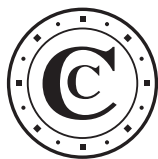


Cour des comptes



ÉVALUATION DES POLITIQUES PUBLIQUES

# LA STRATÉGIE NATIONALE DE RECHERCHE EN INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Une stratégie à structurer  
et à pérenniser

Rapport public thématique

Synthèse

Avril 2023

**■ AVERTISSEMENT**

**Cette synthèse est destinée à faciliter la lecture et l'utilisation du rapport de la Cour des comptes.**

**Seul le rapport engage la Cour des comptes.**

**Les réponses des administrations, des organismes et des collectivités concernés figurent à la suite du rapport.**

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>1</b> Une priorité donnée à la recherche qui a permis d'éviter un décrochage. ....	<b>7</b>
<b>2</b> Un écosystème d'excellence dont la pérennité doit être garantie .....	<b>11</b>
<b>3</b> La stratégie d'accélération, opportunité d'une approche frugale, de confiance et européenne renforcée .....	<b>15</b>
<b>Recommandations</b> .....	<b>19</b>



# Introduction

L'intelligence artificielle (IA) est un concept ancien, qui apparaît dès les années 1950 dans les travaux notamment de l'informaticien britannique Alan Turing. S'il existe un débat sémantique important au sein de la communauté scientifique sur ce que recouvre l'IA et la délimitation de son périmètre, on peut la définir par son objet, qui est de reproduire l'intelligence humaine par l'utilisation de l'informatique et des mathématiques. L'IA s'est surtout développée à partir des années 1980, avec l'émergence de l'apprentissage automatique des algorithmes (*machine learning*). Dans les années 2000, la croissance des capacités de calcul et de l'accès aux données a favorisé le développement des techniques d'apprentissage profond (*deep learning*).

Les applications de l'IA sont aujourd'hui multiples, sources d'innovations et de gains de productivité dans de nombreux secteurs. Il en résulte une croissance constante des investissements économiques observée depuis les années 2010. Selon l'OCDE, les start-up spécialisées dans l'IA ont ainsi attiré près de 12 % du capital-investissement mondial au cours du premier semestre de 2018, par rapport à 3 % en 2011. Les publications de recherche ont connu une tendance similaire, avec plus de 1,2 million de publications en 2019 contre moins de 40 000 en 2010. À côté de ces opportunités, son essor est porteur d'enjeux, notamment éthiques, en particulier en matière de protection des droits des citoyens.

Par conséquent, l'IA est devenue une priorité croissante des autorités publiques. L'adoption, depuis 2017, par de nombreux États de plans nationaux pour encourager son développement en témoigne, et constitue une réponse à la forte compétition qui existe à l'échelle internationale pour accroître le niveau technologique des pays et attirer les meilleurs talents. En France, une stratégie nationale pour l'intelligence artificielle (SNIA) a été lancée en mars 2018, avec pour objectif de positionner la France comme l'un des acteurs majeurs en IA sur l'échiquier mondial. Initialement dotée de 1 527 M€ de financements publics pour la période 2018-2022, elle s'est déployée autour de cinq volets : 1) la recherche, 2) l'enseignement supérieur, 3) la transformation publique, 4) la diffusion dans l'économie, 5) la défense et la sécurité. En novembre 2021, une nouvelle phase de la SNIA dite d'« accélération » a été annoncée pour la période 2022-2025, avec comme objectif de renforcer la compétitivité et l'attractivité de la France dans ce domaine. Cette nouvelle étape s'inscrit dans le prolongement des ambitions de la première phase de la stratégie, et les financements publics qui lui sont alloués correspondent *a priori* à un effort similaire à celui engagé pour la période 2018-2022. Elle a, par ailleurs, été élaborée en accord avec les priorités à l'échelle européenne.

# Introduction

## Ventilation du budget étatique initialement prévu pour la stratégie en IA pour la période 2018-2022

Axes de la stratégie nationale en IA	Financements étatiques prévisionnels (en M€)
Recherche	445
Enseignement supérieur	128
Transformation de l'action publique	154
Économie	390
Défense et sécurité	410
Total	1 527

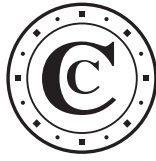
Source : Traitement Cour des comptes d'après données du coordonnateur national de la stratégie IA

Le présent rapport constitue une évaluation *in itinere* de la SNIA. Il porte sur les volets « recherche » et « enseignement supérieur », soit les principaux volets en matière de financement, respectivement d'un montant de 1 527 M€ et de 1 545 M€ dans la première et dans la seconde phase. Sur la période 2018-2022, 445 M€, soit près de 30 % des financements alloués à la stratégie, étaient en effet orientés vers la recherche, contre 134 M€, soit 8,7 %, dans la seconde phase. *A contrario*, les financements prévus pour la période 2022-2025 en faveur de la formation connaissent une nette hausse (50,2 % des crédits alloués, contre 8,4 % dans la phase précédente).

Les questions évaluatives ont été définies en concertation avec les parties prenantes de la SNIA et les autorités publiques chargées de sa mise en œuvre. Elles se sont réparties en quatre grandes interrogations :

- la stratégie nationale de recherche a-t-elle permis de renforcer la position de la France aux niveaux mondial et européen ? [cohérence, efficacité et efficience] ;
- la stratégie nationale de recherche a-t-elle accéléré la structuration de l'écosystème français en IA ? [pertinence et efficience] ;
- la stratégie nationale de recherche des pôles d'excellence est-elle efficace et efficiente ? [efficacité et efficience] ;
- la stratégie nationale de recherche a-t-elle amélioré la prise en compte des enjeux éthiques (IA frugale et de confiance) ? [pertinence, cohérence et efficacité].

Pour y répondre, un travail inédit d'analyse sémantique et d'exploitation de nombreuses bases de données reposant sur des méthodes statistiques et économétriques a été réalisé afin de quantifier et d'apprécier les résultats de la stratégie. Ce volet quantitatif a été complété par de nombreux entretiens semi-directifs et focus groupes, ainsi que par une consultation auprès de chercheurs en IA et un atelier participatif avec des experts du domaine.

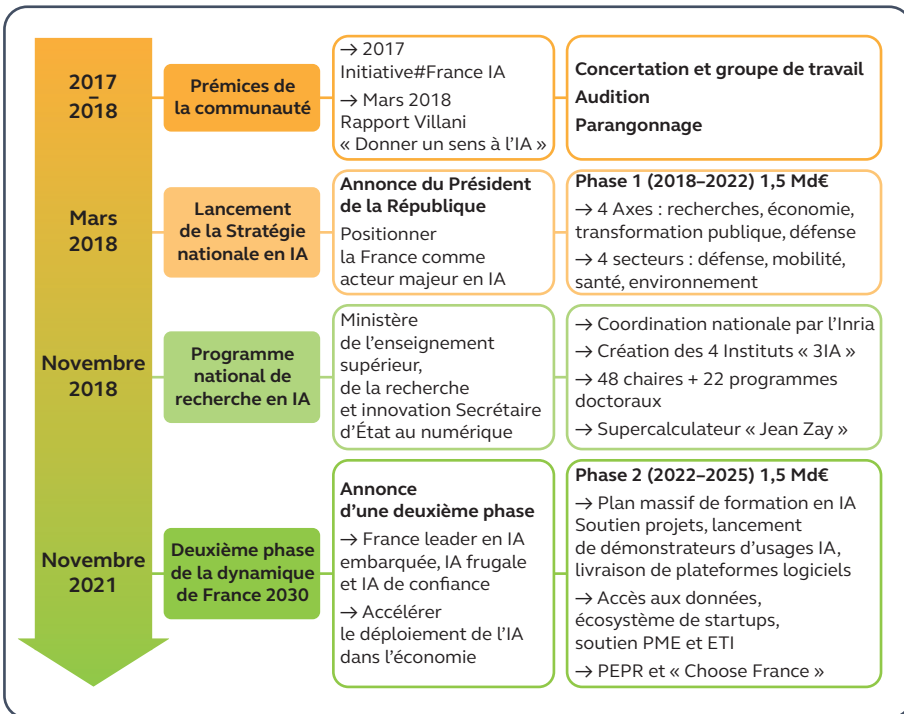


# 1 Une priorité donnée à la recherche qui a permis d'éviter un décrochage

En 2018, la France a été l'un des premiers pays à l'échelle mondiale à s'être doté d'un plan formalisé pour l'IA.

Depuis, des stratégies nationales ou mesures spécifiques ont été élaborées par de nombreux États.

## Les étapes d'élaboration de la stratégie nationale en IA



Source : Cour des comptes

## Une priorité donnée à la recherche qui a permis d'éviter un décrochage

Dans un premier temps, la stratégie française a donné la priorité à la recherche en IA. Outre les 30 % des financements qui lui étaient alloués pour la période 2018-2022, la recherche a ainsi fait l'objet d'un plan spécifique, intitulé « stratégie nationale de recherche en intelligence artificielle » (SNRIA), et dont la coordination a été confiée à l'opérateur Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria). Le parangonnage international réalisé à partir des données de l'OCDE, et l'étude plus spécifique menée par la Cour sur les stratégies ou politiques publiques en matière d'IA de 10 pays<sup>1</sup>, montrent que l'identification de la recherche comme priorité stratégique est le choix le plus fréquent retenu par les États.

Depuis son lancement, la majorité des mesures prévues dans le cadre de la SNRIA ont été mises en œuvre. En formalisant une stratégie, les pouvoirs publics ont donné un signal politique fort sur l'importance de l'IA pour la recherche française. De fait, au-delà même des actions prévues par la stratégie, cette thématique est désormais prégnante dans toutes les réflexions au sein de plusieurs organismes de recherche. L'évaluation, et notamment les analyses économétriques sur les données mondiales, conforte le choix d'adopter un plan stratégique. L'efficacité de la stratégie pour renforcer le positionnement de la France en IA, conformément à l'objectif qui lui était initialement fixé, n'est cependant

pas avérée. Sur la période analysée, en nombre de publications en IA et sur un total de 47 pays comparés, la France conserve difficilement une place au 10<sup>e</sup> rang à l'échelle mondiale et se maintient au 2<sup>e</sup> rang au niveau européen. En raison du temps long de la recherche, les effets concrets de la stratégie sur la production scientifique ne sont néanmoins pas encore appréhendables de manière fiable.

S'agissant par ailleurs des financements mobilisés, ils doivent être davantage suivis afin de mesurer les effets des efforts financiers de cette stratégie en IA sur le rang scientifique de la France et sur la structuration de son organisation. Les moyens alloués à la stratégie ne retracent pas l'exhaustivité de l'investissement public en faveur de l'IA. Sur le volet recherche, 554,6 M€ ont *in fine* été engagés sur la période 2018-2022, sans que l'exécution réelle des crédits soit suivie de manière complète et synthétique.

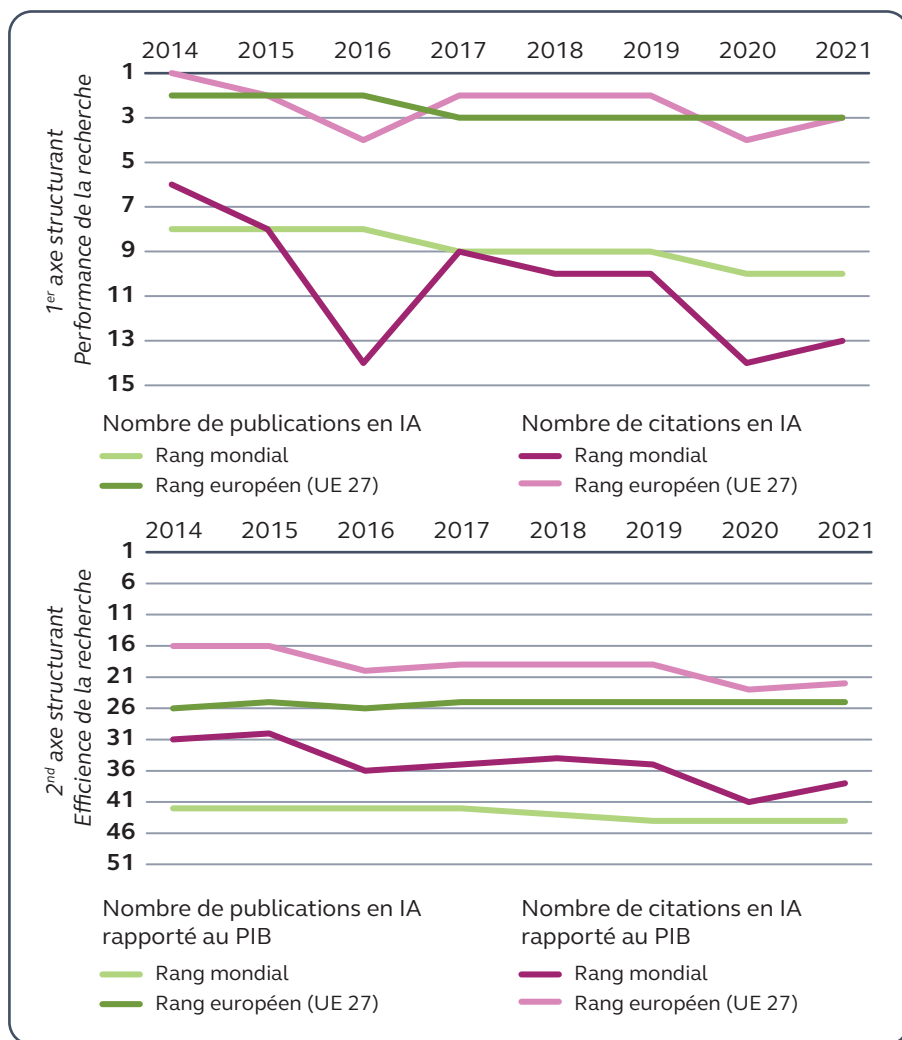
Dans une perspective d'attractivité des talents, certains outils de financement gagneraient à être pérennisés. La grande majorité (+ de 80 %) des crédits a en effet été distribuée *via* des instruments financiers de courte durée, sur une logique d'appels à projets. Or, l'absence de visibilité sur la pérennité de ces guichets de financement est susceptible de créer des effets de rupture dans la formation des jeunes chercheurs (programme doctoral) ou la poursuite des programmes de recherche (chaire académique).

<sup>1</sup> États-Unis, Canada, Allemagne, Finlande, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suisse, Israël, Japon.



# Une priorité donnée à la recherche qui a permis d'éviter un décrochage

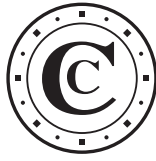
Évolution des rangs de la France dans le monde et en UE à 27 suivant des critères complémentaires et différenciant sur la scène internationale



Source : Cour des comptes

Note de lecture : S'agissant des indicateurs relatifs à l'efficacité de la recherche, il est à noter que la crise de la covid 19 a pu impacter les PIB des pays à compter de 2020. Le suivi des rangs des pays permet de limiter les biais associés à la normalisation par les PIB annuels, comme le montre la relative stabilité des deux séries temporelles concernées sur la période 2019 à 2021.



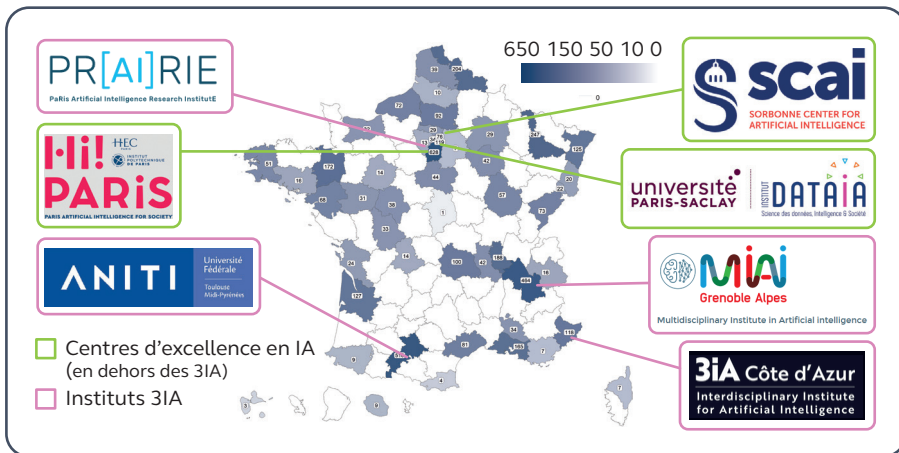


## 2 Un écosystème d'excellence dont la pérennité doit être garantie

L'orientation principale de la stratégie consiste en la constitution de pôles d'excellence en IA<sup>2</sup>, via la labellisation d'instituts interdisciplinaires en IA (3IA), la mise en place de chaires individuelles, puis l'identification de centres d'excellence en dehors des instituts 3IA. Il en ressort un renforcement

de bassins géographiques déjà actifs en intelligence artificielle, une structuration d'un écosystème et un accroissement de la production scientifique des sites sans qu'il soit possible de démontrer l'impact de la stratégie dans cette dernière évolution.

**Implantation des instituts thématiques en IA (3IA PR[AI]RIE, MIAI, 3IA Côte d'Azur et ANITI) et des centres d'excellence (SCAI, DATAIA et Hi! PARIS) en regard des zones historiquement actives dans ce domaine**



Source : Cour des comptes

Note de lecture : L'activité historique en IA est mesurée à travers la répartition départementale des thèses en IA soutenues entre 1989 et 2019 dans les établissements français d'enseignement supérieur à partir des données ouvertes de theses.fr (ABES). Les thèses sont données par année de soutenance. La détection des thèses en IA est réalisée suivant la méthode sémantique développée par la Cour. Les logos des 3IA et des centres d'excellence en IA sont tirés de leurs sites web officiels.

<sup>2</sup> Les « pôles d'excellence » regroupent trois types d'entités : les quatre instituts interdisciplinaires en IA (instituts 3IA) identifiés au cours de la première phase via un AAP spécifique de l'ANR ; les 43 chaires individuelles portées par un chercheur identifié au travers d'un autre AAP spécifique de l'ANR ; les trois autres centres d'excellence, dits « hors 3IA », identifiés par le coordonnateur de la stratégie en 2021, sans faire l'objet d'un AAP et dont les membres peuvent détenir une chaire individuelle.

## Un écosystème d'excellence dont la pérennité doit être garantie

Les synergies entre centres d'excellence doivent être renforcées, en s'inscrivant notamment dans une démarche plus systématique de valorisation réciproque de leurs travaux. Cela contribuerait à améliorer leur visibilité au niveau tant national qu'international, ainsi que l'image de marque de la France pour attirer des talents étrangers.

En parallèle, une clarification des missions des centres d'excellence 3IA et hors 3IA apparaît nécessaire. Les centres d'excellence hors 3IA ont en effet été identifiés après la labellisation des instituts 3IA, et, contrairement à ces derniers, en dehors de tout appel à projets compétitif impliquant un jury indépendant. Les attendus de la puissance publique à leur égard sont dès lors moins explicites, et leur modèle de développement moins contraint par les conditions de financement. Ils sont pourtant impliqués dans la seconde phase de la stratégie au même titre que les instituts 3IA. Cette réflexion doit s'accompagner d'une révision de la temporalité des financements alloués aux instituts labellisés (actuellement

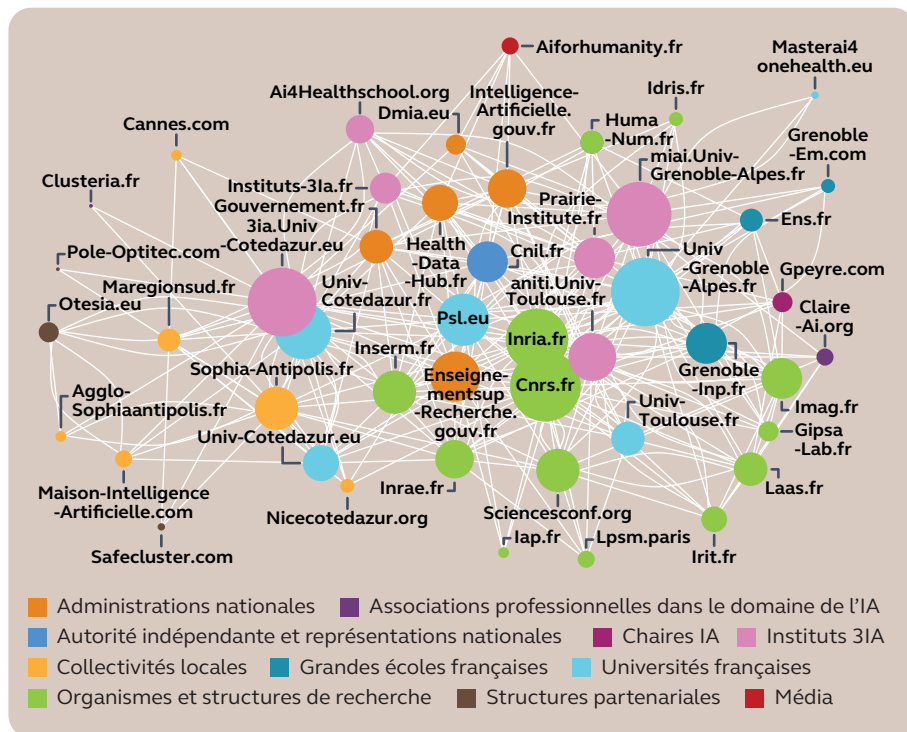
de quatre ans), qui repose sur une logique de trop court terme pour permettre des effets de leviers.

Le manque de visibilité dans le temps des financements associés est aussi identifié pour la formation des jeunes talents au travers des programmes doctoraux et des contrats Convention industrielle de formation par la recherche (CIFRE). Si la stratégie a donné un signal fort pour la favoriser, il importe désormais de pérenniser les financements nécessaires à cette dynamique.

L'évaluation montre que la SNRIA a permis de structurer les acteurs de la recherche en IA, alors que l'IA n'était pas identifiée comme discipline en tant que telle. Cette structuration doit cependant gagner encore en maturité : une comparaison des acteurs français et allemands au travers d'une analyse de réseaux montre que cette structuration s'organise dans notre pays encore majoritairement autour des principaux organismes de recherche, tandis que les sites universitaires et les centres pluridisciplinaires allemands sont plus efficaces dans la structuration de leur écosystème national.

# Un écosystème d'excellence dont la pérennité doit être garantie

Représentation du sous-réseau français résultant des instituts 3IA



Source : Cour des comptes d'après le web et l'outil Hyphe de Sciences Po Paris

Pour améliorer cette articulation entre acteurs, procéder à une adaptation de la gouvernance et du pilotage de la stratégie est nécessaire et urgent. La maquette de performance initialement élaborée n'a *in fine* pas été utilisée. Il n'y a pas de rapport annuel permettant de suivre la marche de la stratégie. Son pilotage, assuré par la coordination nationale, n'est pas en mesure de suivre les étapes de réalisation, de s'assurer des financements et des dépenses, ni de redresser les éventuelles difficultés.

Il s'est affaibli avec le temps et il court le risque d'être inopérant. Aucune gouvernance spécifique n'a été mise en place pour le volet recherche, Inria étant alors le seul opérateur représenté au sein du comité de pilotage global de la stratégie. L'adaptation de la gouvernance pourrait être l'occasion de construire une vision commune et globale de l'action publique en IA, alors que les mesures décidées en ce domaine restent dispersées au sein de plusieurs politiques publiques.





## 3 La stratégie d'accélération, opportunité d'une approche frugale, de confiance et européenne renforcée

Si la stratégie nationale de recherche n'a pas encore permis de renforcer la position de la France au niveau mondial, le premier volet de la stratégie a permis d'éviter un décrochage scientifique depuis 2018. Le second volet est à présent déterminant pour enfin améliorer le positionnement de la France en IA dans la compétition mondiale. Cette « stratégie d'accélération en IA » est recentrée sur l'objectif de formation

des talents en IA, priorité jusqu'ici peu prise en compte. Les financements totaux consacrés à cette priorité s'élèvent à 776 M€, dont 500 M€ pour un volet « excellence » et 276 M€ pour un volet « massification ». Le lancement de l'appel à manifestation d'intérêt « Compétences et Métiers d'Avenir » (AMI CMA) en 2022 constitue l'une des déclinaisons opérationnelles de cet effort.

**Financement du deuxième volet de la SNIA – stratégie d'accélération (en M€)**

En M€	Programme de Recherche	IA décentralisée et embarquée	IA de confiance	Diffusion de l'IA & démonstrateurs d'IA responsable	Compétences et talents	Total
Financement public	134	265	111	259	776	1 545
PIA 4	73	263,5	97,5	123		557
France 2030					700	700
Autres Crédits État et collectivités	61	1,5	13,50	136	76	288
Financement privé		310	105	86	5	506
Union européenne		60	10	16		86
Total	134	635	226	361	781	2 137

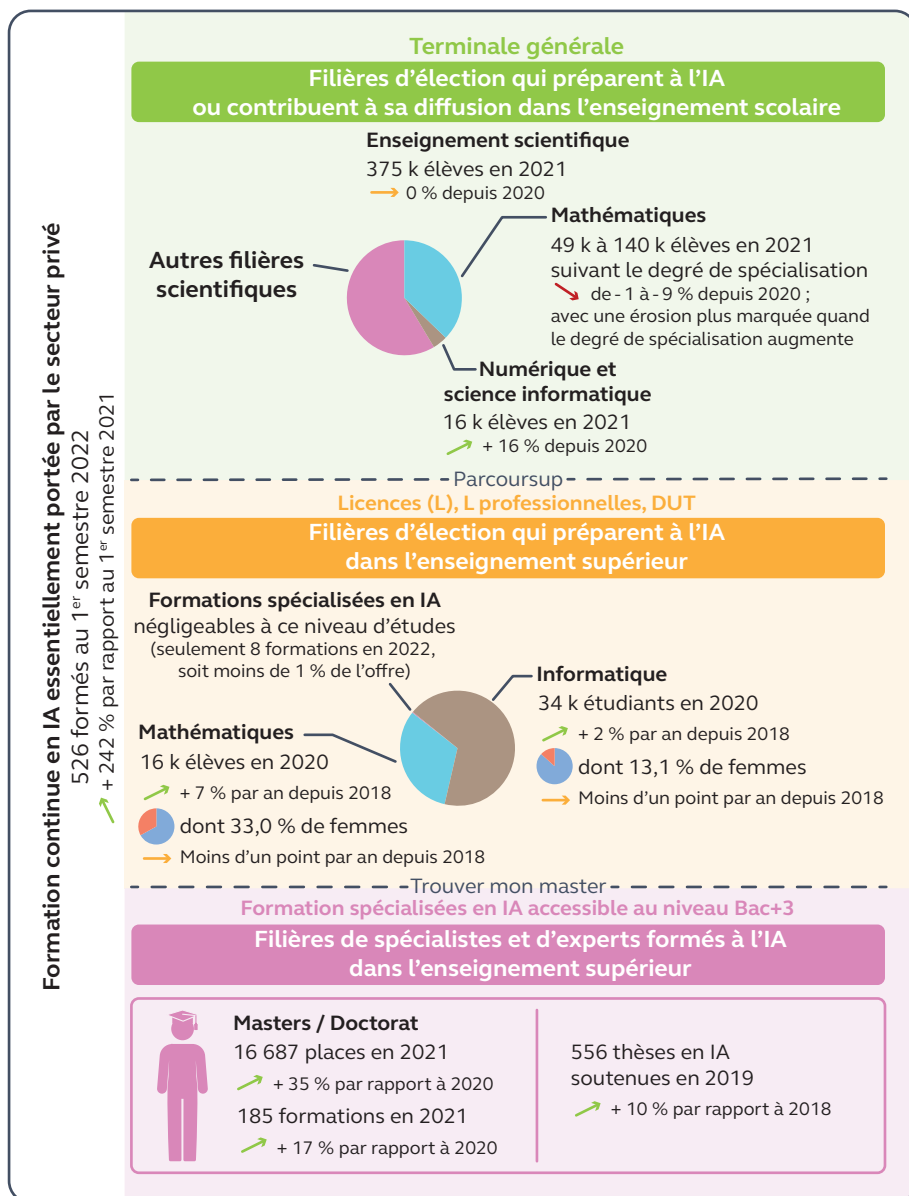
Source : Retraitement Cour des comptes d'après le dossier de presse du 8 novembre 2021 et les données issues du coordonnateur national

Le nombre actuellement limité de formateurs publics de haut niveau pourrait contrarier les ambitions affichées, d'autant plus qu'il existe une tension entre investissement dans l'enseignement et excellence de la recherche.

Le nombre de formateurs spécialisés dans l'enseignement supérieur public est pour le moment sous-dimensionné par rapport aux besoins de formation en IA, tant en formation initiale qu'en formation continue.

# La stratégie d'accélération, opportunité d'une approche frugale, de confiance et européenne renforcée

## Cartographie des formations et croissance des effectifs d'apprenants formés à l'IA ainsi que dans ses filières « amont » d'élection



Source : Cour des comptes à partir des données du MENJS, du MESR ainsi que de la Caisse des dépôts et consignations, avec application de filtres sémantiques pour identifier les formations spécifiques à l'IA. Le terme « k » représente les milliers



# La stratégie d'accélération, opportunité d'une approche frugale, de confiance et européenne renforcée

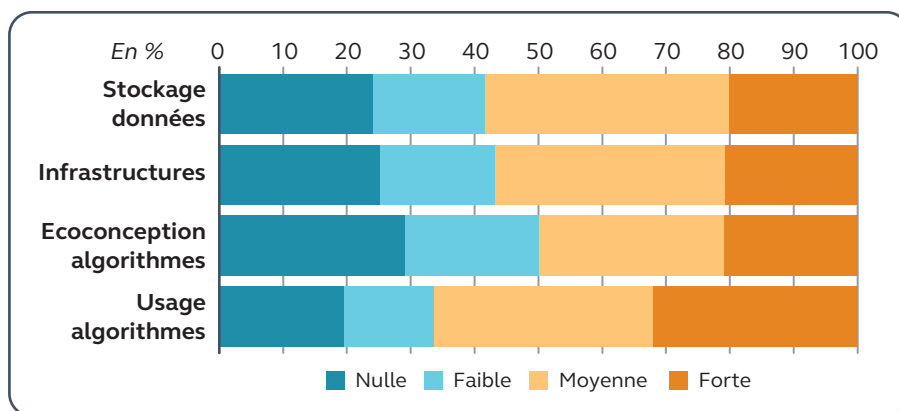
Pour le graphique précédent, l'ordre de grandeur du nombre total d'experts académiques en IA est estimé à partir des éléments communiqués par les opérateurs de recherche et des universités dans le cadre de la consultation opérée par la Cour ainsi qu'à travers les effectifs de personnels enseignants-chercheurs dans les sections universitaires où l'IA prévaut.

L'approche française gagnerait à s'intégrer encore davantage dans l'approche européenne. Divers programmes européens de soutien à la recherche ont pour objet de favoriser le développement de l'IA, dont « Horizon Europe » (près de 100 Md€ au total sur la période 2021-2027) et « pour une Europe numérique » (7,5 Md€ au total sur la même période). En 2018, les

priorités de la stratégie française ont été élaborées en tenant compte du plan européen pour l'IA initié en 2018 et mis à jour en 2021. La phase d'accélération offre désormais l'opportunité de capitaliser davantage sur les efforts menés à l'échelle européenne.

La confiance<sup>3</sup> et la frugalité<sup>4</sup> sont ainsi deux des quatre axes structurants du programme et équipements prioritaires de recherche (PEPR) de 73 M€ adossés à la stratégie d'accélération. Il existe néanmoins un enjeu d'amélioration de la maturité de la communauté scientifique sur ces questions. La consultation des chercheurs en IA opérée par la Cour montre que ces thématiques sont actuellement peu prises en compte dans les travaux de recherche.

## Perception de la prise en compte de l'impact environnemental dans la recherche



Source : Cour des comptes - Consultation de la communauté scientifique en IA

<sup>3</sup> Une intelligence artificielle de confiance se caractérise par son interprétabilité, son explicabilité, sa transparence et une identité « responsable ».

<sup>4</sup> Une intelligence artificielle frugale est durable et respectueuse de l'environnement en cherchant à minimiser sa consommation d'énergie et de ressources.

## La stratégie d'accélération, opportunité d'une approche frugale, de confiance et européenne renforcée

---

Ce sujet se pose avec une acuité particulière concernant la notion de frugalité de l'IA, avec une tension potentielle entre l'économie des ressources et la performance. La frugalité devrait être mieux intégrée aux appels à projets, *via* par exemple l'élaboration d'une charte ou d'un guide de bonnes pratiques.

Sur le volet recherche, les priorités sont recentrées dans cette seconde phase sur l'attractivité des talents et la prise en compte d'enjeux sociétaux, tels que la confiance dans l'IA et la frugalité dans son utilisation. Cette dernière évolution témoigne d'une réorientation du volet recherche, davantage tourné vers la recherche appliquée pour tenir compte de l'essor de l'IA industrielle.

# Recommandations

1. Traduire la politique publique sur l'intelligence artificielle dans un document budgétaire de synthèse qui permettra de la suivre et d'en mesurer les effets (*MEFSIN*).
2. Préciser les missions respectives des centres d'excellence 3IA et hors 3IA, et clarifier en conséquence les financements pluriannuels qui leur sont alloués (*MESR, SGPI*).
3. Établir de manière partagée les objectifs et les indicateurs prioritaires de la politique publique en IA, en lien avec la stratégie européenne (*MEFSIN, SGPI*).
4. Créer un comité scientifique et de pilotage auprès d'Inria, co-présidé par France Universités, pour suivre de manière concertée la mise en œuvre de la stratégie et définir les futures orientations stratégiques (*MESR, Inria*).
5. Réaliser une cartographie harmonisée et actualisée des formations en IA à valoriser au travers d'un label commun pour les rendre visibles et accompagner leur massification (*MESR*).
6. Prévoir les besoins en enseignants du secondaire, en enseignants-chercheurs et en chercheurs formés à l'usage de l'IA et établir des plans de formation en adéquation (*MESR*).
7. Élaborer une charte et un catalogue de bonnes pratiques visant à définir et suivre l'impact environnemental de la recherche en IA, et à favoriser le développement d'une IA responsable (*SGPI, MESR*).

