, intitulé *Harnessing Innovation: Israeli Perspectives on AI Ethics and Governance*²¹³, qui aborde notamment les questions de réduction des biais dans le développement de l'IA. Ce rapport a été co-rédigé par les professeurs Ben Israel et Matania, en lien avec Leeche Friedman, coordinateur de l'initiative *Israel's National Initiative for Secured Intelligent Systems (AI)* ayant conduit au rapport remis au cabinet du Premier ministre en 2019 (présenté en partie 1).

L'IA est présentée, en introduction du rapport, comme une technologie émergente indispensable et décrite comme "*une infrastructure au service de plusieurs autres infrastructures, essentielle pour l'avenir de l'État d'Israël - pour sa sécurité, son économie et au bien-être de sa population*"²¹⁴.

Plutôt que de fixer une liste établie des activités qui doivent être règlementées, le rapport adopte une approche systématique de la question éthique, comprenant trois étapes : (1) la cartographie des différents types d'approches réglementaires, ainsi que leurs avantages et inconvénients respectifs ; (2) identifier les principaux domaines et activités de l'IA qui pourraient bénéficier d'un certain niveau de réglementation, et les risques associés à chacun de eux ; (3) faire correspondre différentes approches réglementaires aux diverses activités d'IA. Cette approche fournit une feuille de route au gouvernement pour élaborer des réglementations sectorielles sur mesure.

Toujours dans le cadre du rapport sur les perspectives israéliennes en termes d'éthique et de gouvernance du secteur de l'IA, il est mis en avant l'importance de prendre en considération les questions éthiques dans le domaine de l'IA : « *la technologie n'est pas neutre [...] les systèmes IA sont basés sur des informations [...] qui peuvent refléter et augmenter différents types de biais sociaux* ». Aussi, le rapport liste six principes éthiques pour l'IA à développer :

²¹³<https://sectech.tau.ac.il/sites/sectech.tau.ac.il/files/CAHAI%20-%20Israeli%20Chapter.pdf>

²¹⁴an infrastructure of infrastructures, one that is critical to the future of the State of Israel – to its security, its economy and to the welfare of its population.

- l'équité : recherche d'égalité, prévention des biais, de toute forme de discrimination, ainsi que de l'accroissement des inégalités socioéconomiques ;
- la responsabilité :
 - transparence : fournir les informations sur le processus et les prises de décisions relatives aux technologies IA ;
 - explicabilité : être capable d'expliquer le processus de prise de décisions des systèmes d'IA (au niveau individuel mais aussi collectif) ;
 - responsabilité éthique et légale ;
- la protection des droits humains ;
- la cyber sécurité et sécurité de l'information ;
- la sûreté : prévention de tout danger pour la société et les individus qui la composent et des dommages associés.
- le maintien d'un marché compétitif et développement de lignes directrices permettant de faciliter la compétition.

En lien avec ces six principes, le rapport suggère de créer un modèle de réglementation équilibré, basé sur, d'une part, l'application d'une intervention réglementaire minimale permettant de répondre aux enjeux éthiques, et d'autre part la limitation de mesures susceptibles de freiner l'innovation et le progrès scientifique. En conséquence, le rapport appelle à développer toute forme d'auto-régulation et en particulier à mesurer les risques et identifier en avance les défis éthiques à prendre en considération durant les stades de développement et de production. Aussi, selon les auteurs, les limites éthiques devraient être intégrées au sein des systèmes intelligents, et les principes éthiques devraient être implémentés lors du processus d'apprentissage. À noter que le rapport ne fait pas mention spécifique à la prise en compte des enjeux environnementaux dans le développement de l'IA.

5. La coopération franco-israélienne et ses perspectives (AMI, AAP communs, etc.)

La coopération scientifique franco-israélienne est d'un très bon niveau. En 2020, les deux pays ont publié ensemble 1 500 articles scientifiques, ce qui fait de la France le 5^e partenaire scientifique d'Israël – derrière les États-Unis, l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie. Israël a signé des accords de coopération avec une trentaine de pays, et la France occupe le 4^e rang de ses partenaires scientifiques. C'est également un membre associé des programmes de R&D (PCRD) européens depuis 1995.

La coopération scientifique bilatérale est largement portée par le Haut-Conseil franco-israélien pour la Science et la Technologie (HCST), créé en 2003. Cette instance est coordonnée conjointement par le ministère de l'Europe et des affaires étrangères (MEAE) et le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche (MESRI) en France, et par le ministère israélien de l'innovation, de la science et de la technologie (MOST). Elle est également chargée de définir les axes de la coopération scientifique franco-israélienne et de piloter le Programme Hubert Curien (PHC) Maimonide.

Japon : préparer la société, s'appuyer sur le partenariat public privé, être la pointe asiatique d'un triangle États-Unis-Europe-Asie

1. La stratégie

1.1 Les ministères, les agences de financement, le pilotage

L'organisation du pilotage est, en apparence, assez complexe.

Trois ministères interviennent : le ministère japonais de l'éducation, de la culture, des sports, des sciences et de la technologie (MEXT) ; le ministère de l'intérieur et des communications (MIC) et le ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI).

Sous la direction du Premier ministre et du ministre d'État chargé de la politique scientifique et technologique²¹⁵, le Conseil pour la science, la technologie et l'innovation (CSTI), qui supervise l'ensemble des sciences et technologies de la nation, donne des conseils et formule des politiques.

Un Conseil stratégique pour la technologie de l'IA (SCAIT) fait office de « tour de contrôle » entre les ministères et gère les centres de recherche suivants :

- le *Center for Information and Neural Networks* (CiNet) et l'*Universal Communication Research Institute* (UCRI) du *National Institute of Information and Communications Technology* (NICT). Il dépend du MIC ;
- le *RIKEN Center for Advanced Intelligence Project* (AIP). Il dépend du METI ;
- l'*Artificial Intelligence Research Center* (AIRC) du *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* (AIST). Il dépend du MEXT.

²¹⁵ À date, M. Takayuki Kobayashi, ministre chargé de la sécurité économique.

Deux agences de financement sont également concernées : l'Agence japonaise pour la science et la technologie (JST) et l'Organisation pour le développement des nouvelles énergies et des technologies industrielles (NEDO) :

- la JST finance la recherche fondamentale, soutient la commercialisation des nouvelles technologies, distribue des informations sur la science et la technologie et promeut la recherche conjointe internationale ;
- la NEDO finance le développement technologique et coordonne les capacités technologiques et de recherche de l'industrie, des universités et du gouvernement. Elle encourage également le développement de l'innovation et des technologies à haut risque.

Ces deux agences possèdent des bureaux à l'étranger.

Enfin, le comité de pilotage de l'IA (*AI Steering Committee*) est un groupe de centres de recherche liés à l'IA (AIST AIRC, RIKEN AIP, NICT) qui se réunit régulièrement pour discuter des questions du domaine et pour renforcer le système de fonctionnement et de gestion conformément à la stratégie du RIKEN AIP, de l'AIRC de l'AIST et des centres liés à l'IA du NICT.

En décembre 2019, en se basant sur les considérations du comité de pilotage de l'IA et à la demande du cabinet office, l'AIST, le RIKEN et le NICT (qui dépendent donc respectivement du MEXT, METI et MIC) ont créé le réseau nommé *AI Japan R&D Network*. Dans la foulée, les universités et instituts de recherche publics japonais menant des activités de R&D liées à l'IA ont été sollicités pour rejoindre ce réseau. Le professeur Hiroaki Kitano, président de *Sony Computer Science Laboratories*, a été nommé à la tête de ce réseau dont le secrétariat est assuré par l'AIST. La création de ce réseau doit permettre d'informer en un lieu unique sur les activités et résultats de R&D en IA au Japon, de favoriser l'échange d'opinions entre les chercheurs en IA, d'améliorer la coordination des activités de R&D entre les universités et les instituts de recherche publics et enfin d'offrir des opportunités de coopération entre les membres du réseau. Dans la révision de la stratégie en intelligence artificielle (2021), il est mentionné que le *AI Japan R&D Network* devrait renforcer en urgence ses fonctions de secrétariat.

1.2. Depuis 2017 un document de stratégie est régulièrement mis à jour

La première feuille de route, publiée en mai 2017, a été complétée en juin 2019 par la stratégie intitulée *Japan's AI strategy towards Society 5.0* et en 2021 par un rapport de suivi et une révision de cette stratégie : *AI*

Strategy 2021 ~ AI for all people, industries, regions and governments (Follow-up to the AI Strategy 2019).

En parallèle, le CSTI s'est aussi penché sur les enjeux éthiques et sociétaux autour de l'IA. En février 2019, les *Social Principles of Human-centric AI*, organisés en sept grands principes, ont ainsi été publiés, puis en 2021, les *Governance Guidelines for implementation of AI principles*.

La stratégie japonaise en Intelligence Artificielle se décline autour de cinq grandes thématiques :

a) Réforme de l'éducation à l'IA

Des objectifs à horizon 2025 sont définis (100 experts mondiaux de premier plan (*top class experts*), 2 000 experts, 250 000 étudiants en cycle universitaire mettant en application l'IA dans leur domaine de spécialisation), ainsi que des leviers de changements (contenus des formations, des parcours universitaires, etc.).

b) Restructuration du système de R&D

La stratégie annonce la création d'un réseau rassemblant les différentes institutions activement engagées dans la R&D en IA : l'*AI R&D network*. À terme, l'objectif est de faire adhérer à ce réseau l'ensemble des experts du domaine (chercheurs, ingénieurs, etc.), sans restriction de provenance institutionnelle (universités, instituts de recherche, secteur privé) ni géographique (nationale et internationale).

La création de cet environnement favorable passe également par la mise en place de mécanismes favorisant l'innovation dans les technologies de pointe (*next-gen AI*). Le programme *Moonshot* (équivalent japonais d'Horizon Europe) piloté par le CSTI est un des leviers.

c) Déploiement de l'IA dans le monde réel

Cinq secteurs d'activité prioritaires sont identifiés : santé, agriculture, résilience du territoire national (notamment en cas de catastrophes naturelles), infrastructures de transport et logistiques, revitalisation régionale (depuis 2010, le METI investit dans un nombre croissant de projets de villes intelligentes – *smart cities*).

d) Développement d'infrastructures d'exploitation des données

Le gouvernement japonais compte bâtir une « plateforme pour la société 5.0 », à grande échelle, permettant de stocker, recouper et analyser les données dans chacun des cinq secteurs prioritaires identifiés. Cette plateforme a vocation à être ouverte, alimentée par la collaboration entre

acteurs publics et privés détenteurs de données, inclusive, et bien sûr sécurisée.

Le gouvernement met l'accent sur l'importance d'assurer la qualité des données introduites dans cette plateforme, condition nécessaire pour avoir confiance dans les systèmes d'IA qui en résulteront (concept de *Trusted AI*). Il regarde pour cela les travaux menés sur le sujet par les États-Unis et l'Union européenne (UE). Enfin, pour élargir son accès aux données, le Japon fait également la promotion de la libre circulation des données avec confiance (*data free flow with trust*).

e) Principes sociaux et éthiques

Le CSTI a formulé, en février 2019, ses principes sociaux pour le développement de l'IA centrée sur l'humain (*Social principles of human centric AI*). La stratégie nationale reprend les sept grands principes énoncés dans ce document :

- principe d'IA centrée sur l'humain ;
- principe d'éducation / d'alphabétisation ;
- principe de respect des données personnelles : les informations personnelles des citoyens ne doivent pas être distribuées ou utilisées sans leur accord ;
- principe de sécurité ;
- principe de compétition juste ;
- principe de transparence, de responsabilité et d'équité ;
- principe d'innovation.

En ce qui concerne les indicateurs de cette stratégie, le gouvernement en calcule la progression en vérifiant pour chacune des initiatives proposées si elle a bien été mise en place.

1.3. Les secteurs prioritaires

D'après la stratégie publiée en 2017, puis amendée en 2019 et en 2021, le gouvernement japonais a établi trois domaines prioritaires dans le cadre de la feuille de route pour l'intégration de l'IA dans la société et l'industrie

- 1) la productivité ;
- 2) la santé, les soins médicaux et le bien-être ;
- 3) la mobilité.

Pour atteindre ces objectifs, le comité a présenté une feuille de route en trois phases sur la manière dont la technologie de l'IA devrait s'intégrer dans la société. Les phases n'ont pas le même point de départ pour toutes les industries liées à l'IA, et la transition se fait à des rythmes différents :

- la première phase correspond à la croissance de l'IA au service des besoins des entreprises ;
- actuellement, le Japon passe progressivement de la première à la deuxième phase qui concerne l'utilisation publique de l'IA et des données ;
- la troisième phase devrait se dérouler entre 2025 et 2030. Au cours de cette phase, les différents domaines se transforment en un écosystème interdisciplinaire. Concrètement, l'IA sera utilisée par exemple pour la détection automatique d'obstacle à la circulation et pour l'analyse des flux de personnes et de véhicules afin d'éviter les encombrements. À noter qu'un projet de feux de circulation connectés *via* la 5G et utilisant l'intelligence artificielle a débuté en 2020.

Les activités associées au développement des secteurs prioritaires identifiés sont réparties entre les différents instituts : le RIKEN et l'AIST, en charge du volet « productivité », le NICT, le RIKEN et l'AIST, qui traitent des sujets liés au volet « santé, soins médicaux, bien-être », le NICT et l'AIST quant à eux responsables du volet « mobilité ».

1.4. L'évolution des axes prioritaires de la stratégie en IA depuis 2017

Le Japon a publié en juin 2021 une révision de la stratégie de 2019 qui insiste sur la technologie du *cloud* et vise à promouvoir la mise en œuvre sociale de l'IA. Le manque de numérisation au Japon a été particulièrement mis en évidence lors de la pandémie de covid-19, et en mai 2021, six projets de loi sur la réforme numérique ont été ratifiés. Outre la création de l'Agence du numérique en septembre 2021, un service de *cloud* gouvernemental a également été mis en place.

En 2022, le comité gouvernemental chargé de la stratégie IA a défini son orientation dans la « stratégie IA 2022 », incluant l'usage de l'IA pour les données satellites (compression et restauration des images) et le développement de technologies intégrant la cybersécurité et l'IA. Le projet de la nouvelle stratégie IA considère les séismes à Tokyo et les pluies diluviennes comme des situations de « crises nationales ». Le gouvernement mettra en place un système de gestion centralisée des données sur la durabilité de chaque fournisseur d'infrastructure. Ces données seront combinées avec un jumeau numérique qui reproduira les paysages urbains réels dans un espace virtuel sur un superordinateur.

L'objectif est de mettre cette technologie en pratique dans les prochaines années. Cette stratégie était en cours d'élaboration depuis octobre 2021, et les hypothèses de crises d'envergure mentionnées étaient surtout les catastrophes naturelles. Cependant, il a été confirmé que l'IA sera également utilisée pour la sécurité énergétique et alimentaire, dans un contexte d'inquiétude croissante à la suite de l'invasion russe en Ukraine. La stratégie de l'IA pourrait désormais également inclure des mesures liées à la sécurité nationale. Un comité du gouvernement prendra une décision en mai prochain à ce sujet.

1.5. Attirer les talents

Le METI prévoit une pénurie de 120 000 experts en IA d'ici 2030. Pour faire face à ce problème, le gouvernement vise à attirer 250 000 experts de l'étranger en internationalisant les programmes d'éducation et en rendant les séjours au Japon plus attractifs grâce à des fonds dédiés et des visas de travail spéciaux. L'anglais comme langue de travail et la nomination de chercheurs étrangers à des postes de direction sont encouragés. Cependant, le manque de main d'œuvre est un problème difficile à résoudre à court terme en se concentrant uniquement sur l'attractivité d'experts étrangers.

1.5.1 Réformer le système éducatif

La stratégie de 2021 prévoit plusieurs mesures concrètes :

- établir des programmes éducatifs de haut niveau et les adapter pour qu'ils puissent être proposés aux étudiants étrangers ;
- renforcer les liens avec les établissements de recherche et d'enseignement et les entreprises d'Amérique du Nord et d'Europe ;
- coopérer avec l'Inde, le Moyen-Orient et l'Afrique, où une croissance importante est attendue à court terme ;
- créer un environnement dans lequel les étudiants des universités et des collèges techniques peuvent être formés en mathématiques, en science des données et en IA, en rapport avec leur spécialisation, potentiellement grâce à l'utilisation de MOOC, l'intervention d'experts externes, la création de doubles majeures en « IA + spécialisation » ;
- encourager la promotion des chercheurs étrangers, ainsi que des femmes aux postes de direction ;
- mettre en place des programmes de doctorats interdisciplinaires compétitifs à l'échelle internationale afin de favoriser la constitution d'un corps enseignant, l'emploi de professeurs étrangers, et le développement de doubles majeures notamment en sciences

humaines. Des fonds dédiés à ce projet sont envisagés et un comité a été mis en place pour établir des mesures spécifiques ;

- charger le réseau AI Japan R&D Network de développer un environnement de travail et de vie attractifs (congs, rémunération, gestion des RH, langues utilisées, etc.) pour les chercheurs, ingénieurs et étudiants internationaux ;
- inviter chaque année au Japon une centaine des meilleurs chercheurs en IA du monde.

1.5.2 Les salaires

L'AIRC distingue trois catégories :

- chercheur post-doctoral : 5.5 M¥ (env. 39 534 €²¹⁶) à 7 M¥ par an (50 316 €) ;
- chercheur post-doctoral senior : 7 M¥ (env. 50 316 €) à 1 M¥ (env. 71 880 €) par an ;
- catégorie *Distinguished Research Fellow*: 1 M¥ (env. 71 880 €) par an.

Pour ce qui concerne des salaires des ingénieurs en IA, diverses sources permettent d'estimer une fourchette à Tokyo se situant entre 4 et 14 M¥ annuels (entre 28 752 et 100 632 €).

1.5.3 Toutes disciplines prises en compte, le Japon reste importateur net de chercheurs

En 2019, le MEXT a publié un rapport sur les échanges internationaux dans le monde de la recherche selon lequel 4 178 chercheurs japonais ont été envoyés à l'étranger pour des échanges de moyenne ou longue durée (113 de moins que l'année précédente), tandis que 13 280 chercheurs étrangers sont venus au Japon pour des recherches de moyenne ou longue durée (soit 108 de plus que l'année précédente). Cette évolution suit une tendance constante selon laquelle (avant la pandémie de covid 19) environ trois fois plus de chercheurs étrangers viennent au Japon que de chercheurs japonais ne partent à l'étranger.

Le tableau ci-dessous, issu d'un rapport du MEXT, indique les pays d'où proviennent en majorité les chercheurs étrangers venant au Japon, ainsi que les pays où s'établissent les chercheurs japonais (donnée de 2019). Les disciplines de recherches ne sont pas précisées.

²¹⁶ Au taux de change à date (1 ¥= 0,0072 €).

Tableau n° 9 : pays d'origine chercheurs étrangers venant au Japon et pays où s'établissent les chercheurs japonais (données de 2019)

Provenance des chercheurs étrangers venant au Japon		Destination des chercheurs Japonais	
Chine	3 306 (24.9 %)	États-Unis	1 084 (25.9 %)
États-Unis	1 330 (10.0 %)	Grande Bretagne	406 (9.7%)
Corée du Sud	993 (7.5 %)	Allemagne	376 (9.0 %)
Inde	572 (4.3 %)	France	223 (5.3 %)
Grande Bretagne	548 (4.1 %)	Australie	159 (3.8 %)
France	544 (4.1 %)	Canada	149 (3.6 %)
Allemagne	437 (3.3 %)	Suisse	145 (3.5 %)
Taiwan	355 (2.7 %)	Chine	120 (2.9 %)
Vietnam	340 (2.6 %)	Italie	102 (2.4 %)
Indonésie	313 (2.4 %)	Espagne	84 (2.0 %)

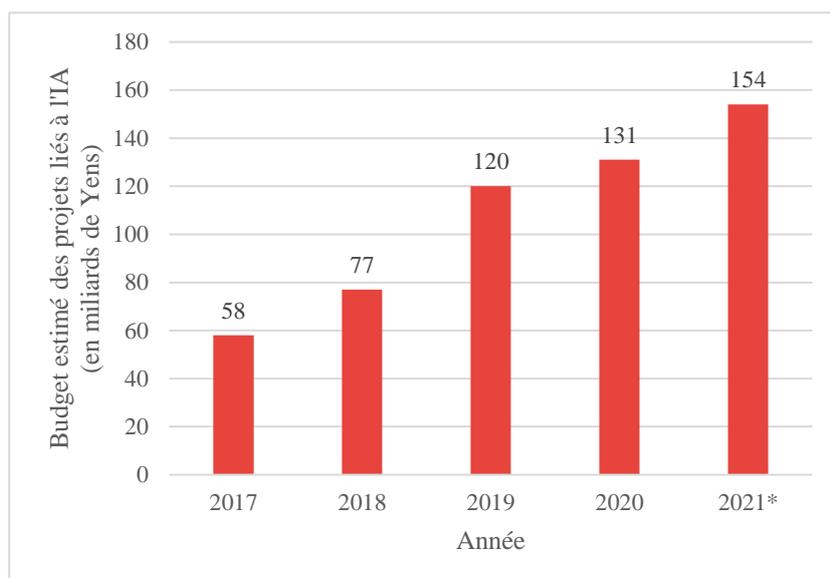
Source : MEXT

1.6. Les moyens financiers consacrés à la stratégie japonaise de l'IA

Les budgets alloués par le gouvernement pour la recherche en Intelligence Artificielle sont en croissance constante. Cette enveloppe était estimée à 58 Md¥²¹⁷ (429 M€) pour l'année fiscale 2017 et à 131 Md¥ pour l'année 2020 (940 M€), soit une augmentation moyenne de plus de 30 % par an sur la période 2017-2020.

²¹⁷ 1 yen = 0,0074 € (13 mai 2022).

Graphique n° 28 : évolution du budget public annuel en IA au Japon entre 2017 en 2020 (en Md¥)



Source : MEXT, METI

NB : L'estimation du budget de 2021 provient d'une source privée et n'est pas confirmée officiellement.

1.6.1 Les programmes de recherche

a) Des programmes interministériels pilotés par le CSTI

Le programme SIP (*Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion*), au budget de 32 Md¥/an (~230 M€/an), finance des projets de recherche interdisciplinaires, depuis la recherche fondamentale jusqu'à ses débouchés, en mobilisant les secteurs privés et publics. La première édition (2014-2018) a été reconduite pour une nouvelle période (2019-2023).

Le programme *Moonshot*, lancé en 2020 et doté d'un budget total de 115 Md¥ (~830 M€), finance des projets de R&D à haut risque visant à trouver des solutions radicalement nouvelles à diverses problématiques de société. Ce programme prend la suite du programme ImpACT clôturé en 2018.

b) Des projets financés par les agences nationales de la recherche

JST (*Japan Science and Technology Agency*, agence du MEXT), notamment à travers les programmes CREST et ERATO.

JSPS (*Japan Society for the Promotion of Science*, agence du MEXT), notamment à travers les bourses scientifiques *Kaken-hi*.

NEDO (*New Energy and Industrial Technology Development Organization*, Agence du METI).

c) Le financement direct des centres de recherche en Intelligence Artificielle (*RIKEN AIP Center, AIST AI Research Center, NICT AI centers*).

1.6.2 Le soutien à la diffusion du numérique qui utilise l'IA

Pour l'année fiscale 2022, les financements publics suivants ont été validés.

a) Afin de concrétiser la "vision d'une cité-jardin numérique" (*Vision for a Digital Garden City Nation*), l'Agence du numérique va :

- promouvoir la budgétisation forfaitaire pour les systèmes d'information (472 Md¥, soit 3,41 Md€) ;
- soutenir la mise en œuvre de la technologie numérique par les gouvernements locaux par le biais de subventions (166 Md¥ soit 1,2 Md€) ;
- déployer des « facilitateurs de la transformation numérique » à l'échelle nationale.

b) Pour pallier la pénurie de main d'œuvre qualifiée, un ensemble de mesures d'un montant total de 400 Md¥ sur trois ans a été accepté.

c) En ce qui concerne l'éducation, le gouvernement a alloué le montant le plus élevé jamais atteint à ce jour (1 378,8 Md¥, soit 9,96 Md€) pour :

- la promotion de la R&D dans les domaines du numérique, de l'écologie, du quantique, de l'IA, de l'espace et des semi-conducteur ;
- le soutien des doctorants et l'amélioration de leur qualité de vie ;
- la création d'un environnement dans lequel les enseignants peuvent se concentrer sur l'enseignement en mettant à leur disposition du personnel extérieur (17,4 Md¥).

1.6.3 Une nouvelle priorité : construire une infrastructure de base pour le partage et l'utilisation des données de recherche entre les institutions

Une nouvelle catégorie de budget dédié à l'IA est créée, intitulé : « projet de création d'un écosystème de données de recherche pour promouvoir l'utilisation de l'IA et d'autres technologies » dans la catégorie

« Promotion stratégique de la recherche dans des domaines prioritaires tels que la quantique, l'IA et les semi-conducteurs de nouvelle génération ». Une enveloppe d'1 Md¥ (7,2 Md€) est prévue afin de « *lancer un projet visant à promouvoir la recherche et le développement axés sur l'IA et les données en construisant une infrastructure de base pour le partage et l'utilisation des données de recherche entre les institutions, avec une approche transdisciplinaire, en conciliant les plateformes de données celles de domaines différents qui sont en cours d'élaboration* ».

1.7. Évaluation des résultats de la stratégie en IA lancée en 2017

En 2021, le *Cabinet Office* (CAO) a publié un document²¹⁸ faisant état de l'avancement de la stratégie AI 2019, dans lequel le gouvernement évalue le taux d'avancement de chacun des axes prioritaires ainsi que les progrès de l'année 2020 par ministère.

1.8. Les programmes développés par les universités sur l'IA

La révision de la stratégie 2021 prévoit :

- le développement des universités qui proposent des sujets liés aux sciences de l'information en mettant davantage l'accent sur les subventions aux universités privées d'ici à 2024 ;
- la mise en place d'un examen permettant d'obtenir un « passeport informatique » pour les étudiants ;
- le renforcement de la coopération avec les entreprises, qui fournira et partagera ses données réelles avec les universités et enverra ses salariés pour y enseigner;
- la mise en place dans les collèges techniques de cursus de mathématiques, science des données et IA ;
- l'organisation d'un consortium d'universités et de collèges techniques en mathématiques et en sciences des données, ainsi que le développement d'un système de soutien éducatif à l'échelle nationale ;
- la mise en place de plusieurs nouveaux types de programmes éducatifs misant sur la diversité des matières proposées, et mesure de leur efficacité ;
- la mise en place de programmes de doctorats interdisciplinaires compétitifs à l'échelle internationale afin de favoriser l'émergence d'un

²¹⁸ Ce document est accessible sur le site internet du *Cabinet Office* : <https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/index.html> (en Japonais)

corps enseignant, l'emploi de professeurs étrangers et le développement de doubles diplômés.

Bien que les axes « éducation » et « recherche et développement » montrent un taux élevé d'avancement de respectivement 92 % et 94 %, le gouvernement considère toutefois que les effets des mesures n'ont pas encore été pleinement observés en ce qui concerne le développement des ressources humaines, la compétitivité industrielle, et la réalisation d'une société durable.

Concernant l'éducation : depuis la formulation de la stratégie AI 2019, le gouvernement japonais annonce des progrès dans la sécurisation d'un terminal pour chaque élève et affirme continuer à développer des méthodes éducatives qui utilisent les TIC. Le gouvernement entend désormais intensifier ses efforts pour assurer la présence d'enseignants qualifiés.

En matière d'enseignement supérieur, le système d'accréditation des programmes d'enseignement des mathématiques, des sciences des données et de l'intelligence artificielle a été mis en place pour accréditer d'excellents programmes d'études, et les candidatures ont ainsi débuté en mars 2021. Conformément aux recommandations gouvernementales, les universités ont créé des facultés et des départements liés à la science des données et à l'IA. Le gouvernement souhaite désormais promouvoir ce système d'accréditation en impliquant l'industrie.

Concernant la restructuration de la R&D : au cours des deux années qui se sont écoulées depuis la formulation de la stratégie AI 2019, le SCAIT a renforcé la collaboration entre les différents centres liés à l'IA et a mis en œuvre des plans d'action pour la formation et l'acquisition de ressources humaines ainsi que l'amélioration de l'environnement de recherche. Par ailleurs, le réseau japonais *AI Japan R&D network* a été créé pour promouvoir la coopération entre les universités et les institutions de recherche publiques activement engagées dans la R&D en IA, pour diffuser des informations et pour échanger des points de vue entre chercheurs. Le RIKEN, le NICT et l'AIST ont renforcé leurs ressources informatiques, des procédures administratives en anglais ont été introduites et des symposiums communs avec des organisations étrangères ont été organisés.

1.9. Les priorités scientifiques développées par les instituts de recherche

Le RIKEN AIP vise à être le leader mondial de la recherche théorique en IA. Ce centre travaille principalement sur des techniques d'apprentissage automatique qui peuvent être appliquées dans des domaines où il n'est pas possible de collecter une grande quantité de

données, sur l'établissement d'un système théorique pour l'apprentissage profond et sur de nouvelles techniques permettant de dépasser les limites de l'apprentissage profond.

Le NICT se concentre sur le traitement du langage naturel en utilisant des bases de données massives (*big data*), sur la traduction multilingue et sur le traitement de la parole, notamment au service des étrangers d'Asie visitant ou vivant au Japon. Un des objectifs du NICT est la réalisation d'une interprétation simultanée qui saisit le contexte et les intentions de l'orateur, ainsi que le développement de données linguistiques pour une plus grande précision et multidisciplinarité. Une démonstration de cette technologie est prévue lors de l'Exposition universelle d'Osaka en 2025.

L'AIIRC se focalise sur le lien entre la technologie et la société ainsi que sur les applications de l'IA dans le monde réel.

Enfin, le *National Institute for Environmental Studies* (NIES) travaille avec les instituts préfectoraux de recherche agricole et le secteur privé pour développer la recherche sur l'IA répondant à des problèmes régionaux, notamment de gestion agricole.

2. Les acteurs privés

2.1. Les acteurs privés, interlocuteurs des pouvoirs publics (fédérations et groupements d'entreprises, fondations etc.)

Plusieurs associations et groupes de réflexion sur l'IA se sont créées au Japon.

La plus importante et plus active est la *Japanese Society for Artificial Intelligence* (JSAI) fondée en 1986. La JSAI a été à l'initiative de l'organisation de nombreux événements japonais et internationaux, ou encore de levées de fonds pour le financement de projets. Elle est soutenue par la quasi-totalité des entreprises japonaises travaillant avec l'IA : NEC, IBM Japan, Nissan, Panasonic, NTT, Softbank.

La *Whole Brain Architecture Initiative* (WBAI) est une organisation à but non lucratif dont l'objectif est de soutenir et de promouvoir les activités de recherche et de développement visant à réaliser une intelligence artificielle générale (AGI). Elle est notamment soutenue par Toyota, Panasonic et Toshiba.

La *Japan Deep Learning Association* (JDLA) est une organisation à but non lucratif, visant la technologie d'apprentissage profond. Parmi ses membres : NVIDIA, Abeja, Brianpad et Deepcore.

La *Japan Robot Association* (JARA) a pour objectif l'industrie de la fabrication de robots. Elle regroupe 1 122 entreprises (Fanuc, Fuji, Cyberdyne, Hitachi, DMG Mori , etc.).

En ce qui concerne les véhicules autonomes, les entreprises du domaine mettent en place des alliances. Afin de traiter les aspects de sécurité des voitures connectées, les 10 constructeurs automobiles les plus importants du pays, dont Toyota, Nissan et Honda, ont décidé de mettre en place un échange d'informations sur le sujet de la cyber-sécurité.

2.2. La cartographie des forces industrielles (start-up, grandes entreprises, etc.)

Le Japon, tout comme l'Europe, ne possède pas d'acteur du numérique de l'envergure des géants américains (GAFAM) ou chinois (BATX). Bien que la culture des start-up soit encore récente au Japon, quelques-unes émergent cependant :

- *Preferrend Networks* : créée en 2014, cette start-up tokyoïte a levé 130 M\$ auprès de Toyota, Hitachi et Fanuc pour l'Internet des objets (IoT) ;
- Abeja : créée en 2012, Abeja (également à Tokyo) a levé 45,4 M\$ auprès d'une liste d'investisseurs dont Google et Nvidia pour créer des analyses de *big data* axées sur les données des capteurs IoT ;
- Cinnamon : créée en 2012, la start-up de Tokyo Cinnamon a levé un total de 17 M\$. Cinnamon fournit un algorithme qui peut interpréter et comprendre le texte et l'écriture manuscrite ;
- Ubie : fondé en 2017, Ubie fournit un programme de questionnaire médical s'appuyant sur l'IA. En janvier 2020, plus de 200 institutions médicales au Japon utilisaient ce produit ;
- *Ascent Robotics* : créée en 2016, la société *Ascent Robotics*, basée à Tokyo, a levé 17,9 M\$ pour construire des logiciels pour véhicules autonomes et robots industriels ;
- Alpaca : fondé en 2016, Alpaca développe des plateformes de systèmes financiers alimentées par la collaboration de l'IA et des ressources humaines ;
- *UEI Corporation* : fondée en 2003, *UEI Corp.* offre des consultations en *deep learning*, du matériel *hardware* pour la recherche en intelligence artificielle et des jeux de données pour l'apprentissage automatique. La start-up compte parmi ses clients NTT Docomo, *Sony Computer Science Laboratories*, *Sumitomo Electric Information Systems Co.*, DENTSU, Nintendo ou encore Microsoft Japan ;

- *LeapMind* : propose des technologies logicielles de *deep learning* adaptées à différents usages : conduite autonome, entretien d'infrastructures, détection d'anomalies, internet des objets, etc.

Mais les grands groupes historiques de l'industrie et du numérique restent les acteurs majeurs, dont :

- Panasonic : l'électronique de consommation, la maison intelligente, l'automobile et le B2B ;
- Toshiba : la filiale du groupe Toshiba (dénommée *Toshiba Digital Solutions*) offre un service d'analyse utilisant du *deep learning* et de l'analyse de données appelée « SATLYS » ;
- Hitachi : l'IA est orientée vers l'optimisation des opérations ou services d'une entreprise ;
- NTT : la recherche est disséminée dans les laboratoires de ses filiales, au Japon ou à l'étranger ;
- NEC : l'entreprise NEC est principalement connue dans le domaine de l'intelligence artificielle pour sa marque *NEC The Wise*, un portfolio de technologies destinées à augmenter la créativité humaine ainsi que pour sa technologie de reconnaissance faciale *Neoface* ;
- Softbank : le groupe est un conglomérat propriétaire d'ARM, le fabricant de processeurs, et jusqu'en 2021 de Boston *Dynamics* (racheté par *Hyundai Motor Group*). Il a aussi investi dans les start-up *Mythic* (puces électroniques pour IA), *Brain* (robotique autonome), *TwoXar* (recherche pharmaceutique), *Nauto* (véhicules autonomes) ou encore *Plenty* (agriculture assistée par IA). Toujours dans le secteur des puces électroniques et des processeurs, le groupe a acheté pour 4 Md\$ de parts dans l'entreprise *Nvidia*. Il y a quelques années, le groupe avait racheté l'entreprise de robotique française *Aldebaran* et avait développé le robot humanoïde *Pepper* ;
- Sony : ses recherches remontent aux années 2000 et sont connues comme le robot *Aibo* ;
- Toyota : Toyota s'intéresse aux possibilités offertes par l'IA pour les taxis. D'autres compagnies automobiles comme *Honda* ou *Nissan* misent également sur les véhicules autonomes ;
- Fujitsu : l'entreprise est le troisième fournisseur mondial de services informatiques, très variés, de la production de semi-conducteurs aux services de conseil, en passant par la vente de serveurs, postes de travail, logiciels et autres périphériques informatiques et de télécommunications. Le groupe compte l'entité *Fujitsu Laboratories Ltd.* qui regroupe les activités de recherche et développement. Le

groupe a identifié l'IA comme l'une des « Huit Technologies Émergentes qui dirigeront le monde ».

2.3. Les dispositifs mis en place par les pouvoirs publics pour encourager/orienter les investissements des entreprises vers l'IA

Un programme japonais SBIR (*Small Business Innovation Research*) est utilisé pour augmenter les opportunités budgétaires pour les start-up de R&D.

Bien qu'il accorde également des subventions à divers secteurs, le régime japonais d'incitation à la R&D est constitué principalement de son système de crédits d'impôt.

La réforme fiscale d'avril 2021 apporte des changements significatifs, avec une orientation claire vers plus de générosité pour motiver les entreprises à augmenter leurs dépenses en R&D. Ces activités sont validées par l'utilisation de dépenses de recherche qualifiées, ou QRE. La définition des QRE est assez large : elle inclut le coût des matériaux et les salaires du personnel possédant des connaissances et des compétences spécialisées et travaillant exclusivement sur des activités de R&D, ainsi que toute autre dépense directement liée à la réalisation de la recherche, y compris, pour la première fois, les entrepreneurs extérieurs au Japon. Les réformes de 2021 ont également libéralisé la définition de QRE pour y inclure les logiciels internes utilisés pour fournir des services de *cloud* aux clients. Une déduction pour amortissement est également prévue pour les machines et équipements utilisés dans le cadre des travaux de R&D.

Élément central de la nouvelle loi fiscale, le plan d'incitation à l'investissement dans les technologies numériques (DX) rend les investissements liés aux DX d'un montant maximal de 30 Md¥ (environ 300 M\$) admissibles à un amortissement spécial de 30 %, ou à un crédit d'impôt pouvant aller jusqu'à 5 %. Les domaines d'investissement autorisés comprennent les logiciels, les machines et les équipements qui contribuent à améliorer la productivité, ainsi que le développement du marketing. L'incitation devrait initialement être offerte jusqu'à la fin de l'année fiscale 2023.

2.4. Comment les acteurs privés et les forces industrielles sont-ils impliqués dans la stratégie nationale en IA ?

Les acteurs privés et forces industrielles sont impliqués dans la stratégie japonaise en participant à divers programmes de recherches et développement. Dans le programme *Strategic Innovation Promotion Program* (SIP), chaque thématique est découpée en plusieurs projets dont les acteurs sont souvent issus du public et du privé. À titre d'exemple :

Pour le projet *Big-data and AI-enabled Cyberspace Technologies* :

- le sous-projet *Research and Development of Tailor Made Education Based on Evidence* implique, outre les universités de Tokyo, Kyoto, Keio et Kyushu, des entreprises telles que deux filiales de NTT : *NTT Communications Corporation* et *NTT Learning Systems Corporation* ainsi que l'entreprise Assemblage ;
- le sous-projet *Research on a platform to realize data utilization and service provision of cross-domain and cross-organization* est dirigé par Masazumi Hirono ingénieur en chef chez Hitachi et implique les entreprises Hitachi, Ltd., SB Technology Corp., NEC Corporation, Fujitsu Limited, et Info Lounge Corporation ;

Pour le projet *Cyber Physical Security for IoT Society* :

- le sous-projet *Technologies for confirming trustworthiness through monitoring of authenticity and integrity of IoT devices* inclut NTT et NEC ;
- le sous-projet *Construction & Distribution of Trustworthy Chain* technology implique également Hitachi, NEC Corporation et KDDI Research.

Le projet *Automated Driving for Universal Services* est dirigé par Kuzumaki Seigo, superviseur au département du développement technologique des véhicules chez Toyota.

Le projet *Smart Logistics Service* est dirigé par Yorimasa Tanaka Yamato, manager chez *Yamato Holdings*, entreprise japonaise à qui appartient la filiale spécialisée dans le transport et la logistique *Yamato Transport*.

Par ailleurs, le gouvernement fait appel aux entreprises pour qu'elles partagent leurs données avec les universités et laboratoires de recherche du pays afin de former sur des données réelles. Il est demandé aux entreprises d'envoyer certains de leurs salariés enseigner dans ces universités et collèges.

3. Le partenariat public-privé

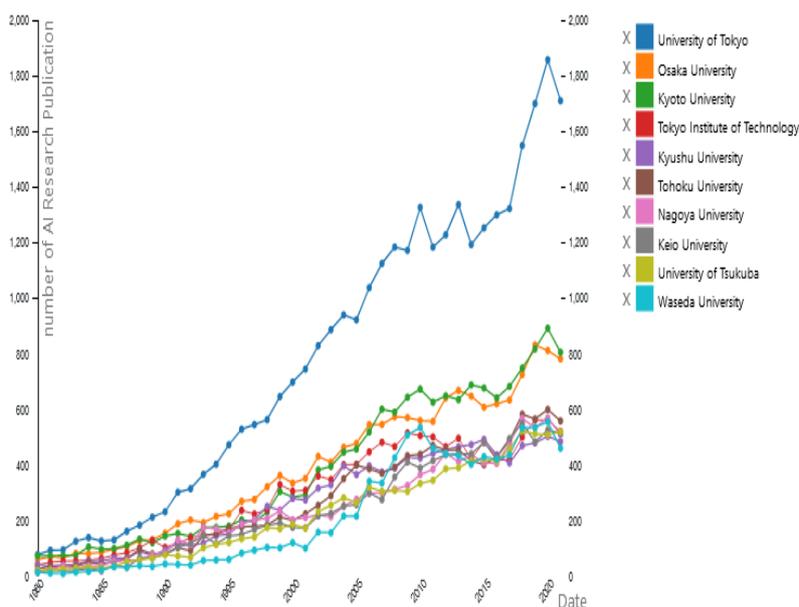
3.1. Les centres de recherche, publics et privés en pointe et les domaines d'excellence de ces centres en matière d'IA

Les centres de recherches publics principaux reliés aux ministères (cf. 1) sont les suivants : le centre de recherche sur l'intelligence innovante intégrée (AIP) du RIKEN, le centre de recherche sur l'intelligence artificielle (AIRC) de l'IAIST, l'institut de recherche sur les

communications universelles (UCRI) du *National Institute of Information and Communications Technology* (NICT) et le centre de recherche sur l'intégration de l'information et des communications du cerveau (CiNet). Le supercalculateur Fugaku du Riken, offre de hautes performances dans les "opérations de convolution", qui sont au cœur de l'apprentissage profond.

Les laboratoires publiant le plus en Intelligence artificielle sont ceux des universités japonaises les plus prestigieuses, les chercheurs des centres précédemment cités ont souvent une double affiliation avec une université.

Schéma n° 6 : nombre d'articles scientifiques publiés dans le domaine de l'Intelligence artificielle par les 10 institutions les plus prolifiques depuis 1980 x



Source : OCDE.AI

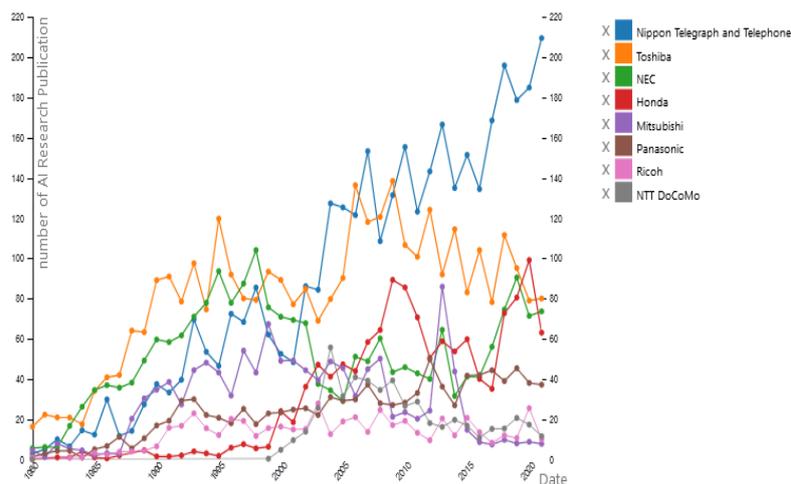
En ce qui concerne les entreprises privées, le Japon place 12 entreprises parmi les 20 ayant déposé le plus de brevets en IA depuis les années 1950. On y retrouve notamment Toshiba (3^e), NEC (5^e) ou encore Fujitsu (6^e). Cela témoigne du *leadership* dont font preuve les acteurs privés japonais depuis plusieurs décennies sur la scène internationale. Cette prééminence concerne en particulier les secteurs des transports (Toyota,

Mitsubishi), des télécommunications (Sony, Panasonic, NEC, NTT) et de la gestion/publication de documents (Toshiba, Canon). On pourra également relever que la technologie de reconnaissance faciale de NEC (*NeoFace*) est classée première au test annuel réalisé par le *National Institute of Standards and Technology*. En matière de robotique, *Softbank Robotics* développe des robots humanoïdes pour des applications grand public et professionnelles dans les domaines de l'éducation, des affaires et de l'usage personnel. L'entreprise possède un bureau à Paris. En ce qui concerne les systèmes de navigation autonome, un consortium composé de *Mitsubishi Shipbuilding Co.* et de *Shin Nihonkai Ferry Co.* et soutenu par la *Nippon Foundation* a effectué avec succès une démonstration du premier système de navigation entièrement autonome au monde sur un grand car-ferry à grande vitesse. Ce type de technologie permettrait à terme de réduire le personnel nécessaire à la navigation de bâtiments maritimes, civils ou militaires.

Enfin, certains laboratoires en partenariat public-privés ont vu le jour ces dernières années :

- le *NEC-AIST AI Collaborative Research Lab*, créé en 2016, mène des recherches sur la découverte d'évènements rares ;
- le *Panasonic-AIST Advanced AI Collaborative Research Lab*, créé en 2017, travaille sur la robotique, le traitement du langage naturel et en IA et la santé ;
- le *Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University (OIST)* a signé en 2018 un MoU avec la filiale de Softbank « *Deepcore AI incubator* », afin de favoriser les grandes innovations en matière d'intelligence artificielle.

Schéma n° 7 : nombre d'articles scientifiques publiés dans le domaine de l'Intelligence artificielle par une entreprise japonaise depuis 1980



Source : OCDE.AI

3.2. Les structures et instruments pour favoriser le transfert de technologie vers les domaines d'application

L'AIRC, créée en 2015 par le METI, a pour mission d'offrir un cadre au partage d'expertise entre l'industrie, le monde académique et le gouvernement. Une de ses attributions consiste à promouvoir le partage de données qui ne peuvent être rendues publiques par les entreprises et les universités.

Enfin, le Centre de conception de l'architecture numérique (*Digital Architecture Design Centre*), créé en mai 2020, travaille sur des spécifications techniques communes (architectures) qui serviront de base pour promouvoir la mise en relation et l'utilisation des données entre entreprises et d'autres entités. Il dirigera notamment des projets à la demande du gouvernement.

3.3. Les initiatives en matière de formation et de financements pour favoriser la diffusion de l'IA vers le secteur économique

La stratégie de 2021 prévoit la mise en place d'un programme d'éducation en collaboration avec l'industrie pour développer des ressources humaines hautement qualifiées, la promotion du projet *Smart* pour l'administration municipale et le soutien des efforts du secteur privé

pour accroître la productivité, créer des *clusters* de start-up et renouveler la structure industrielle.

4. Le cadre général pour le développement de l'IA et son usage

4.1 Le Comité de délibération sur l'IA et la société humaine

Le Comité de délibération sur l'IA et la société humaine (*Advisory Board on Artificial Intelligence and Human Society*) a été créé en mai 2016 à l'initiative du ministre d'État chargé de la politique scientifique et technologique. L'objectif était alors d'évaluer les différentes questions sociétales qui pourraient être soulevées par le développement et le déploiement de l'IA. Le comité consultatif est composé de 12 membres ayant des formations diverses dans des domaines tels que l'ingénierie, la philosophie, le droit, l'économie et les sciences sociales. Son rapport final sur l'intelligence artificielle et la société humaine a été publié en mars 2017 et a traité les questions suivantes :

1) éthiques : trouver un équilibre entre les décisions humaines et les décisions basées sur l'IA, en fonction des situations ;

2) juridiques : la protection de la confidentialité des informations ;

3) économiques : mobiliser la main-d'œuvre nécessaire, revitaliser l'économie et prévenir les disparités économiques ;

4) éducatives : avantages et limites des technologies actuelles de l'IA, utilisation correcte des technologies de l'IA et collaboration entre les humains et l'IA ;

5) sociales : créer un espace de dialogue afin de faciliter les dispositions contre le déséquilibre des coûts sociaux liés à l'IA ;

6) relatives à la recherche et au développement (R&D) : éthique professionnelle irréprochable, cybersécurité et protection de la vie privée, questions sociétales à l'avenir, observer l'acceptation sociale, créer un environnement qui soutienne la science ouverte.

4. 2. La prise en compte des enjeux éthiques liés à l'IA par les pouvoirs publics et par la société

Après avoir rendu son rapport en 2017, le Comité de délibération sur l'IA et la société humaine n'a plus été actif. D'autres instruments ont pris sa place :

- en février 2019, le CSTI a formulé ses principes sociaux pour le développement de l'IA centrée sur l'humain (*Social principles of human centric AI*), repris dans la stratégie nationale de 2019 (cf. partie 2) ;

- en juillet 2021, un groupe d'experts a publié le document « Directives de gouvernance pour la mise en œuvre des principes de l'IA » (*Governance Guidelines for Implementation of AI Principles*). En janvier 2022, ces directives ont été amendées et une version 1.1 du document publié.

Le gouvernement japonais a donc la volonté affichée de rendre l'intelligence artificielle digne de confiance, éthique et explicable. En effet, l'IA en général et la robotique en particulier sont considérées comme des solutions au déclin de la population et au manque de main d'œuvre, il est donc nécessaire que la population accepte la présence quasi constante de cette technologie.

4.3. Les autres initiatives pour l'acceptation des technologies IA par la société (cadre juridique, éthique)

Le Japon est actif dans les discussions sur l'éthique conduites dans des cadres internationaux tels que l'OCDE, l'Unesco ou le Partenariat mondial sur l'IA (GPAI) dont il prendra la présidence en 2023, après la France. Lors du sommet du G20 à Osaka (juin 2019), les membres du G20, sous l'impulsion du Japon, ont adopté les *G20 AI principles*²¹⁹ : des principes non contraignants rédigés lors du « G20 commerce et économie digitale » à Tsukuba en juin 2019 et dérivés des recommandations de l'OCDE sur l'IA. Ces *G20 AI principles* font la promotion d'une IA centrée sur l'humain, respectant l'éthique et les valeurs démocratiques, transparente, explicable, sûre et responsable.

Sur le volet des échanges de données, le Premier ministre japonais Shinzo Abe a introduit début 2019 le concept de *Data Free Flow with Trust* (DFFT). Ce concept promeut l'interopérabilité des données entre différents pays, afin que le partage de celles-ci permette le développement de solutions IA plus performantes et de plus grande confiance. La déclaration finale du G20 a repris ce concept et lancé le *Osaka Track*, processus visant à trouver un cadre de régulation de l'économie digitale, en particulier sur les échanges de données internationaux.

Une décision d'adéquation des systèmes de protection des données a été adoptée en janvier 2019, entre le Japon et l'UE.

En décembre 2020, le gouvernement a compilé la politique fondamentale sur les réformes pour la réalisation d'une société numérique. Dans ce document, la vision de la société numérique est « *une société où les gens peuvent choisir des services qui répondent à leurs besoins* ».

²¹⁹ <https://www.mofa.go.jp/files/000486596.pdf>

individuels et s'épanouir grâce à l'utilisation de la technologie numérique ». Il s'agissait de réviser la Loi fondamentale sur les technologies de l'information et de créer une Agence du numérique : la législation correspondante a été adoptée en mai 2021 et l'agence numérique établie en septembre de la même année.

Cependant, malgré l'implication du gouvernement sur ces sujets au niveau national (à travers les initiatives mentionnées précédemment) et à l'international (*via* l'OCDE, l'Unesco et le GPAI), certaines pratiques restent encore contestées. Il en va par exemple de la reconnaissance faciale dont la législation balbutiante peine à faire respecter les droits des citoyens, allant parfois à l'encontre des principes éthiques formulé par le CSTI²²⁰.

La nouvelle stratégie de 2021 prévoit l'établissement et la maintenance d'une infrastructure de liaison de données de confiance qui permet la reconnaissance mutuelle internationale avec les États-Unis, l'Europe et d'autres pays, ainsi que la mise en place d'un cadre de normalisation internationale du cycle de vie de l'IA, prenant en compte la qualité des données et la qualité de l'IA.

Au sujet des véhicules autonomes, le gouvernement se fixe pour objectif d'aboutir à une harmonisation des normes à l'échelle internationale afin de lever les obstacles à l'exportation des modèles japonais à l'étranger. Les domaines de normalisation concernent notamment : les cartes, la communication, l'ergonomie, la sécurité et les technologies de reconnaissance. À cette fin, le Japon tente de se positionner comme leader international de la normalisation en matière de véhicule autonome, notamment au sein du comité ISO/TC204 dont le Japon préside deux des treize groupes de travail (« technologies de bases de données » et « systèmes de contrôle et d'alertes des véhicules »). Le Japon co-préside, par ailleurs, le sous-comité sur la conduite autonome au sein de l'*UN World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation* (WP29) et le comité technique où sont examinés les standards des pilotes automatiques.

4.4. La prise en compte les enjeux environnementaux et de réduction des inégalités (biais) dans le développement de l'IA

La stratégie AI 2021 charge le consortium *Green x Digital* de réfléchir à l'utilisation des technologies liées à l'IA pour limiter l'émission du CO₂ et se penche sur l'utilisation de matériaux semi-conducteurs de nouvelle génération tels que le nitrure de gallium (GaN). De plus, un des objectifs de la stratégie 2021 est la diffusion de l'utilisation de machines

²²⁰ Principe de respect des données personnelles : les informations personnelles des citoyens ne doivent pas être distribuées ou utilisées sans leur accord.

capables d'anticiper et de produire de manière autonome « juste à temps » et « à la demande », afin de limiter la production de déchets. Enfin, le volet « mobilité » de la stratégie prévoit de minimiser le besoin de transport afin de limiter leur impact environnemental. En ce qui concerne la réduction des biais, la stratégie 2021 identifie le développement d'IA explicables et la promotion de femmes à des postes de directions comme des priorités.

5. L'état de la coopération franco-japonaise en IA. Les domaines et les approches/instruments (AMI, AAP communs, etc.) à recommander afin de « pousser davantage cette coopération »

5.1. Les structures communes

Parmi les neuf *International Research Lab* (IRL, ex-UMI) présents au Japon, deux d'entre eux ont des activités de recherche en lien avec l'intelligence artificielle :

- le JFLI (*Japanese French Lab of Informatics*) : il a été fondé en 2009. Les partenaires côté français sont le CNRS, Sorbonne Université et l'Université Paris-Saclay (depuis 2012) ; côté japonais, les partenaires sont le NII (*National Institute of Informatics*), l'Université de Tokyo (*Graduate School of Information Science and Technology*) et l'université de Keio. L'entité est hébergée par le NII à Tokyo, avec des bureaux annexes aux universités de Tokyo & Keio ;
- le JRL (*Japanese Robotics Lab*) : il a été fondé en 2008. Le CNRS est le partenaire français de cet IRL, avec l'AIST côté japonais. Cet IRL est hébergé par l'AIST à Tsukuba.

Inria possède plusieurs accords de partenariat portant (au moins en partie) sur la thématique de l'intelligence artificielle, en particulier avec le NII, le NICT et l'AIST.

5.2. Les appels à projets communs

L'ANR (Agence Nationale de la Recherche), la JST et la DFG (agence de financement de la recherche en Allemagne) ont signé un accord pour lancer un appel à projet trilatéral en IA, ouvert à l'été 2019. 36 dossiers (trilatéraux) ont été soumis et les neuf projets lauréats sont financés pour une durée de cinq ans. Le budget total de l'appel est de 2.5 M€ par agence. D'autres projets sont en préparation.

5.3. Les perspectives

Par de nombreux aspects (pas de géants du numérique, volume des données, capacités d'investissements, l'humain au centre des réflexions, contexte géopolitique, risques sanitaires et naturels), le contexte de la recherche et de l'innovation en IA au Japon est différent de la Chine et des

États-Unis et proche de celui de la France, et plus largement de celui l'Europe. Le concept d'« Indopacifique libre et ouvert », qui modèle largement aujourd'hui la diplomatie japonaise rejoint des préoccupations européennes. Dans ce contexte, le développement de la collaboration entre la France (*a fortiori* l'Europe) et le Japon est stratégique.

6. Conclusion : forces et faiblesses de l'écosystème japonais en IA

L'industrie japonaise de l'intelligence artificielle n'est pas la plus compétitive à l'échelle mondiale : environ 2 % uniquement des articles de recherche publiés sur l'IA proviennent du Japon.

Mais le Japon bénéficie du lien fort qui existe entre le public et le privé, illustré par un réel partage de données des entreprises vers les universités. Les prouesses et l'investissement du Japon dans les technologies de *hardware* (IoT, robotique, mobilité) induisent un besoin vital de main d'œuvre qui fait défaut. La réforme de l'éducation envisagée à tous les niveaux, qui vise ainsi non seulement à former des ressources humaines hautement qualifiées en Intelligence artificielle, mais également à habituer les citoyens à la présence constante de celle-ci, peut favoriser un nouvel élan, mais à moyen, voire long terme. La flexibilité, la créativité et la résolution de problèmes sont nécessaires pour suivre l'évolution rapide de la société en matière de technologie. Le Japon tente aujourd'hui d'adapter son système éducatif (par exemple, le programme *STEAM* qui vise à stimuler la créativité des étudiants). Néanmoins, la main-d'œuvre qui bénéficiera de ce nouveau système ne sera pas opérationnelle avant une dizaine d'année.

L'intelligence artificielle s'inscrit dans une politique plus large de numérisation de la société. Le gouvernement japonais a étayé sa vision pour le développement de technologies d'IA « centrées sur l'humain » (*human-centric AI*) dans son rapport *Social principles of human centric AI* publié en février 2019, qui reprend sept grands principes éthiques (cf. partie 2).

Le gouvernement japonais a une vision à long terme de l'IA pour résoudre plusieurs problèmes législatifs, économiques et sociétaux comme l'illustrent les programmes SIP (deuxième phase du programme : *Big-data and AI-enabled Cyberspace Technologies / Smart City Architecture Development / Smart City Architecture Design and Promotion of Related Verification Research*) et *MOONSHOT (Goal #3: Realization of AI robots that autonomously learn, adapt to their environment, evolve in intelligence and act alongside human beings, by 2050)*.