RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

IGEDD
INSPECTION GÉNÉRALE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Rapport n° 016275-01
Février 2026

Déploiement de l'intelligence artificielle (IA) au sein du pôle ministériel transition écologique, aménagement du territoire, transports, ville et logement

Livrable n°1 : rapport de mission

Christel FIORINA – IGEDD (Coordonnatrice)
Bruno FULDA - IGEDD
Cédric GHESQUIERES - IGEDD
Cédric LOUIS - IGEDD
Jean-François THIBOUS - IGEDD



Les auteurs attestent qu'aucun des éléments de leurs activités passées ou présentes n'a affecté leur impartialité dans la rédaction de ce rapport

Statut de communication	
☐	**Préparatoire à une décision administrative**
☐	**Non communicable**
☐	**Communicable (données confidentielles occultées)**
☒	**Communicable**

Sommaire

Résumé **8**

Liste des recommandations **10**

Introduction **11**

1 ÉTAT DES LIEUX DU DÉPLOIEMENT DE L'IA AU SEIN DU PÔLE MINISTÉRIEL **13**

1.1 Des systèmes experts à l'IA générative, plusieurs approches de l'IA aux capacités distinctes 13

1.2 L'environnement national et interministériel 14

1.3 Le pôle ministériel doit s'organiser pour capitaliser sur la dynamique actuelle 17

1.3.1 Un mouvement interne qui s'est accéléré ces dernières années 17

1.3.2 141 projets recensés à date, la majorité en phase de maturation 17

1.3.3 Un nécessaire passage à l'échelle, rendu difficile par des irritants 18

1.3.4 Une gouvernance partielle 18

2 PARTIR DES BESOINS POUR ÉVALUER LA VALEUR D'USAGE ET PASSER À L'ÉCHELLE **19**

2.1 Cinq grandes familles d'usage sont bien identifiées et les outils d'IA s'améliorent régulièrement pour y répondre 19

2.2 Évaluer systématiquement la valeur des projets IA 20

2.3 Le passage à l'échelle des projets d'IA nécessitera de revoir les processus métiers et un accompagnement managérial fort 22

2.3.1 L'usage de l'IA n'apportera une réelle valeur que s'il s'inscrit dans une démarche de révision et de simplification des processus métier 22

2.3.2 Une action managériale est indispensable pour le passage à l'échelle des projets d'IA et obtenir des gains significatifs 23

3 ADMINISTRATION DE LA DONNÉE : LE PRÉREQUIS STRUCTURANT DU DÉPLOIEMENT DE L'IA **25**

3.1 Comment les autres ministères préparent leurs données à l'IA 25

3.2 Comment les autres ministères administrent leurs données 26

3.3 Comment le pôle ministériel administre actuellement ses données 27

3.4 Comment mieux administrer les données du pôle ministériel au regard du

déploiement de l'IA ? 30

4 MAÎTRISER LES RISQUES TECHNIQUES, ÉTHIQUES, JURIDIQUES ET ORGANISATIONNELS 32

4.1 L'usage de l'IA présente des risques, pour certains nouveaux, que le pôle ministériel a déjà bien appréhendés 32

4.2 L'établissement d'une matrice des risques IA pour le pôle ministériel faciliterait leur hiérarchisation et le suivi des actions de maîtrise associées 33

5 ÉVITER ET REDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES IA : UNE NECESSITE POUR L'ÉTAT, UNE OPPORTUNITE POUR LE POLE MINISTERIEL DE MONTRER L'EXEMPLE 36

5.1 Le développement de l'IAg soulève des enjeux environnementaux croissants 36

5.2 Faire de l'IA responsable un enjeu majeur de la stratégie nationale et le décliner de façon opérationnelle au sein des organisations publiques 37

5.2.1 Doter la stratégie nationale en IA d'objectifs ambitieux en matière environnementale 38

5.2.2 IA responsable : passer de la préoccupation à l'action 38

6 TRANSFORMATION DES MÉTIERS ET DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES 41

6.1 Les méthodes d'évaluation des impacts de l'IA sur les métiers du pôle ministériel existent mais présentent des limites méthodologiques importantes 41

6.2 Les gains de productivité ne seront pas immédiats et leur affectation au profit d'un projet collectif ne va pas de soi 42

6.3 Le dialogue social avec les représentants du personnel du pôle ministériel doit se faire dans un format adapté et à tous les niveaux de l'organisation 44

6.4 Un socle de formation commun obligatoire à l'IA et un accompagnement spécifique des managers sont à engager sans attendre 46

6.5 L'IA nécessitera de constituer des compétences nouvelles et de doter le pôle ministériel d'un réseau de référents formés et accompagnés 47

7 GOUVERNANCE DE L'IA : DOTER LE PÔLE MINISTÉRIEL D'UN PILOTAGE ROBUSTE, DU NIVEAU STRATÉGIQUE AU NIVEAU OPÉRATIONNEL 50

7.1 Prendre appui sur la dynamique en cours pour mobiliser les services du pôle ministériel autour d'une stratégie commune en IA 50

7.2 Doter la stratégie ministérielle en IA d'une gouvernance solide animée à haut niveau par un coordinateur IA rattaché au secrétaire général 51

Conclusion **54**

Annexes **56**

Annexe 1. Lettre de commande **57**

Annexe 2. Liste des personnes rencontrées **61**

Annexe 3. Glossaire des sigles et acronymes **67**

Annexe 4. Apports de l'Inspection augmentée **70**

Annexe 5. Améliorer la productivité grâce à l'IA : une approche avant tout managériale, de transformation des métiers et d'évolution des compétences collectives **74**

Annexe 6. IA et impacts environnementaux **91**

Résumé

Le secrétaire général du pôle ministériel transition écologique, aménagement du territoire, transports, ville et logement a confié à l'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD) une mission visant à évaluer les conditions et le pilotage du déploiement de l'intelligence artificielle (IA) au sein de ses services et des opérateurs sous tutelle. Le présent rapport dresse un état des lieux des initiatives en cours, à l'échelle ministérielle comme interministérielle. Il propose des recommandations pour permettre au pôle de mobiliser au mieux ses moyens humains, techniques et financiers dans le cadre d'une stratégie coordonnée de déploiement de l'IA.

L'IA offre en effet aux organisations des opportunités pour améliorer la qualité et l'efficacité de l'action publique, notamment en automatisant certaines tâches, en transformant les processus de travail ou en développant leurs compétences internes. Le parangonnage (livrable n°4) décrit les principales initiatives en IA dans la quinzaine d'organisations publiques et parapubliques consultées par la mission. La Cour des comptes souligne toutefois dans son rapport de novembre 2025[1] que le déploiement de l'IA au sein des administrations de l'État reste cloisonné, mal coordonné et insuffisamment orienté vers la performance, avec des risques de doublons coûteux et de dépendance aux solutions étrangères.

La mission a recensé 141 projets d'IA au sein du pôle ministériel grâce à un état des lieux (livrable n° 2) et une cartographie (livrable n°3). 58 % sont portés par les opérateurs, 28 % par l'administration centrale et 14 % par les services déconcentrés. Les cas d'usage sont diversifiés : automatisation des tâches répétitives (traitement des questions parlementaires, gestion des dossiers RH ou juridiques), optimisation de la recherche documentaire, génération de synthèses, analyse prédictive (ex. : détection de fraudes dans les certificats d'économies d'énergie ou MaPrimeRénov'), aide au ciblage des contrôles, appui à l'instruction de dossier (autorité environnementale, installations classées pour la protection de l'environnement) etc. En dehors du cas des opérateurs, la grande majorité de ces projets (60 %) sont à l'étape d'idéation ou de preuve de concept (POC pour *proof of concept*) et seuls 12 % d'entre eux sont des services opérés. Des outils comme le Portail des IA génératives (Piag) ou SofIA ont été déployés, mais leur intégration dans les cas d'usage reste limitée par des freins organisationnels, techniques et managériaux.

La mission propose d'orienter davantage les projets vers la création de valeur, tout en évitant les doublons et la poursuite d'initiatives dont les effets s'avèrent moins prometteurs que prévu. Elle recommande pour ce faire l'utilisation, pour tous les projets, d'un cadre d'analyse de la valeur (CAV – livrable n°5), qui intègre des critères technico-financiers, environnementaux et sociaux. Elle insiste aussi pour que les projets d'IA s'accompagnent d'une réflexion en profondeur sur l'adaptation des processus métiers, avec un accompagnement managérial fort pour garantir la meilleure intégration de ces technologies dans les pratiques professionnelles des agents.

La question de la donnée est centrale pour un déploiement de l'IA réussi. La gestion des systèmes d'information et l'administration des données sont découplées au sein du pôle ministériel. Le manque de visibilité sur la gestion des données des directions générales et des services déconcentrés, notamment sur leur description et sur leur qualité, s'explique par un certain cloisonnement entre services et l'absence d'une organisation coordonnée autour de la donnée.

La maîtrise des risques liés à l'IA est également un enjeu central. La mission recommande d'établir une matrice des risques, inspirée de la norme ISO/IEC 42001, qui devra être mise à jour de façon semestrielle par les instances de gouvernance de l'IA. Une attention particulière doit être portée

[1] Cour des comptes, *La stratégie nationale pour l'intelligence artificielle : consolider les succès de la politique publique de l'IA,* élargir son champ, rapport public thématique, 19 novembre 2025, https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2025-11/20251119-synthese-Strat%C3%A9gie-nationale-IA.pdf

sur les risques éthiques, juridiques et environnementaux. À cet égard, le pôle ministériel est invité à renforcer sa politique en faveur d'une IA responsable au sein des administrations de l'État, en privilégiant des modèles souverains et des pratiques adaptées, c'est-à-dire soucieuses de concilier performance et minimisation des impacts environnementaux.

La réussite de la stratégie ministérielle pour l'IA passe par la transformation des métiers et le développement des compétences, avec le déploiement d'une offre de formation pour l'ensemble des agents via un socle commun obligatoire sur les usages, la prise en compte des risques et des opportunités de l'IA, mais aussi des formations plus spécifiques à l'attention des managers. La mission recommande aussi de nommer des référents IA dans chaque direction pour accompagner les services dans leur démarche de transformation IA. Enfin, le dialogue social doit être renforcé pour anticiper les impacts de l'IA sur les emplois et les conditions de travail, en adoptant une approche itérative et transparente, avec des clauses de revoyure en cas de changements majeurs.

Depuis 2021, le pôle ministériel a produit trois feuilles de routes traitant des données et de l'IA, sans plan d'actions, ni dispositif d'évaluation. Les directions générales et services déconcentrés ainsi que les opérateurs du pôle ministériel avancent à des rythmes différents et des niveaux de maturité variables. Il apparaît donc nécessaire de mobiliser rapidement les services du pôle ministériel **autour d'une véritable stratégie commune pour l'IA, avec un plan d'actions et une gouvernance opérationnelle**.

Il est proposé de transformer le « comité ministériel Numérique et IA » actuel, réuni une seule fois, en un comité stratégique (**COSTRAT IA**) à fréquence trimestrielle et de créer un comité de pilotage (**COPIL IA**), à fréquence mensuelle, auquel sont rattachés **six groupes de travail thématiques** (projets IA, données, technologies IA, accompagnement du changement, risques et éthique, IA frugale) associant toutes les compétences du pôle ministériel.

Cette proposition de gouvernance repose sur la création de **deux postes à plein temps** :

- un **directeur des données** pour proposer, en lien avec l'AMDAC, une stratégie du pôle ministériel sur les données et suivre sa mise en œuvre ;
- un **coordinateur ministériel IA**, rattaché au secrétaire général et doté d'une autorité fonctionnelle, pour déployer la stratégie ministérielle au sein du pôle ministériel. Il identifiera les expertises pouvant servir au déploiement de l'IA et organisera la sélection et le suivi des projets en la matière.

Une mobilisation rapide de l'ensemble du pôle ministériel autour de l'IA est essentielle, au risque de ne pas pouvoir suivre le train des évolutions technologiques et sociétales qu'elle pourrait induire.

Liste des recommandations

Recommandation 1. [SG, avec CGDD] Mettre en place un dispositif de décision et de suivi des projets IA du pôle ministériel, fondé sur le cadre d'analyse de la valeur proposé et permettant d'actualiser en temps réel la cartographie réalisée. 21

Recommandation 2. [SG-STMAR, avec DG, SD, SG-autres directions] Pour les cas d'usages opérationnels à fort impact, simplifier et adapter les processus métiers afin d'exploiter pleinement le potentiel des outils d'IA. Accompagner le passage à l'échelle d'une démarche managériale structurée, en privilégiant le mode projet. 24

Recommandation 3. [SG, CGDD] Créer une fonction de directeur des données (CDO) à plein temps pour mieux organiser et coordonner la préparation et la gestion des données ministérielles nécessaires à l'IA. Pour cela, un plan d'actions « Données pour l'IA » devra être lancé rapidement. 31

Recommandation 4. [SG-Coordinateur IA] Élaborer et mettre à jour une matrice des risques liés à l'IA, incluant les actions préventives et correctives correspondantes, en s'inspirant de la norme ISO/IEC 42001. La présenter dans les instances de gouvernance de l'IA et la mettre à jour selon une fréquence au moins semestrielle. 35

Recommandation 5. [CGDD, avec SG] Rendre systématique l'évaluation de l'impact environnemental des systèmes d'IA déployés au sein du pôle ministériel, en tenant compte des différentes phases de leur cycle de vie. Promouvoir une démarche similaire à l'échelle interministérielle, afin d'harmoniser les méthodes et les exigences en matière d'IA responsable 40

Recommandation 6. [SG-DRH] Mettre régulièrement le déploiement de l'IA à l'ordre du jour des différentes instances de dialogue social. Expérimenter une approche dynamique, itérative et participative, au regard de la rapidité d'évolution des technologies d'IA et des incertitudes sur leurs impacts. 46

Recommandation 7. [SG] Mettre en œuvre un socle obligatoire de formation à l'IA pour l'ensemble des agents, couvrant les usages, les apports et les risques de ces technologies. Compléter ce socle par une formation spécifique pour les managers, centrée sur l'appropriation de l'IA par leurs équipes, la conduite du changement et la gestion des risques. 47

Recommandation 8. [SG-Coordinateur IA, avec SG-DNum, SG-DRH, CGDD] Désigner et former, dans chaque direction ou service, au moins un référent IA, chargé d'accompagner ses collègues dans l'usage des outils d'IA et le déploiement des projets. Animer ce réseau dans la durée. 49

Recommandation 9. [SG] Élaborer une stratégie ministérielle pour l'IA orientée vers la satisfaction des besoins métiers et la création de valeur. La mettre à jour régulièrement afin de prendre en compte les évolutions de l'IA. 51

Recommandation 10. [SG] Mettre en place une gouvernance de l'IA reposant sur un comité stratégique (COSTRAT) trimestriel et un comité de pilotage mensuel chargé de mettre en œuvre ses orientations et de lui présenter l'état d'avancement des projets. Créer un poste à temps plein de coordonnateur ministériel IA rattaché au secrétaire général, chargé d'animer la gouvernance. 53

Introduction

L'adoption de IA connaît une rapidité sans précédent dans l'histoire des technologies, en particulier depuis l'émergence des grands modèles de langage (LLM) en 2022. Environ 1,8 milliard de personnes auraient utilisé l'IA dans le monde en 2025[2], dont 550 à 600 millions quotidiennement. Aux États-Unis, l'IA générative (dénommée « IAg » ci-après) a atteint 40 % de taux d'adoption en seulement deux ans, alors qu'il avait fallu la même durée à Internet pour n'atteindre que 20 % de pénétration et trois ans aux ordinateurs personnels pour obtenir le même résultat.

Contrairement aux idées reçues, toutes les générations se familiarisent avec les IAg : 76 % des 18-28 ans utilisent l'IA, 70 % des 29-44 ans, 59 % des 45-59 ans et 45 % des plus de 60 ans. Cette révolution technologique transforme profondément les pratiques professionnelles. Phénomène nouveau, le *Shadow IA*[3] échappe au contrôle des organisations et soulève des enjeux de gouvernance et de sécurité importants.

Dans ce contexte, l'IA représente un enjeu stratégique pour le pôle ministériel transition écologique, aménagement du territoire, transports, ville et logement[4] (ci-après dénommé par commodité « pôle ministériel »), comme pour l'ensemble des administrations de l'État. Celles-ci peuvent en effet s'appuyer sur l'IA pour améliorer la qualité et l'efficience de l'action publique, par exemple en automatisant des tâches répétitives (traitement des dossiers administratifs, gestion de demandes en ligne), en accélérant les délais d'instruction de demandes, en luttant contre la fraude ou en anticipant les besoins des usagers. En décembre 2023, le Gouvernement a d'ailleurs clairement affiché une volonté de faire de l'IA un levier pour « *rendre l'action publique plus simple, plus efficace au bénéfice des Français* »[5].

Pourtant, fin 2025, la Cour des comptes dresse un bilan mitigé de la mise en œuvre de la stratégie nationale en IA (SNIA) au sein des administrations de l'État[6]. Les auteurs estiment que le déploiement de l'IA dans ces organisations publiques manque de priorités stratégiques et de financement, qu'il est mal coordonné et qu'il n'est pas suffisamment orienté vers la performance en raison de freins budgétaires, techniques et culturels. La Cour met également en exergue un manque de mutualisation des solutions ainsi qu'une dépendance aux outils étrangers, engendrant ainsi un risque pour la souveraineté numérique.

Par conséquent, le défi posé aux administrations d'État par le développement rapide des IA est de se doter d'une gouvernance et d'un cadre de déploiement robustes qui permettent d'améliorer l'efficacité de l'action publique tout en garantissant la maîtrise des risques associés à ces technologies, reposant sur une analyse des besoins, des lignes directrices juridiques et éthiques ainsi qu'un important effort de formation des agents.

Dans ce contexte, le secrétaire général du pôle ministériel a confié à l'inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD) 'une mission portant sur les conditions et le

---

[2] Menlo Ventures et Morning Consult, *2025: The State of Consumer AI,* Menlo Park, CA: Menlo Ventures, 26 juin 2025, https://menlovc.com/perspective/2025-the-state-of-consumer-ai.

[3] Le « *Shadow* IA » désigne l'utilisation par des personnels d'outils d'IA sans l'accord de leur employeur.

[4] A la date de janvier 2026, ces compétences sont réparties entre quatre ministères : celui de la Transition écologique, de la Biodiversité et des Négociations internationales sur le climat et la nature, celui de l'Aménagement du territoire et de la Décentralisation, celui des Transports et celui de la Ville et du Logement.

[5] Communiqué de presse du gouvernement du 12 décembre 2023 intitulé « *Intelligence artificielle : l'État s'engage pour rendre l'action publique plus simple, plus efficace au bénéfice des Français* », lien : 1452_-_INTELLIGENCE_ARTIFICIELLE_lEtat_sengage_pour_rendre_laction_publique_plus_simple_plus_efficace_au_benefice_des_Francais.pdf.

[6] Cour des comptes, *La stratégie nationale pour l'intelligence artificielle,* 19 novembre 2025

pilotage du déploiement de l'IA au sein de ses services et des opérateurs sous tutelle. **Cinq livrables** sont proposés pour répondre à cette commande. Le présent rapport (**livrable n°1**) est complété d'un état des lieux de l'IA au sein du pôle ministériel (**livrable n°2**), d'une cartographie des projets qui y sont menés (**livrable n°3**), d'un parangonnage des principales initiatives prises par d'autres ministères et organismes publics (**livrable n°4**, appelé « parangonnage » ci-après) et d'un cadre d'analyse de la valeur des projets IA (**livrable n°5**). Pour ce faire, et dans l'objectif de construire des recommandations opérationnelles, la mission a conduit une soixantaine d'entretiens afin de réaliser un inventaire aussi précis que possible des projets déjà déployés par les services et réaliser un parangonnage des initiatives ainsi que des bonnes pratiques extérieures au pôle ministériel. Elle s'est également appuyée sur un important corpus documentaire, qui lui a permis d'établir un état des lieux des forces et points de vigilance quant au déploiement des IA dans les organisations à l'échelle mondiale, notamment dans les administrations publiques en Europe. Enfin, la mission a utilisé les outils d'IA mis à sa disposition par l'IGEDD dans le cadre du projet « Inspection augmentée »[7], ainsi que le portail des IA génératives fourni par la direction du numérique (DNum) du pôle ministériel.

Le présent rapport synthétise le diagnostic, les réflexions et les recommandations de la mission en réponse à la commande du secrétaire général. Il dresse d'abord un état des lieux des expérimentations actuelles au niveau interministériel comme ministériel, trop souvent cloisonnées et qui peinent très souvent à passer à l'échelle (**partie 1**). Il présente ensuite les besoins prioritaires identifiés par les métiers pour structurer une démarche opérationnelle (**partie 2**), en insistant sur l'administration des données comme prérequis-clé pour déployer l'IA (**partie 3**). Il aborde en suivant la question des risques, en particulier techniques, éthiques et juridiques (**partie 4**) ainsi que l'impact environnemental des IA (**partie 5**). Enfin, le rapport se conclut sur les enjeux majeurs d'évolution des emplois et compétences (**partie 6**) et sur la nécessité, pour le pôle ministériel, de se doter d'une stratégie et d'une fonction de gouvernance de l'IA unifiée s'il souhaite déployer l'IA de façon maîtrisée et efficiente dans ses processus internes (**partie 7**).

[7] Lien vers la description du projet « Inspection augmentée » : https://www.beta.gouv.fr/startups/inspecteur-augmente.html

1 ÉTAT DES LIEUX DU DÉPLOIEMENT DE L'IA AU SEIN DU PÔLE MINISTÉRIEL

1.1 Des systèmes experts à l'IA générative, plusieurs approches de l'IA aux capacités distinctes

Les systèmes d'intelligence artificielle (SIA)[8] ont connu de fortes évolutions depuis la machine de Turing en 1936[9] jusqu'aux grands modèles de langage du début des années 2020. Les **systèmes experts** nés dans les années 1980 se caractérisent par leur explicabilité, car ils reposent sur des règles logiques prédéfinies, limitant leurs usages à des environnements stables et prévisibles (par exemple, classer des messages électroniques en indésirables ou non). Dix ans plus tard, une première évolution importante survient dans l'IA avec **l'apprentissage automatique** (*machine learning*), qui permet aux robots d'apprendre en mode supervisé, grâce à des données étiquetées, ou en mode non supervisé, en découvrant des motifs cachés (*pattern*)[10].

Au début des années 2010, **l'apprentissage profond** (*deep learning*) révolutionne l'IA grâce au développement sans précédent de la **quantité de données** créées dans le monde (*big data*) combiné à des **capacités de calcul augmentées**. Reposant sur des réseaux de neurones profonds pour traiter des données complexes (images, voix), il fait entrer l'IA dans l'ère de la reconnaissance visuelle ou vocale. L'**apprentissage par renforcement,** qui existe depuis les années 1980, est alors mis à profit pour former les IA par essai-erreur et améliorer leurs performances : en 2016, AlphaGo de DeepMind provoque un séisme en battant le champion mondial du jeu de go. L'IA se répand dans tous les secteurs de l'économie, mais reste réservée aux experts, pour des applications techniques complexes, comme l'analyse d'images médicales ou l'optimisation industrielle, nécessitant des ressources et des compétences spécialisées.

Depuis le début des années 2020, **l'IA générative provoque un changement de paradigme en mettant l'IA à la portée de tous**, grâce à des interfaces simples et accessibles, permettant à chacun de créer du contenu ou d'automatiser des tâches sans expertise technique particulière. Le monde est entré dans l'ère des *« transformers »*[11] tels que GPT-3 lancé en 2020 : l'IA ne se contente plus d'analyser, elle génère du texte, des images ou du code, ouvrant des perspectives pour la créativité assistée ou la synthèse d'information. Elle ouvre ainsi des possibilités immédiates et transverses, apportant avec elle une promesse d'amélioration de la productivité des organisations.

La mission s'est intéressée à tous les types d'IA développées dans les organisations publiques qu'elle a étudiées, distinguant les « IA métiers », qui relèvent plutôt de l'intelligence analytique, des IAg, beaucoup plus généralistes, même si la distinction au sein d'un SIA peut parfois apparaître

---

[8] Le règlement (UE) 2024/1689 définit le « système d'IA » comme un « *système automatisé qui est conçu pour fonctionner à différents niveaux d'autonomie et peut faire preuve d'une capacité d'adaptation après son déploiement, et qui, pour des objectifs explicites ou implicites, déduit, à partir des entrées qu'il reçoit, la manière de générer des sorties telles que des prédictions, du contenu, des recommandations ou des décisions qui peuvent influencer les environnements physiques ou virtuels* ».

[9] La machine de Turing est un modèle théorique d'ordinateur imaginé par le mathématicien britannique Alan Turing en 1936, qui décrit une machine capable de suivre des instructions étape par étape pour résoudre un problème.

[10] Un motif (ou *pattern* en anglais) est une structure récurrente ou une régularité identifiable dans des données. En intelligence artificielle et en analyse de données, il s'agit d'une information qui se répète et que les algorithmes peuvent détecter pour en tirer des conclusions ou faire des prédictions.

[11] Un *« transformer »* est une architecture d'apprentissage profond conçue pour traiter et comprendre des séquences (comme des phrases ou des séries de données) en analysant les relations entre leurs éléments, peu importe leur position dans la séquence. Contrairement aux modèles précédents, il utilise un mécanisme appelé "attention" pour se concentrer sur les mots ou données les plus pertinents à chaque étape, ce qui le rend particulièrement efficace pour des tâches comme la traduction, la génération de texte ou l'analyse de données complexes. Il permet ainsi de traiter des informations en parallèle, ce qui accélère l'apprentissage et améliore la précision.

théorique, une IA métier pouvant être couplée avec une IAg sur certains cas d'usage (par exemple, pour l'instruction d'une demande de subvention).

1.2 L'environnement national et interministériel

Fin 2017, l'État a lancé une **stratégie nationale pour l'intelligence artificielle (SNIA)** dont la première phase s'étalait sur la période 2018-2023 avec un effort financier majoritairement concentré sur les capacités de recherche. Dotée de près de 1,5Md€, elle visait à positionner la France comme l'un des leaders mondiaux de l'ensemble des disciplines scientifiques et des technologies-clés liées à l'IA.

La deuxième phase de la SNIA s'est déroulée sur la période 2022-2025 avec pour ligne directrice la diffusion de l'IA dans l'économie tout en soutenant le développement et l'innovation des domaines prioritaires que sont :

- l'IA embarquée, c'est-à-dire l'IA intégrée au cœur des appareils ou des composants ;
- l'IA de confiance, c'est-à-dire une IA fiable, performante et répondant à des normes de transparence et de confidentialité notamment ;
- l'IA frugale, avec le soutien du développement et déploiement d'IA peu gourmandes en énergie et en données au service d'objectifs de décarbonation, de transition écologique et énergétique des territoires ;
- l'IA générative et les modèles géants de langage.

560 M€ de financements publics devaient être consacrés à renforcer l'écosystème d'excellence en recherche et formation.

Une troisième étape de la SNIA, soutenue via le plan France 2030, a été lancée en février 2025 autour de quatre priorités :

- renforcer les infrastructures de calcul et les maillons critiques de la chaîne de valeur ;
- former et attirer les talents de l'IA ;
- accélérer les usages ;
- se donner les moyens de bâtir une IA de confiance.

Cette stratégie s'est inscrite jusqu'alors dans la gouvernance des crédits du **programme d'investissements d'avenir (PIA)** et **France 2030** pilotée par le secrétariat général pour l'investissement (SGPI).

Les principales recommandations du **rapport de la Cour des comptes sur l'IA**[12] tournent autour de la nécessité d'une gouvernance, l'excellence de la R&D, la croissance des entreprises de l'IA, l'évolution du marché de l'emploi et l'accélération de la transformation des administrations, pour lesquelles le passage à l'échelle des projets lancés est un défi. Pour chacune des recommandations, la Cour des comptes identifie les ministères concernés. Le pôle ministériel n'est cité à aucun moment, même pour la recommandation de « *mettre en œuvre et poursuivre les engagements en matière d'IA de confiance, de frugalité et de soutenabilité, y compris dans leur dimension européenne et internationale* ».

Afin notamment d'identifier les meilleures pratiques, il a été demandé à la mission d'établir « *un parangonnage des initiatives les plus significatives [en termes d'IA] au niveau interministériel* » (*Cf. Annexe 1*).

Sept ministères ont été ainsi rencontrés : le ministère de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de la souveraineté alimentaire (dénommé « **MAASA** » ci-après), le ministère des armées (**MinArm**), le

[12] Cour des comptes, *La stratégie nationale pour l'intelligence artificielle,* 19 novembre 2025

ministère de la culture (**MinCult**), le ministère de l'économie, des finances, de la souveraineté industrielle, énergétique et du numérique (**MINEFI**), le ministère de l'éducation nationale (**MEN**), le ministère de l'intérieur (**MinInt**), le ministère du travail, de la santé, des solidarités et des familles (**MTSSF**).

Cinq services interministériels ont été approchés :

- la direction interministérielle du numérique (**DINUM**), qui a un rôle pivot pour le développement interministériel de l'IA. Elle est l'administratrice générale de l'État pour les données, les algorithmes et les codes sources. Elle gère également des incubateurs de start-up d'État et développe des outils numériques à destination de tous les ministères comme la suite numérique de l'État ou la plateforme d'IA générative Albert ;
- l'agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (**ANSSI**), qui est l'autorité nationale en matière de cybersécurité et de cyberdéfense, l'IA amenant de nouveaux risques ;
- la direction interministérielle de la transformation publique (**DITP**) qui pilote des programmes de transformation publique ;
- la direction générale de l'administration et de la fonction publique (**DGAFP**) qui suit les questions de ressources humaines au niveau interministériel ;
- la délégation interministérielle à l'encadrement supérieur de l'État (**DIESE**).

Quatre autres entretiens ont été conduits auprès d'organismes publics particulièrement concernés par l'IA : l'Institut national de l'audiovisuel (**INA**), **France Travail**, **La Poste** et la **RATP**. Ont également été entendues la **ville de Paris** et **Bordeaux Métropole**.

Les principales restitutions de ces échanges sont regroupées dans le livrable n°2[13]. Des références aux pratiques les plus intéressantes sont mentionnées au fil du présent rapport en utilisant les sigles des organismes interrogés ci-dessus.

Ce parangonnage fait apparaître une accélération significative des initiatives en matière d'IA dans les organisations publiques. L'émergence rapide de l'IA générative agit comme catalyseur mais interroge profondément les modèles organisationnels, juridiques, éthiques et humains dans l'appareil d'État.

La structuration des démarches IA est, dans la majorité des cas, fondée sur les besoins métier, en partant de cas d'usage concrets visant à automatiser ou augmenter les processus critiques pour la performance ou la qualité de service : transcription et recherche contextuelle, extraction documentaire, prévision, aide à la décision, relation avec les usagers, gestion documentaire ou ressources humaines, etc. Ce sont là autant de leviers qui transforment d'ores et déjà l'organisation du travail et la création de valeur dans la fonction publique.

Les ministères n'autofinancent généralement pas leurs projets IA. Il existe des exceptions comme le MinArm et certains incubateurs de start-up d'État. La DINUM a créé, pour porter les projets IA, l'incubateur ALLiaNCE en complément de l'incubateur généraliste Beta.gouv pour les projets numériques. Celui-ci développe des applications innovantes et ouvertes, telles que la traduction automatique, les agents conversationnels, l'assistance au codage et les traitements d'image. Il anime également une communauté qui se réunit plusieurs fois par an[14], avec l'objectif de faire avancer l'adoption de l'IA dans le secteur public.

Pour la période 2018-2025 correspondant aux deux premières phases de la SNIA (*Cf.* ci-dessus),

[13] Une fois rédigées par la mission, les fiches faisant la synthèse des initiatives en IA dans chaque organisation ont fait l'objet d'un processus de validation auprès de l'ensemble des interlocuteurs concernés.

[14] Les rencontres ALLiaNCE sont organisées en forum ouvert et la session de décembre 2025 a mis en avant les enjeux d'IA frugale.

des ministères ont pu faire appel aux dotations du fonds pour la transformation de l'action publique (FTAP) et de France 2030. Certains se sont également tournés vers des programmes européens. En octobre 2025, la Commission européenne a annoncé 200Md€ pour le développement de l'IA en Europe avec des montants considérables pour les infrastructures. Plus précisément, les possibilités de financement européen des projets ministériels en IA se situent au sein de Horizon Europe, le programme-cadre de l'Union européenne pour la recherche et l'innovation 2021-2027 (95,5Md€). Au sein de celui-ci, le programme pour une Europe numérique (DIGITAL EUROPE) a une ligne « Intelligence artificielle » de 2Md€. Ces financements sont généralement mobilisables pour des projets collaboratifs associant des partenaires de différents pays européens.

Les financements FTAP, conditionnés à un objectif d'économies budgétaires, et France 2030 se raréfient. Les financements européens nécessitent un effort important de montage des projets. Il est alors naturel de se tourner vers le cofinancement entre ministères. La DINUM devrait favoriser les travaux interministériels en ce sens. On note cependant une évolution de celle-ci d'un développement autonome de ses produits vers une demande de participation financière des ministères à leur déploiement et maintenance.

En termes d'investissement, il semble difficile aujourd'hui pour l'État de créer un grand modèle de langage (LLM en anglais) de toute pièce. Pour s'appuyer sur un LLM français pouvant espérer avoir la taille critique nécessaire, beaucoup d'entités publiques veulent faire appel à Mistral AI, qui propose par ailleurs une offre avec un *Cloud* de confiance SecNumCloud. La facturation se fait sur la consommation de *tokens*, ce qui devrait normalement permettre à l'utilisateur de maîtriser ses coûts, au moins dans un premier temps.

Le parangonnage fait également ressortir les points d'attention suivants :

- le caractère indispensable de disposer d'une **politique de la donnée** rigoureusement administrée ;
- l'**exigence de sécurité et de confidentialité**, qui se traduit par la mise en place d'architectures hybrides, l'usage d'infrastructures souveraines (*Cloud* qualifié SecNumCloud, hébergements internes), la priorisation de la conformité réglementaire (RGPD, règlement européen sur l'IA), ainsi que par l'attention portée à l'anonymisation et à la protection des données.
- la mise en place nécessaire d'une **gouvernance** (décision, suivi, évaluation) de ses projets IA au regard du large spectre de ses impacts ;
- la **prise de conscience de risques majeurs** comme la perte d'esprit critique, les biais[15] et hallucinations[16], la perte de traçabilité, l'agrandissement de la fracture numérique ou une nouvelle dépendance technologique ;
- pour tout outil IA d'aide à la décision, le fait de confier la **validation finale à l'humain** ;
- l'appropriation de l'IA impose un **effort massif et continu en matière de formation, d'acculturation et de transformation des métiers**. Cependant, à ce stade, les impacts métier sont peu connus et les réflexions de type gestion prévisionnel des effectifs et des compétences (GPEC) peu avancées ;
- le volet environnemental (**IA frugale**) est encore peu pris en compte ;

[15] Un biais est une erreur ou une distorsion de l'IA. Il peut ainsi exister par exemple des biais statistiques lorsqu'un modèle accorde plus de poids à certaines catégories que d'autres (échantillon déséquilibré) ou des biais socio-culturels quand les données d'apprentissage intègrent des stéréotypes par pure association statistique (corrélation sans causalité).

[16] Une hallucination est une réponse fictive, fausse ou trompeuse produite par l'IA rendant la distinction entre vérité et invention parfois complexe.

- l'existence dans tous les ministères d'une **charte d'utilisation des outils IA** à destination de leurs personnels.

1.3 Le pôle ministériel doit s'organiser pour capitaliser sur la dynamique actuelle

1.3.1 Un mouvement interne qui s'est accéléré ces dernières années

Historiquement, le pôle ministériel a été concerné plus tôt que d'autres ministères par l'apprentissage automatique et les réseaux de neurones, sciences à l'origine de l'IA. Les opérateurs manipulant des jeux de données importants comme Météo France et l'institut national de l'information géographique et forestière (ou « IGN ») font ainsi appel à des technologies d'IA « métier » depuis de nombreuses années. Le commissariat général au développement durable (ou « CGDD »), qui développe de l'expertise autour de la donnée depuis sa création, s'est également investi dans l'IA depuis 2021.

Depuis fin 2022 et l'apparition de ChatGPT d'OpenAI, les initiatives en termes d'IAg se sont multipliées partout et un nombre important de projets (*Cf.* §1.3.2. ci-après) ont vu le jour au sein du pôle ministériel. Les premières concrétisations ont tourné autour de l'exploitation de corpus[17] techniques importants, par exemple avec SofIA, outil initié et hébergé par l'agence de la transition écologique (ou « Ademe ») et aujourd'hui co-développé avec le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (ou « Cerema ») et le CGDD.

Pour offrir des outils d'IAg à l'ensemble des personnels et éviter au maximum le « *Shadow IA* »[18], la DNum a mis en service en avril 2025 le Piag[19] (Portail d'intelligence artificielle générative), celui-ci permet l'utilisation de plusieurs outils (ChatGPT, Claude, Perplexity) et Mistral AI en environnement SecNumCloud. Il met également à disposition des agents, outre SofIA, une version test d'un RAG[20] en environnement sécurisé. Se mettent également en place des environnements de formation et une « promptothèque »[21] collective. De ce fait, le pôle ministériel a été l'un des premiers ministères à être ainsi équipé.

1.3.2 141 projets recensés à date, la majorité en phase de maturation

La cartographie réalisée par la mission (*Cf.* livrable n°3*)* regroupe 141 projets dont 58 % chez les opérateurs, 28 % en administration centrale (AC) et 14 % dans les services déconcentrés (SD). Leur descriptif ainsi que la méthodologie utilisée pour les recenser sont précisés dans ce même livrable.

La grande diversité des thématiques et des cas d'usage reflète la vitalité des initiatives IA au sein du pôle ministériel : automatisation des tâches répétitives (traitement des questions parlementaires,

[17] En sciences de la donnée, le terme corpus désigne un ensemble organisé de données (souvent des textes) rassemblées pour être analysées ou utilisées dans un travail de recherche ou de traitement automatique.

[18] Cf. note de bas de page n°3

[19] https://piag.din.gouv.fr/

[20] La RAG (*Retrieval augmented generation* ou « génération augmentée de document » en français) est une technologie qui consiste à améliorer les réponses des modèles d'IA générative en les alimentant avec des connaissances issues des bases de données internes.

[21] Un prompt est une instruction ou une consigne donnée à une IA pour générer un contenu ou une réponse spécifique. La promptothèque espace est conçu pour aider l'utilisateur à obtenir des résultats de qualité lors de ses interactions avec les solutions d'IA. A l'instar d'une bibliothèque classique où les livres sont classés par style (roman, polar, littérature étrangère etc…), les prompts sont classés par thématiques d'utilisation : synthèse - résumé, analyse, etc.

gestion des dossiers RH ou juridiques), optimisation de la recherche documentaire, génération de synthèses, analyse prédictive (ex. : détection de fraudes dans les certificats d'économies d'énergie ou MaPrimeRénov'), aide au ciblage des contrôles, appui à l'instruction de dossier (autorité environnementale, installations classées pour la protection de l'environnement) etc.(*Cf.* livrable n°2). Ces initiatives, encore dispersées, soulignent l'urgence de structurer une gouvernance unifiée pour passer à l'échelle. En dehors du cas des opérateurs, la grande majorité de ces projets (60 %) sont à l'étape d'idéation ou de preuve de concept (POC pour *proof of concept*) et seuls 12 % d'entre eux sont des services opérés.

1.3.3 Un nécessaire passage à l'échelle, rendu difficile par des irritants

Ce foisonnement d'initiatives et la dynamique autour d'elles sont des atouts indéniables. Mais, pour un passage à l'échelle de ceux qui font la démonstration de leur faisabilité technique et d'une création de valeur grâce à l'IA (au sens du § 2.2)., plusieurs difficultés doivent encore être surmontées :

- le partage d'expérience limité, du fait du cloisonnement entre services ou de la prise en compte insuffisante des besoins (approche technologique dominante) ;
- la priorisation entre projets ;
- le manque d'approches de type « commun numérique » ;
- les travaux nécessaires sur les données (disponibilité, structure et qualité) ;
- la mobilisation des moyens financiers, humains et techniques *ad hoc*.

1.3.4 Une gouvernance partielle

La feuille de route ministérielle « Numérique et intelligence artificielle » (septembre 2025) propose la mise en place d'une « *gouvernance simple, associant néanmoins largement les entités de nos ministères* » avec un « *comité unique stratégique, coprésidé par le secrétaire général et le commissaire général au développement durable* ». Celui-ci rassemble les directeurs généraux des directions métiers du pôle ministériel ainsi que des représentants des DREAL et des DDT[22], et doit se réunir deux fois par an.

Sous ce comité ministériel « Numérique et IA », qui ne s'est réuni qu'une seule fois, il n'existe pas de gouvernance organisée au niveau du pôle ministériel, chaque service étant libre de mettre en place ou pas sa propre gouvernance de ses projets IA. Plusieurs acteurs travaillent sur l'IA au sein du pôle ministériel (DNum, CGDD, STMAR, DG, opérateurs, écoles…), mais les rôles et responsabilités de chacun ne sont pas suffisamment définis pour gérer les interfaces et articuler les actions entreprises. Il peut ainsi exister dès l'origine des communautés d'outils proches, mais animées de façon distincte (ex. SofIA vs Piag avec RAG).

Le comité cité ci-dessus a une vocation stratégique. Il n'existe pas d'organisation de pilotage pour l'ensemble des sujets liés aux transformations induites par l'arrivée de l'IA (priorisation, plan d'actions, financement, …). Celle-ci pourrait alors répondre aux difficultés citées précédemment :

- en facilitant les partages d'informations et de connaissances nécessaires aux projets IA ;
- en identifiant les possibilités de mutualisation d'outils, briques technologiques comprises ;
- en menant une politique de la donnée ;
- en organisant la priorisation et le financement des projets IA ;
- en favorisant les coopérations interministérielles.

[22] Ces directions départementales interministérielles relèvent du ministère de l'intérieur et donc des outils numériques associés.

2 PARTIR DES BESOINS POUR ÉVALUER LA VALEUR D'USAGE ET PASSER À L'ÉCHELLE

2.1 Cinq grandes familles d'usage sont bien identifiées et les outils d'IA s'améliorent régulièrement pour y répondre

Depuis 2022-2023, les outils d'IA génératives se sont largement démocratisés, dans le sillage de ChatGPT. De multiples outils apparaissent ou évoluent chaque jour, pouvant donner l'impression qu'ils répondront facilement à tous les besoins. **Il pourrait donc être tentant de partir des outils pour aller vers les usages, mais cette approche présente plusieurs travers** : les outils sont en perpétuelle mutation voire rapidement obsolètes, rendant nécessaire de pouvoir facilement basculer d'un outil à l'autre, en fonction de leur rapidité de maturation technologique. De plus, **des outils généralistes mobiliseront des ressources (énergétiques, en matériaux…) sans forcément de lien avec la plus-value apportée au niveau de l'usage**. La question de l'adaptation de l'outil à l'usage, notamment son sur ou sous-dimensionnement, a des conséquences sur le retour sur investissement (ROI) : qualité de la production, productivité, impacts sociaux et environnementaux, etc. Les conclusions d'un projet de recherche mené au sein du *Massachusets Institute of Technology* (MIT)[23] indiquent que 95% des projets d'IAg échouent. Bien que les outils mis en place soient performants, les utilisateurs ne parviennent en effet pas à s'en saisir.

A contrario, les **usages apparaissent plus stables, car ils sont associés à des processus métiers qui évoluent plus lentement.** De plus, la description de l'usage permet de trouver l'outil dimensionné au bon niveau pour y répondre. Celui-ci n'embarque pas forcément de l'IA et, si l'IA s'avère adaptée, il ne s'agit pas nécessairement du modèle le plus avancé et le plus puissant. En effet, s'il convient de connaître les outils disponibles ou en voie de l'être, il est cependant important d'**adopter plus systématiquement une approche par l'usage.**

Un premier cas d'usage concerne le **traitement automatisé de la parole et du langage**, où des outils comme la reconnaissance vocale (*Automatic Speech Recognition* - ASR) permettent de retranscrire en temps réel réunions, enquêtes publiques ou échanges administratifs. Ces systèmes réduisent les délais de rédaction tout en garantissant une traçabilité essentielle. Leur adoption soulève des enjeux de conformité souvent majeurs au RGPD et de biais algorithmique, notamment pour les voix féminines ou accentuées.

Le deuxième cas d'usage repose sur la **recherche contextuelle et l'extraction intelligente de données**, qui dépasse les limites des moteurs de recherche traditionnels. Grâce à des techniques de *word embedding*[24] , il est possible d'analyser automatiquement des milliers de signalements ou de jurisprudences pour en extraire les informations pertinentes. Cette approche permet également la gestion d'archives audiovisuelles ou la détection de fraudes fiscales, mais exige une bonne qualité des données et une transparence algorithmique.

Les **assistants intelligents**, troisième cas d'usage, se généralisent pour **fluidifier la relation avec les usagers et soutenir les agents**. Des solutions, comme Albert (DINUM) ou les *Chatbots* de France Travail, répondent aux questions fréquentes, génèrent des ébauches de réponses ou aident au remplissage de formulaires. Ces outils libèrent du temps pour des missions à plus forte valeur ajoutée, tout en nécessitant une vigilance accrue contre les hallucinations de l'IA[25] et une

[23] Aditya Challapally, Chris Pease, Ramesh Raskar, et Pradyumna Chari, *The GenAI Divide: State of AI in Business 2025*, Cambridge, MA: MIT Media Lab/Project NANDA, juillet 2025, https://mlq.ai/media/quarterly_decks/v0.1_State_of_AI_in_Business_2025_Report.pdf

[24] Le *word embedding* ou plongement lexical en français est une technique de représentation vectorielle des mots qui vise à capturer leurs relations sémantiques et contextuelles.

[25] *Cf.* note de bas de page n°16

formation adaptée des utilisateurs, qui doivent garder la maîtrise du processus.

La **génération automatique de contenus et de synthèses** représente une quatrième famille, particulièrement utile pour traiter des volumes documentaires colossaux. Bien que ces technologies accélèrent les processus (jusqu'à 80 % de gain de temps), elles imposent un contrôle humain systématique pour éviter la perte de sens critique, comme le souligne l'ANSSI.

Enfin, les besoins en **modélisation, prédiction et prévision grâce à l'IA** se révèlent centraux pour les organisations dont le cœur de métier est **d'anticiper les risques, d'optimiser les ressources et d'améliorer les services**. Ces outils, combinant données satellites et apprentissage automatique, permettent une action proactive (réduction de 40 % des coûts liés aux catastrophes), à condition de garantir la qualité des données et l'explicabilité des algorithmes. La souveraineté numérique, via des plateformes européennes comme OVHCloud, reste un impératif pour ces applications sensibles.

2.2 Évaluer systématiquement la valeur des projets IA

Les projets et pratiques professionnelles du pôle ministériel faisant appel à l'IA n'ont jamais fait l'objet d'un recensement intégral. La démarche la plus importante d'identification en la matière connue a été faite à l'occasion de l'élaboration de la feuille de route ministérielle « Numérique et intelligence artificielle » (septembre 2025) pour laquelle le CGDD a demandé aux services de faire remonter leurs projets IA. 19 d'entre eux figurent dans le document final à titre d'exemples.

Il s'avérait donc nécessaire, comme le précise la lettre de commande, « *d'établir une cartographie des initiatives actuelles d'intégration de l'IA sur le plan ministériel* ». Le document réalisé (*Cf. livrable n°3*), consultable sous Grist[26] et couplé à l'outil de visualisation Superset d'Apache utilisé au sein du pôle ministériel, présente ainsi 141 projets IA identifiés auprès des services interrogés.

L'augmentation du nombre de projets IA à venir renforce l'intérêt pour le pôle ministériel de disposer d'un « **cadre d'analyse de la valeur** » (*appelé CAV ci-après*) pour les évaluer, les amender si nécessaire, décider ou non de leur lancement et suivre leur avancement. Il est ainsi demandé dans la lettre de commande (*Cf.* annexe 1) de proposer un CAV intégrant notamment des critères de « performance », « d'efficience » et « d'impact social », « MAREVA 2 ou toute autre méthodologie pertinente » pouvant être retenue.

De tels outils existent depuis plusieurs années pour des projets numériques, dans le secteur privé ou au sein de l'État où des critères d'intérêt général sont pris en compte. La DINUM dispose actuellement de deux outils, un pour les projets numériques incubés dans Beta.gouv, un autre (MAREVA 2) pour ceux dont le coût total dépasse 9 M€, ce dernier étant obligatoire pour tous les ministères. Courant 2026, la DINUM devrait remplacer MAREVA 2 par une nouvelle version nommée MAREVA Produit, application développée sous Grist et en cours de bêta-test, pour laquelle le seuil de coût total à 9M€ passerait à un seuil à 3M€ par an.

En raison de l'importance des impacts liés à l'emploi d'outils d'IA, il est proposé que tout projet IA du pôle ministériel voie sa valeur analysée suivant le CAV IA, dont les principales étapes sont précisées ci-après (*Cf.* livrable n°5 pour plus de détails). Celui-ci intégrera des critères d'évaluation des impacts environnementaux (*Cf.* §5) des SIA déployés, qui pourront être rendus publics chaque année. Cette démarche pourra être portée au niveau interministériel.

[26] Grist est l'outil *no-code* de gestion de données de l'administration intégré par la DINUM dans la suite numérique de l'État.

Pour tout nouveau projet IA, le porteur de projet devrait réaliser une présentation synthétique comportant, outre le descriptif du projet et un échéancier, une estimation de l'ensemble des coûts (ou TCO[27]) et une évaluation qualitative de l'impact (« fort », « modéré » ou « faible »).

Les projets IA sont ainsi classés en **trois niveaux** :

- niveau 1 : projet dont le TCO est strictement inférieur à 300k€ HT **et** dont l'impact est « modéré » ou « faible » ;
- niveau 2 : projet dont le TCO est supérieur ou égal à 300k€ **et** le TCO annuel moyen strictement inférieur à 3M€ ;
- niveau 3 : projet dont l'impact est « fort » **ou** dont le TCO annuel moyen est supérieur ou égal à 3M€ par an **ou** dont le TCO est supérieur ou égal à 15M€.

La valeur d'un projet sera analysée :

- s'il est de niveau 3, avec une MAREVA Produit ;
- s'il est de niveau 2, avec une MAREVA Produit simplifiée[28] ;
- s'il est de niveau 1, au vu de sa présentation synthétique.

Il est ainsi recommandé d'utiliser un outil de décision, de suivi et de comparaison unifié créé autour d'une base MAREVA Produit et regroupant tous les projets IA de niveaux 2 et 3 du pôle ministériel, mais aussi ceux de niveau 1 via un formulaire de saisie des présentations. Cet outil permettrait de tenir à jour la cartographie des projets IA du pôle ministériel (*Cf. ci-dessus*) créée sous Grist. Par ailleurs, utiliser la MAREVA Produit facilite, si nécessaire, la compatibilité de ce CAV IA avec le CAV de la DINUM à vocation interministérielle. Le CAV IA est par conséquent un outil pour un fonctionnement en mode projet et au service d'une gouvernance qu'il est proposé d'installer au niveau du secrétariat général (*Cf. § 7*). Celle-ci doit notamment permettre d'assurer l'organisation de la prise de décision (lancement ou non d'un projet, avec ou sans condition, priorisation entre projets) et le suivi des projets via l'actualisation de leur CAV IA. La comitologie mise en place serait adaptée à la taille du projet.

L'outil d'analyse de la valeur proposé pourra être adapté à l'épreuve des projets présentés. Un bilan avec d'éventuelles propositions d'ajustements pourra être réalisé six mois après sa mise en œuvre. Parallèlement à sa mise en place de la gouvernance sur l'IA, il est possible de lancer dès maintenant la réalisation du CAV IA en commençant par élaborer les trois documents-types nécessaires (*présentation synthétique, MAREVA Simplifiée et MAREVA Produit*) adaptés aux usages du pôle ministériel et en préparant, en lien avec la DINUM, l'installation technique du dispositif. Ce dernier pourrait alors être rapidement testé sur des projets existants via un POC.

> Recommandation 1. ***[SG, avec CGDD] Mettre en place un dispositif de décision et de suivi des projets IA du pôle ministériel, fondé sur le cadre d'analyse de la valeur proposé et permettant d'actualiser en temps réel la cartographie réalisée.***

[27] « *Total Cost of Ownership* » : ensemble des coûts directs et indirects associés à l'acquisition, l'utilisation, la maintenance et la fin de vie de tous les actifs nécessaires à un projet sur toute sa durée de vie.

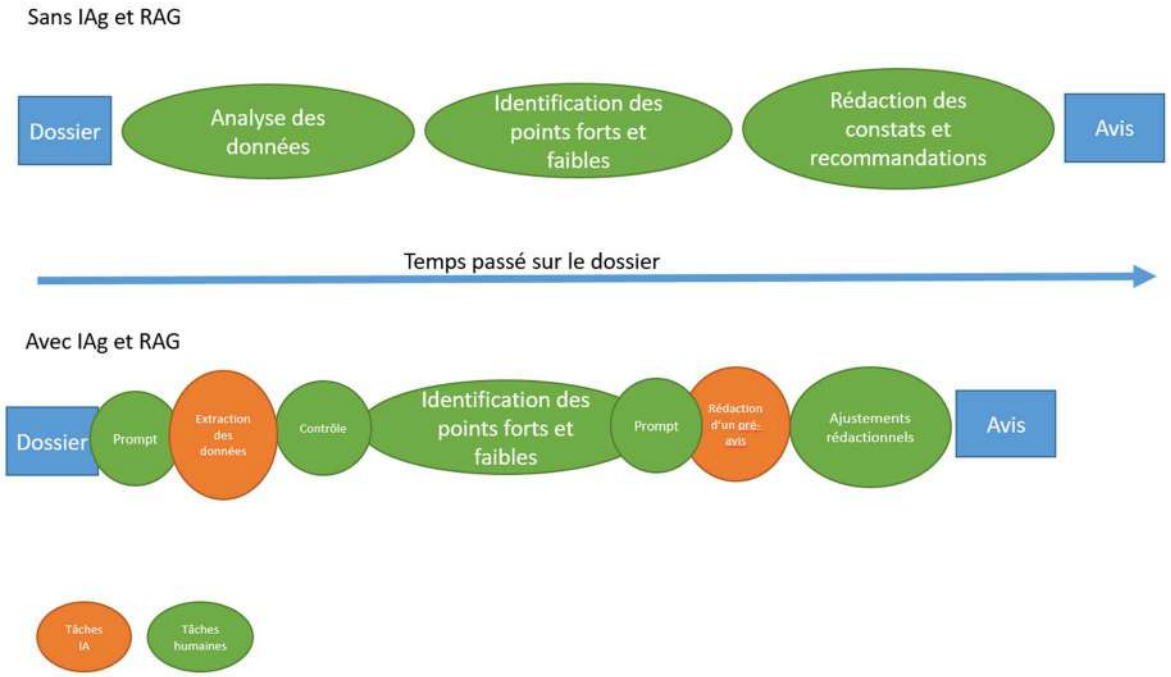
[28] Cette MAREVA Produit simplifiée, ou « MAREVA Simplifiée », serait créée en interne en partant de la structure de la MAREVA Produit et en limitant le nombre de zones à renseigner, limites choisies par le pôle ministériel.

2.3 Le passage à l'échelle des projets d'IA nécessitera de revoir les processus métiers et un accompagnement managérial fort

2.3.1 L'usage de l'IA n'apportera une réelle valeur que s'il s'inscrit dans une démarche de révision et de simplification des processus métier

Pour s'assurer que l'IA apporte une réelle valeur ajoutée, il est important de **réinterroger les processus métier, pour lesquels les capacités génératives de l'IA pourraient être intéressantes**. Pour prendre l'exemple concret et schématique de l'instruction d'un dossier d'autorisation environnementale, sans IA et avec IA, on constate que pour la production d'un même avis, les tâches, leur enchaînement, et les compétences nécessaires sont de natures assez différentes, et que seule la révision complète du processus peut permettre un gain de temps. En effet, un RAG peut extraire rapidement des données, mais nécessite d'être dirigé par un prompt pertinent et une source d'information (le dossier) bien identifiée. Les informations fournies nécessitent d'être contrôlées et vérifiées. De même, dans la phase de rédaction de l'avis, l'IAg est capable de fournir rapidement des écrits formellement bien rédigés, mais sa pertinence repose sur une analyse des points forts et faibles du dossier maîtrisée par le rédacteur et sur le fait d'être relu pour ajuster les approximations ou inexactitudes. **Cette approche ne correspond pas forcément au processus métier avant IA** (*Cf.* figure 1), où un opérateur humain est capable de qualifier la qualité de données d'entrée, de mettre en œuvre des consignes, même si celles-ci ne sont pas formulées de manière explicite et univoque, et qui assure lui-même un contrôle qualité de premier niveau de sa production, étant capable d'identifier ses sources. Dans cet exemple, le chargé de mission continue ainsi à maîtriser son savoir-faire de production d'avis environnemental et s'appuie sur un assistant IA pour produire une instruction de qualité, qui ne se substitue pas à lui.

Figure 1 Représentation synthétique d'une évolution de processus du fait de l'IA[29]



Source : mission

[29] Le schéma présente la chronologie des tâches mais la taille de chaque tâche n'est pas proportionnelle au temps réel passé par l'instructeur.

Ainsi, une utilisation efficace de l'IA nécessitera obligatoirement une révision plus ou moins profonde de tous les processus dans lesquels elle interviendra. En revanche, vouloir faire produire une IA sans changer ses processus générera de nouvelles tâches (de commande, de contrôle) sans forcément diminuer en proportion les tâches existantes.

Pour des chaînes de production plus complexes, il est nécessaire, pour exploiter le potentiel de l'IA, de **repenser l'ensemble des processus**, ce qui peut nécessiter de revoir de temps en temps les documents qualité internes et d'obtenir l'accord de sa hiérarchie, souvent garante de la qualité des processus en vue d'une production de référence.

La tentation peut être grande de s'appuyer sur l'IA pour aider à mettre en œuvre une réglementation dont la complexité rend difficile sa compréhension et son application par des agents humains. La mission alerte sur les risques très élevés qu'emporterait une telle démarche. En effet, l'IA ne détaille pas toujours le raisonnement qui l'a conduit au résultat qu'elle produit, et peut se tromper ou halluciner[30]. Les SIA qui s'appuient sur l'apprentissage automatique et, surtout, sur l'apprentissage profond (*cf.* §1.1.), ne permettent pas toujours d'expliquer le raisonnement qui a conduit au résultat produit par l'IA. C'est l'effet « boîte noire » : on voit ce qui entre et ce qui sort du système, mais le raisonnement interne reste opaque, y compris pour ses concepteurs. Or, dans certains domaines particuliers de l'action publique, il est nécessaire que le ministère puisse mettre en œuvre des principes de clarté et de transparence des décisions et de ses motivations, en particulier pour les décisions qui font grief.

Le déploiement de l'IA, du fait qu'elle nécessite de repenser la manière de travailler, peut constituer, si telle est l'intention de ses utilisateurs, une **opportunité pour mettre en œuvre des démarches de simplification**[31]. Il faut toutefois être conscient que la modification de processus et modalités de travail bien ancrés est un investissement qui prend du temps et n'est pas forcément compatible avec les échéances fixées par ces démarches de simplification.

Enfin, au-delà des usages actuels, le caractère profondément évolutif de l'IA doit conduire à introduire plus d'agilité au sein des organisations, de façon à permettre des ajustements. Les modèles progressent au fil des itérations, portés par l'enrichissement des corpus, les retours d'expérience et les avancées technologiques, avec des conséquences sur l'évolution des pratiques. L'émergence de l'IA agentique, capable d'enchaîner des actions de manière autonome pour atteindre un objectif, participe en outre de cette dynamique. Dans ce contexte, **les structures, les compétences et les modes de gouvernance doivent évoluer en continu de façon à tirer profit de ces évolutions.**

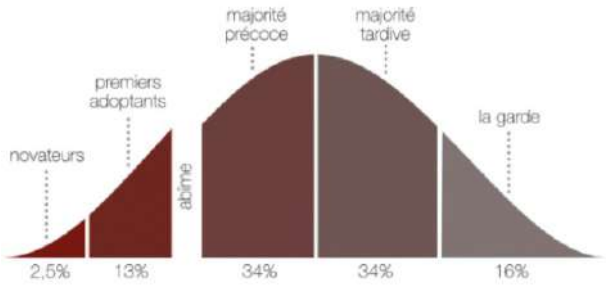
2.3.2 Une action managériale est indispensable pour le passage à l'échelle des projets d'IA et obtenir des gains significatifs

L'IA suscitant un intérêt certain au sein du ministère, de nombreux projets ont émergé, comme en témoigne la cartographie des projets présentée ci-avant. Pour autant, les usages de l'IA, même lorsqu'ils ont fait la preuve à petite échelle de leur intérêt et de leur efficacité, se heurtent comme de nombreuses évolutions technologiques à une **difficulté d'élargissement des usages au-delà de la base des novateurs et des premiers adoptants**.

[30] *Cf.* note de bas de page n°16

[31] La dernière démarche engagée de simplification a été lancée par Sébastien Lecornu en septembre 2025 et concerne l'État efficace. A ce titre, 70 mesures concrètes sont étudiées par les ministères depuis janvier 2026 pour rendre l'action de l'État plus « efficace » et « lisible ».

Figure 2 Courbe d'adoption des produits nouveaux, d'après la théorie d'Everett Rogers



Source : https://le-consultant-digital.com/marketing-digital/outils-digital-marketing/courbe-dadoption-de-linnovation

Or, pour prendre un exemple issu de la démarche « Inspection augmentée »[32], les outils de rédaction de comptes rendus et de synthèse permettent d'économiser 50 à 75 % du temps consacré antérieurement à cette tâche par les inspecteurs. Si on considère que cette tâche mobilisait 10 % de leur activité, mais que le taux d'adoption n'est que de 15 %, cela ne constitue qu'un gain de temps de 1,2 %, certes non négligeable pour les agents concernés, mais faible au niveau global. En revanche, si le taux d'adoption passe à 80 %, on peut espérer un gain de 6,4 % qui devient suffisamment significatif pour réorienter le temps dégagé à d'autres tâches ou activités.

Si le sujet de la formation et de l'accompagnement qui sont développés en partie 6 sont indispensables, dans un ministère encore fortement marqué par une structuration hiérarchique, la **généralisation de l'usage nécessitera que les managers aient une forme d'exigence sur l'usage des outils d'IA**, que celle-ci soit formalisée et partagée et qu'une évaluation régulière en soit faite.

Recommandation 2. ***[SG-STMAR, avec DG, SD, SG-autres directions] Pour les cas d'usages opérationnels à fort impact, simplifier et adapter les processus métiers afin d'exploiter pleinement le potentiel des outils d'IA. Accompagner le passage à l'échelle d'une démarche managériale structurée, en privilégiant le mode projet.***

[32] *Cf.* note de bas de page n°7

3 ADMINISTRATION DE LA DONNÉE : LE PRÉREQUIS STRUCTURANT DU DÉPLOIEMENT DE L'IA

Par « donnée », on entend toute information numérique utilisée dans le cadre professionnel. Celle-ci peut donc aller d'un simple chiffre ou texte, intégré ou non à une base de données, jusqu'à un « objet » digital comme un rapport, une photo ou un répertoire de fichiers. Cette acceptation large du terme « donnée » (ou data) est pertinente pour évoquer le potentiel de l'IA. Celle-ci permet en effet de traiter aujourd'hui un large spectre de données, même disparates et non ordonnées.

« L'administration des données » au sein d'une structure peut s'entendre comme l'ensemble des politiques, processus, outils et responsabilités mis en place pour gérer, organiser, sécuriser et valoriser les données de celle-ci tout au long de leur cycle de vie.

Si l'administration des données est un enjeu central pour toute organisation, elle devient critique pour le succès des projets et outils IA, ceux-ci s'appuyant sur des traitements probabilistes de données et posant de nouvelles questions de fiabilité ou de propriété intellectuelle.

3.1 Comment les autres ministères préparent leurs données à l'IA

En vue d'une utilisation d'outils IA, et notamment pour éviter les biais et les hallucinations aux conséquences potentiellement graves, il ressort du parangonnage (*Cf.* livrable n°4) qu'une attention doit être portée aux sujets suivants :

- **l'organisation de l'administration des données** : les principales difficultés rencontrées sont alors la multiplicité des systèmes d'information, la taille de l'écosystème de producteurs et de détenteurs de données, la structuration de ces dernières et la culture naturelle de la rétention. Dans plusieurs ministères, le mode de gouvernance des données conduit à responsabiliser les services sur leurs périmètres de données, à charge pour eux de les organiser et de les qualifier, tout en ayant un administrateur ministériel responsable de la stratégie et avec les moyens de piloter la politique associée ;

- **la qualité et la structuration des données** : pour les données anciennes, un « nettoyage » après audit est nécessaire pour vérifier notamment leur exactitude et leur exhaustivité, voire leur cohérence (ex : dédoublonnage). Pour les données futures, des actions de sensibilisation des producteurs et des procédures de vérification peuvent être mises en place ;

- **la sécurité** : les risques cyber[33] liés à l'utilisation de l'IA portent sur les données d'entraînement des modèles d'IA, sur les modèles eux-mêmes et sur les données fournies par les utilisateurs ;

- **la valorisation des données** : la question de disposer d'une véritable stratégie de la donnée se pose dans certaines administrations. Un des objectifs pourrait être de passer d'une simple mise à disposition (données ouvertes) à de nouveaux modèles économiques pour capter une partie de la valeur des services mis en place.

[33] Étant précisé que les menaces de sécurité (fuites de données, manipulations, détournements ou attaques automatisées) qui concernent les usages numériques sont souvent amplifiées de fait de l'utilisation des systèmes d'IA.

3.2 Comment les autres ministères administrent leurs données

L'administration des données d'une organisation est devenue primordiale avec la digitalisation de la société. La **fonction de directeur des données (appelé « CDO » pour *Chief Data Officer*), à plein temps, s'est largement développée dans le secteur privé comme dans le public**. Ses missions ont une dimension opérationnelle importante comme, par exemple, s'assurer de la cohérence, de la qualité et de la sécurité des systèmes de gestion de bases de données (SGBD) ou encore définir leurs normes d'utilisation et d'exploitation en lien avec les supports techniques.

Pour accompagner la politique de l'État sur « *l'ouverture libre, gratuite et par défaut de toutes les données dont la publication représente un intérêt économique, social, sanitaire ou environnemental* », la circulaire n°6264/SG du 27 avril 2021 relative à la politique publique de la donnée, des algorithmes et des codes sources, a créé la fonction d'**administrateur ministériel des données, des algorithmes et des codes sources (AMDAC)**. Les AMDAC sont « *chargés d'élaborer la stratégie [de leur ministère], de coordonner les parties prenantes et d'être le point de contact des utilisateurs de données et des applications numériques relevant de [son] périmètre* ». Ils déploient également d'une « *feuille de route présentant la stratégie de [leur] ministère* » visant notamment « *à développer les compétences relatives aux données, aux algorithmes et aux codes sources au sein de [leurs] administrations, notamment pour les cadres dirigeants, supérieurs et intermédiaires* ». La directrice interministérielle du numérique (DINUM), en sa qualité d'administratrice générale des données, algorithmes et codes sources [AGDAC], assure la coordination du réseau des AMDAC et doit faciliter les travaux interministériels sur les données.

La fonction d'AMDAC se concentre donc plus sur des questions de stratégie et de coordination interministérielle en lien avec l'ouverture des données. Certains ministères[34], disposant d'un CDO avant l'entrée en vigueur de la circulaire, ont naturellement choisi de le nommer AMDAC.

La directrice de la DINUM, en tant qu'AGDAC, se présente comme « CDO » auprès du gouvernement, mais elle a recruté auprès d'elle, à l'été 2025, une AGDAC déléguée, spécialiste du numérique et de la *data*.

Il y aujourd'hui, hors DINUM, 14 AMDAC et 10 AMDAC délégués[35]. Sur ces 14 AMDAC :

- 9 sont dans les services du numérique de leur ministère, 7 directeurs ou chefs de service[36] auxquels s'ajoutent 2 des 3 CDO AMDAC (*Cf.* ci-dessus) ;
- l'AMDAC du secrétariat général du gouvernement (SGG) est la responsable de la mission d'organisation des services du Premier ministre, le SGG n'ayant pas de direction numérique ;
- au sein du MTSSF, l'AMDAC pour la partie « santé » est le directeur de son service statistique (direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques ou DREES), alors que l'AMDAC pour la partie « travail » est la DNUM, ce qui s'explique par l'existence actuelle de deux systèmes d'information au sein du même ministère ;
- le CDO AMDAC du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche est positionné à la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI), s'occupant également de la valorisation des données de la recherche et de l'enseignement, ainsi que de la gestion et du pilotage des établissements ;
- l'AMDAC du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires est le commissaire général et délégué interministériel au développement durable (CGDD), auquel sont rattachés deux AMDAC délégués, le responsable d'Ecolab et le directeur général délégué chargé du numérique de l'ANCT.

[34] Ex : Économie et finances, Éducation nationale, Sports, Recherche et enseignement supérieur

[35] *Cf.* liste publiée par la DINUM https://www.data.gouv.fr/datasets/liste-des-administrateurs-ministeriels-des-donnees-des-algorithmes-et-des-codes-sources

[36] Intérieur, Travail, Culture, Agriculture, Armées, Justice, Affaires étrangères

3.3 Comment le pôle ministériel administre actuellement ses données

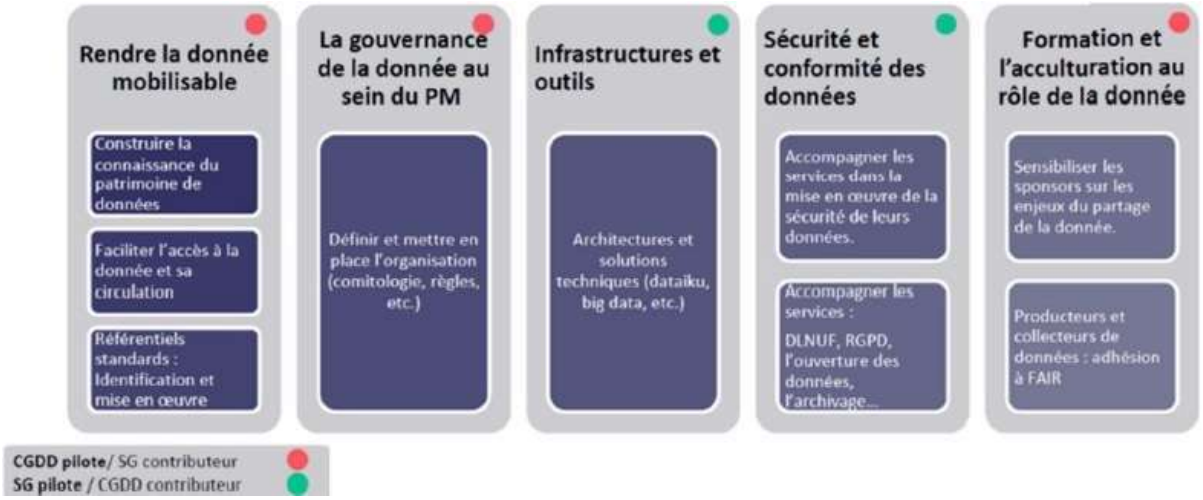
Le pôle ministériel a publié en septembre 2021 pour la première fois une feuille de route de la donnée, des algorithmes et des codes sources[37] (*Cf.* §1.3.1). Le CGDD, en tant qu'AMDAC, a piloté sa réalisation en lien avec le SG.

L'annexe 2 de cette feuille de route précise ainsi le **rôle des différents services dans la politique de la donnée** (*Cf.* figure 3 ci-dessous) :

- au CGDD :
  - Ecolab (AMDAC délégué) suit les questions d'ouverture des données (notamment https://ecologie.data.gouv.fr, plateforme des données publiques sur l'écologie), travaille sur le catalogage et les référentiels communs, promeut les espaces communs de données (ECD), anime la montée en compétence, promeut l'usage de la donnée et s'occupe de la gouvernance de la donnée géographique ;
  - la sous-direction de l'animation scientifique et technique (AST) travaille sur des projets de production et d'usage de données au sein du réseau tutelle ;
  - la sous-direction de la stratégie éditoriale et de la diffusion (SDSED) gère le portail d'information environnementale notre-environnement.gouv.fr ;
  - le service des données et des statistiques (SDES) produit et met à disposition les données statistiques les jeux de données du pôle ministériel sur https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr .
- le SNUM (devenu DNum) est chargé des questions d'architectures et de solutions techniques, d'urbanisation, d'infrastructures, de sécurité. Il accompagne les services pour la mise en œuvre des outils sur ces questions, sur le « Dites-le nous une fois » et sur le règlement général sur la protection des données (RGPD) ;
- les DG comme les services déconcentrés se dotent d'une stratégie et d'outils en matière de production (partenariat possible) et d'usage de la donnée au service des politiques publiques portées. Ils appliquent également la politique d'ouverture de la donnée publique pour la transparence ;
- la DRH suit les questions de recrutement d'experts de la donnée, de montée en compétence, de formation et d'acculturation à la donnée, d'usage des données des ressources humaines ;
- la DAJ conseille les services en matière de droit de la donnée et garantit l'application du règlement général sur la protection des données (RGPD) ;
- le conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD, devenu IGEDD) contrôle et évalue la politique de la donnée du pôle ministériel.

[37] https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/feuille-route-donnee-algorithmes-codes-sources

Figure 3 Répartition des rôles entre SNUM et CGDD sur la donnée



Source : feuille de route 2021, pôle ministériel transition écologique, aménagement du territoire, transports, ville et logement

En septembre 2025, le pôle ministériel a sorti sa nouvelle feuille de route intitulée « Numérique et intelligence artificielle » (*Cf.* §1.3.1), présentée comme l'actualisation de celle de 2021. Cette nouvelle version couvre moins de problématiques sur la donnée que la précédente, cette dernière n'ayant fait l'objet d'aucune évaluation.

Plusieurs sujets n'ont pas été menés à leur terme comme, par exemple, les stratégies « donnée » des DG et des services déconcentrés, les systèmes d'information documentaires (*Cf.* ci-dessous), le catalogage ou l'archivage. D'autres ne semblent pas suivis avec des indicateurs, comme l'acculturation à la qualité et à la sensibilité des données où plusieurs actions ont été entamées (webinaires juridiques et techniques, diffusion d'outils d'autodiagnostic, *vade-mecum* sur les données sensibles en cours d'élaboration). Il n'y ainsi pas de chiffrage d'objectifs de personnels sensibilisés, *a fortiori* ni de mesure de l'avancement des démarches.

A l'image du partage des missions entre la DNum et le CGDD (*Cf.* Figure 3), le pôle ministériel fonctionne sur la question des données de façon cloisonnée :

- le CGDD, avec ses équipes expertes, a réalisé des travaux importants[38] sur l'ouverture des données (3 plateformes de données ouvertes + ECD, *Cf.* ci-dessus) et la création de standards ou d'outils de référence. Côté projets IA, le CGDD est associé aux travaux sur SofIA ;
- la DNum s'occupe des infrastructures, des outils et de la cybersécurité. Elle est responsable du bon fonctionnement du Piag, qu'elle a développé. La Fabrique du numérique, incubateur des projets de start-up d'État du pôle ministériel, se trouve à la DNum ;
- deux systèmes d'information documentaires coexistent. Le SIDoc (SIDoc MTE - Portail documentaire du ministère de la transition écologique), au niveau du SG, comporte 6500 notices documentaires (informations sur la publication et mots-clés). Le SIDE (SIDE - Portail Web SIE), au niveau du CGDD, est constitué de 200 000 documents consultables. Le SG, en accord avec le CGDD, prévoit l'intégration du SIDE dans le SIDoc, géré par la mission de la politique documentaire (MD). Il a par ailleurs invité en juillet 2025 tous les services à déposer dans le SIDoc toutes leurs productions « validées et communicables » en vue d'un versement par MD dans SofIA ;

[38] *Cf.* liste complète dans la fiche CGDD dans le livrable n°2

- les DG communiquent au CGDD certaines données devant être accessibles facilement au public, essentiellement via ecologie.gouv.fr mais elles gèrent plus ou moins seules le reste de leurs données métiers, selon leurs propres méthodes. Le CGDD et la DNum mettent à disposition des DG et des services déconcentrés des outils, par exemple sur l'acculturation à la donnée et l'importance de sa qualité. Mais il ne semble pas que les DG ou les services déconcentrés aient mesuré l'évolution de leurs personnels en la matière et pris d'éventuelles mesures d'amélioration. Ce suivi extérieur ne semble fait par personne.

Idéalement, en termes d'administration des données, il faudrait être en mesure de les suivre tout au long de leur cycle de vie, depuis leur production jusqu'à leur archivage ou leur destruction en passant par les traitements qui leur sont appliqués (*Cf.* figure 4). L'organisation actuelle autour du CGDD et de la Dnum, particulière à notre ministère (*Cf.* § 3.2), conduit à ne pas traiter l'ensemble de cette chaîne. Ainsi :

- on ne peut connaître au niveau du SG ou du CGDD, sauf à mener des enquêtes spécifiques, la gestion et la qualité d'un nombre important de jeux de données dans les DG et services déconcentrés :
  - les données dites « fermées » par opposition aux « données ouvertes »,
  - les données à vocation publique non publiées à ce jour sur nos plateformes,
  - les données non structurées, dont certaines pourraient alimenter l'IA.
- l'interopérabilité entre systèmes d'information[39] n'est donc pas facilitée. La compatibilité entre données de différents services se traite actuellement au niveau des plateformes de données ouvertes[40] pour lesquelles Ecolab réalise un travail d'amélioration de la qualité (harmonisation des standards[41], métadonnées, dédoublonnage) ;
- l'archivage ne semble pas avoir été pensé dans sa globalité. Depuis de nombreuses années, les documents produits sont dans la très grande majorité des cas nativement numériques. Leur archivage numérique futur peut donc être anticipé pour économiser du temps de traitement le moment venu. L'IA pourrait amener à l'intégration de nouveaux critères pour la gestion documentaire, par exemple savoir si l'IA a été utilisée pour créer un document.

[39] Comprenant les potentiels (non identifiés à ce stade) les gestions électroniques de documents (GED), qui présentent l'avantage de gérer des données non structurées.

[40] ecologie.data.gouv.fr centralise près de 30 000 jeux de données environnementales (soit la moitié de data.gouv.fr) avec des outils dédiés à l'amélioration de la qualité des métadonnées et à leur interopérabilité

[41] Réduction du nombre d'indicateurs de transition écologique de 10 000 à 100 standards.

Figure 4 Cycle de vie de la donnée



Source : mission

3.4 Comment mieux administrer les données du pôle ministériel au regard du déploiement de l'IA ?

Partant des constats cités précédemment :

- la question de la donnée est centrale pour le ministère de la transition écologique au vu de ses différentes expertises techniques et des politiques publique dont il a la charge ;
- la feuille de route de la donnée 2021 et celle de 2025, qui précise les sujets d'IA, traitent des enjeux les plus importants autour de la donnée, à l'exception de celui des SI documentaires. Il n'existe néanmoins pas de plan d'actions à ce jour ;
- les missions d'administration des données ne sont pas assurées pleinement aujourd'hui au sein du pôle ministériel (couverture incomplète des données, interopérabilité, gestion du cycle de vie jusqu'à l'archivage), à côté d'un investissement important du CGDD sur les données ouvertes à destination de plateformes publiques et de la DNum sur des volets techniques. **Découpler la gestion des systèmes d'information et l'administration des données est inhabituel et ne semble pas des plus efficaces** ;

- il existe un manque de visibilité sur la gestion des données des DG et des services déconcentrés, notamment sur leur description et sur leur qualité. Ceci s'explique par un certain cloisonnement entre services et l'absence d'une organisation coordonnée autour de la donnée.

Recommandation 3. ***[SG, CGDD] Créer une fonction de directeur des données (CDO) à plein temps pour mieux organiser et coordonner la préparation et la gestion des données ministérielles nécessaires à l'IA. Pour cela, un plan d'actions « Données pour l'IA » devra être lancé rapidement.***

Plus précisément, la mission propose de préparer et lancer un programme mobilisateur « Données pour l'IA » visant à préparer au plus vite les données à l'utilisation de l'IA autour de l'administration des données, de leur structuration et mise en qualité (documentation comprise), de leur valorisation ainsi que des questions de sécurité et de robustesse :

- à partir des feuilles de route 2021 et 2025, actualiser une stratégie[42] qui prioriserait les actions à mener autour de la donnée en général et, plus particulièrement, en vue d'utiliser l'IA;
- identifier les données (catalogage général) nécessaires à l'utilisation actuelle et future d'outils IA sur la base de la cartographie des projets du pôle ministériel (*Cf.* livrable n°3) ;
- élaborer ce programme rapidement[43]. Il doit être bâti en lien avec les grands projets IA déjà lancés (*Cf.* livrable n°3) et à venir (*Cf.* livrable n°2) ;
- intégrer un volet technique sur les questions d'hébergement[44] (ex : souveraineté des SI, confidentialité des données) et d'architecture informatique (ex : urbanisation des SI).

Pour ce faire, le CDO pourra animer le réseau des référents Données (*cf.* livrable n°2) présents dans l'ensemble des directions générales, régionales et chez les opérateurs. Pour des questions d'expertise technique, il pourra également, en lien avec Ecolab, s'appuyer sur la communauté de la donnée (366 membres actuellement, *cf.* livrable n°2).

[42] Il conviendra de s'assurer de la cohérence avec la feuille de route plus générale sur l'IA « *Intelligence artificielle et transition écologique* » du pôle ministériel, déclinaison de la SNIA, publiée le 15 septembre 2021 et actualisée le 28 novembre 2023.

[43] Cela pourrait faire l'objet d'une mission confiée à l'IGEDD.

[44] A noter que SofIA est hébergé à l'Ademe, contrairement au Piag qui est à la DNum.

4 MAÎTRISER LES RISQUES TECHNIQUES, ÉTHIQUES, JURIDIQUES ET ORGANISATIONNELS

Les risques étant de natures très différentes, la mission n'a pas fait le choix de les hiérarchiser, mais de les présenter par thématiques en s'appuyant sur les entretiens réalisés pour le parangonnage (*Cf.* livrable n°4). Des pistes opérationnelles pour traiter ces risques sont alors proposées.

4.1 L'usage de l'IA présente des risques, pour certains nouveaux, que le pôle ministériel a déjà bien appréhendés

Le risque le plus souvent cité durant les entretiens a été celui des **usages et des notions juridiques et éthiques associées** (26 % des citations). Les entités rencontrées soulignent le risque de **perte d'esprit critique** et la « fausse sécurité » qu'induisent notamment les IAg, qui apportent formellement des réponses paraissant cohérentes et que l'utilisateur ne viendrait pas vérifier ou confronter à sa propre compétence. Les risques liés au « ***Shadow* IA »** sont fortement soulignés, notamment du fait de la crainte de fuite de données sensibles ou personnelles sur des outils non conformes. L'usage de l'IA pose également des questions relevant de la **définition de la propriété intellectuelle de la production** réalisée et de la **responsabilité de la décision** prise sur la base de l'IA. Enfin, sur cette thématique, des entités interrogées alertent sur le risque d'« effet rebond », qui entraînerait un développement de l'usage des IA non réfléchi et qui viendrait accroître la charge de travail humaine au lieu de l'alléger. En revanche, et de façon étonnante, les risques générés par un non-respect du règlement européen sur l'IA sont peu cités, alors même que des obligations de mise en conformité s'appliquent dès 2026 pour les organisations ayant recours à l'IA. **Une analyse de la conformité des SIA expérimentés ou déployés au sein du pôle ministériel est donc nécessaire.**

Le deuxième risque le plus cité concerne les **données** (22 % des citations). Beaucoup de personnes interrogées alertent sur la **fuite possible de données sensibles**, ou sur **l'hébergement sur des infrastructures non souveraines** de données sensibles. Le parangonnage rappelle également l'impératif d'avoir des données d'entrée de qualité, au risque sinon d'avoir un résultat décevant en sortie de l'outil selon l'adage « *garbage in, garbage out* »[45].

Le troisième risque mentionné concerne la **production** (16 % des citations). Sans surprise, le **risque d'hallucination** des IAg a été régulièrement abordé, sur la base d'exemples précis, ce qui pose globalement la question de la fiabilité de l'IA. La problématique des **biais** introduits par l'IA a également été citée, en soulignant la difficulté de les détecter de manière rapide. Enfin, l'absence de sourçage et le résultat fourni par une « boîte noire » contribue à ce risque d'une production non contrôlée dans son aspect qualitatif.

Le **risque humain** apparaît en quatrième position (16 % des citations). Derrière cette notion, les personnes interrogées ont alerté sur le risque de **perte d'expertise**, si l'on s'appuie trop systématiquement sur une production réalisée par l'IA, sans avoir consolidé les compétences-socle nécessaires à une relecture critique du résultat produit. Les **risques psycho-sociaux** ainsi que les tensions sociales liés au bouleversement des organisations sont souvent relevés. L'IA entraînerait également des risques de suppressions subies de postes et des résistances au changement. Certains soulignent le risque de **perte d'attractivité des postes** et d'obsolescence accélérée des compétences acquises. Enfin, la place de l'IA dans la formation initiale est interrogée, notamment

[45] Le principe « *garbage in, garbage out* » (GIGO), né avec l'informatique, repose sur le fait que l'utilisation de données erronées ou de mauvaise qualité produit des résultats erronés ou de mauvaise qualité. Il insiste sur la nécessité, avant tout développement informatique, de disposer de données de qualité afin de produire de résultats pertinents.

la lenteur estimée par certains de l'appropriation de ces outils dans les méthodes pédagogiques des écoles de cycle supérieur.

La **dépendance** envers des acteurs stratégiques mondiaux et la possibilité que ceux-ci profitent à terme, après une probable phase de consolidation, de cette position dominante pour imposer des prix élevés constitue un motif d'inquiétude, ainsi que l'obsolescence rapide des technologies (matériels et logiciels) qui peuvent amener dans certains cas à une « course à l'armement » [46].

Les **impacts environnementaux et énergétiques** font l'objet de seulement 6 % des mentions ce qui semble indiquer que ce risque est peu identifié ou non prioritaire pour beaucoup d'interlocuteurs rencontrés.

Les **risques managériaux** ou associés au collectif apparaissent moins fréquemment (5 % des mentions) et sont de natures diverses. Certains pointent la possibilité d'une déresponsabilisation des managers dans la production de leurs équipes, une fragilisation de l'expertise collective au bénéfice d'un usage individuel des outils d'IA. Le risque d'une fracture générationnelle est également identifié. Certains craignent que l'IA soit un frein à l'innovation, en ne proposant que des solutions inspirées du passé et d'autres s'inquiètent au contraire que le management soit trop peu sensibilisé aux sujets d'IA et « laisse passer le train de la transformation associé ».

Enfin, le risque de l'IA lié à la sécurité des applications et notamment les risques « cyber » est cité marginalement.

4.2 L'établissement d'une matrice des risques IA pour le pôle ministériel faciliterait leur hiérarchisation et le suivi des actions de maîtrise associées

Le parangonnage a également permis de recenser des actions concrètes de maîtrise des risques. La mission souhaite attirer l'attention du pôle ministériel sur **les risques les moins couverts par des actions de maîtrise**.

Tout d'abord, la conformité au règlement européen 2024/1689 sur l'IA[47] semble faire l'objet de peu d'actions concrètes. Pour rappel, le RIA vise à s'assurer que les systèmes d'IA soient sécurisés, transparents, éthiques, et respectueux des droits fondamentaux (liberté, non-discrimination, données personnelles, sécurité, etc.). Il hiérarchise les risques en quatre niveaux allant du risque inacceptable au risque minimal et engage aussi bien les fournisseurs de systèmes d'IA que ceux qui les utilisent, comme c'est le cas du pôle ministériel par exemple. Dans le cadre du suivi des projets d'IA, il est important que le **ministère évalue à quel niveau de risque, selon la classification RIA, correspond chaque projet et garantisse l'application des règles associées**. Dans l'organisation interne du pôle ministériel, il convient d'être clair sur qui porte cette responsabilité de la conformité au RIA, la met en œuvre et la suit. Il semblerait cohérent pour la mission que cela soit confié à la DAJ, au titre de ses compétences juridiques sur ce sujet.

De même, **les outils d'IA doivent répondre aux exigences du règlement général sur la protection des données (RGPD)**. Sur ce point, la commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) a publié en 2025 des recommandations sur le développement et l'entraînement d'outils d'IA à partir de données personnelles[48]. Ce cas est encore marginal pour le pôle ministériel, qui s'appuie plutôt sur des outils externes que sur des outils entraînés avec des bases internes. Pour

[46] La mission entend par là l'obligation d'un renouvellement des technologies, alors même que celles-ci ne sont pas hors service, mais rendu nécessaire par des modèles toujours plus exigeants en termes de capacité calculatoire.

[47] Lien vers le règlement sur l'IA : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1689.

[48] Lien vers les recommandations de la CNIL : https://www.cnil.fr/fr/developpement-des-systemes-dia-les-recommandations-de-la-cnil-pour-respecter-le-rgpd

autant, avec le développement des outils de type RAG et de la possibilité d'ajuster localement des modèles d'IA, le ministère pourra s'appuyer sur les fiches pratiques CNIL qui détaillent en 11 étapes comment intégrer les enjeux de protection des données dans l'entraînement des IA. **Le pôle ministériel doit également s'assurer que les processus faisant appel à des SIA sont conformes aux normes volontaires dont il est détenteur, notamment le label AFNOR portant sur l'égalité professionnelle et la diversité**.

La Cour des comptes[49] souligne la mise en œuvre des obligations normatives et formule des recommandations sur les conditions d'utilisation des données à caractère personnel, la conformité au règlement européen sur l'IA et l'éthique. **Elle attire également l'attention sur l'importance d'une gouvernance renforcée du sujet**.

Concernant les usages, **si les chartes semblent devenues une norme incontournable, elles ne constituent pas une garantie suffisante d'un usage conforme aux règles des outils mis à disposition**. Dans le cadre du déploiement en cours du Piag, le pôle ministériel pourrait rechercher à mieux analyser les usages qui en sont fait, via une analyse qualitative des requêtes *a minima* annuelle. Il pourrait réfléchir à mettre en place des procédures afin de cibler sa communication et son accompagnement sur les écarts constatés avec les règles édictées, tout en luttant contre le *Shadow IA*.

La mission a recensé **peu d'exemples concrets d'actions de maîtrise des risques liés à la perte de cohésion des collectifs**, alors même que ces risques sont régulièrement cités. Elle invite le pôle ministériel à développer des dispositifs tels que la formation entre pairs ou la mise en place de binômes avec des expériences professionnelles et d'usages de l'IA diversifiés. Plus généralement, cela renforce la nécessité pour les managers de trouver des lieux de mise en œuvre du collectif, qui compensent le risque de « chacun pour soi » généré par les outils d'IA.

Au regard du nombre important de projets d'IA identifiés par la mission, de la grande diversité des risques qu'ils génèrent, et de l'évolution dans le temps de leur criticité, il semble difficile que la mission propose *a priori* une évaluation des risques. Elle encourage en revanche le pôle ministériel à se doter des outils classiques de gestion des risques comme par exemple une **matrice des risques** (*Cf.* Tableau 1 ci-dessous). Celle-ci les présenterait et décrirait leur nature (afin de pouvoir les classer par grandes familles). Ils seraient ensuite cotés, par exemple selon la matrice de Farmer. Les actions engagées par le pôle ministériel seraient également précisées.

Il est bien évidemment possible, selon les moyens mobilisés par le pôle ministériel sur le sujet, d'avoir une approche plus détaillée. Cette matrice serait examinée dans les instances de gouvernance de l'IA, à fréquence semestrielle, par exemple, et mise à jour à la même fréquence. Le **pôle ministériel pourrait s'appuyer utilement pour cadrer sa démarche d'analyse des risques sur la norme ISO/IEC 42001**, norme internationale dédiée au management de l'intelligence artificielle, publiée officiellement en décembre 2023. Celle-ci vise à aider les organisations à gouverner le cycle de vie des systèmes d'IA, à maîtriser les risques liés à l'IA, à assurer une IA digne de confiance et à aligner l'IA avec la stratégie, les valeurs et les obligations réglementaires.

Les SIA doivent particulièrement intégrer la notion de résilience dès leur conception (mauvaises utilisations, maintien de la qualité des données, défaillances techniques, attaques malveillantes) afin d'assurer continuité et fiabilité.

[49] Cour des comptes, France Travail et l'intelligence artificielle, observations définitives S2025-1558, 8 janvier 2026, https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2026-01/20260108-S2025-1558-France-Travail-et-intelligence-artificielle_0.pdf

Tableau 1 Exemple de matrice des risques associés à l'IA

Nature de risque	Intitulé du risque	Description du risque	Gravité	Occurrence	Criticité	Actions de maîtrise des risques
Production	Biais	Introduction de biais non maîtrisés au travers des algorithmes d'lag utilisés	4	4	16	Audit diligenté par la DNUM sur les outils d'IA déployés pour contrôler l'existence éventuelle de biais
Usages	Shadow IA	Utilisation d'outils d'IA hors comptes ministériels sans contrôle ni maîtrise	4	5	20	Déploiement du Piag et communication rappelant les risques encourus en cas d'usage de l'IA hors outils du ministère
Usages	Responsabilité de la production	Flou sur la personne ayant la responsabilité de la production dans le cas d'un usage de l'IA	3	3	9	Demande de mention systématique de l'usage de l'IA dans la rédaction documentaire et d'un signataire physique des documents
Usages	Perte d'esprit critique	Incapacité à porter un regard critique sur les productions de l'IA et de détecter d'éventuelles erreurs	4	4	16	Formation des agents aux risques liés à l'usage de l'IA et obligation de formation initiale sans recours à l'IA
Données	Fuite de données confidentielles	Envoi de données confidentielles à un outil non souverain et non propriétaire	4	3	12	Communication rappelant les risques encourus en cas d'usage de l'IA hors outils du ministère
Environnemen	Consommation énergétique	Augmentation de la consommation énergétique non maîtrisée et contraire aux objectifs généraux définis par le pôle ministériel	2	4	8	Sensibilisation aux usages lors des formations Analyse de l'usage du Piag et quotas éventuels
Sécurité	Attaque cyber	Attaque des systèmes d'informations du pôle ministériel facilitée par les outils d'IA	4	1	4	Audit sur la résilience du système face aux attaques cyber

Exemple

Source : mission

Recommandation 4. ***[SG-Coordinateur IA[50]] Élaborer et mettre à jour une matrice des risques liés à l'IA, incluant les actions préventives et correctives correspondantes, en s'inspirant de la norme ISO/IEC 42001. La présenter dans les instances de gouvernance de l'IA et la mettre à jour selon une fréquence au moins semestrielle.***

[50] *Cf.* §7 pour la définition de cette fonction

5 ÉVITER ET REDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES IA : UNE NECESSITE POUR L'ÉTAT, UNE OPPORTUNITE POUR LE POLE MINISTERIEL DE MONTRER L'EXEMPLE

5.1 Le développement de l'IAg soulève des enjeux environnementaux croissants

L'impact des SIA sur l'environnement est préoccupant, ce qui conduit le pôle ministériel à mener des actions de sensibilisation sur l'IA frugale et à financer des projets innovants. Cet effort mérite d'être amplifié et décliné de façon opérationnelle dans le déploiement des IA au sein des administrations de l'État.

Bien qu'il représente 35 % de l'empreinte carbone totale du cycle de vie d'un SIA et soulève des enjeux importants de souveraineté, le coût environnemental de la fabrication des infrastructures (CPU[51], GPU[52], TPU[53], mémoires, serveurs) est souvent négligé[54]. Cette proportion est pourtant amenée à augmenter à mesure que le mix électrique se décarbone dans le monde. La fin de vie du matériel est également une source importante d'impact puisque seuls 17 à 20 % des composants sont recyclés (The Shift Project, 2025).

L'IAg accélère également la création de données dans le monde : deux zettaoctets[55] en 2010 contre 175 en 2025[56] et les projections annoncent plus de 2 100 zettaoctets d'ici 2035 (Statista). Dans ce contexte, l'administration de la donnée contribue de manière structurelle à l'augmentation de la consommation électrique mondiale des centres de données, qui atteignait 415 TWh en 2023 (soit 1.5 % de la consommation électrique mondiale) et devrait plus que doubler d'ici 2030 (945 TWh), l'IA étant le principal facteur de croissance (IEA, 2025). La stratégie d'administration de la donnée (partie 3 du rapport ci-avant) doit par conséquent encourager des pratiques responsables, **afin d'administrer les corpus nécessaires aux IA dans l'objectif de réduire leur empreinte environnementale.**

En outre, selon l'étude de Strubell et al. (2019)[57], **l'entraînement des grands modèles de traitement automatique du langage d'IA génère un impact environnemental non négligeable**. A titre d'exemple, BERT base, pré-entraîné pendant 96 heures sur de vastes corpus, émet 652 kg

[51] *Central Processing Unit*, processeur central d'un ordinateur, chargé d'exécuter les instructions générales des programmes et de coordonner l'ensemble des opérations du système.

[52] *Graphic Processing Unit*, ou unité de traitement graphique, processeur spécialisé conçu pour exécuter massivement en parallèle des calculs graphiques et numériques, principalement pour l'affichage 3D et l'accélération de tâches computationnelles.

[53] *Tensor Processing Unit* est un circuit intégré spécialisé développé par Google pour accélérer les calculs de réseaux de neurones en optimisant le traitement des tenseurs.

[54] *Cf.* annexe 6

[55] Unité de mesure du volume de données qui représente 10^{21} octets.

[56] Source : Statista

[57] Emma Strubell, Ananya Ganesh, et Andrew McCallum, "Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP," in *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, éd. Alexandra Birch et al. (Florence : Association for Computational Linguistics, 2019), 3645-50, https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355

de CO_2eq[58]. Mais au-delà de l'entraînement isolé d'un modèle, l'étude démontre que c'est le processus complet de développement, incluant l'exploration d'hyperparamètres[59], qui se révèle le plus émissif. Les travaux des chercheurs ont ainsi nécessité près de 4 800 entraînements sur six mois, représentant près de 10 000 jours cumulés de calcul GPU (27 années). La consommation électrique de l'ensemble du processus a atteint près de 4900 kWh pour un coût financier compris entre 103 000 et 350 000$. En outre, ces travaux quantifient aussi les émissions liées à l'architecture NAS (*Neural Architecture Search*)[60], qui produit 284 tCO_2eq, soit l'équivalent de 140 vols Paris-New York allers et retours pour un passager.

Enfin, l'inférence, c'est-à-dire l'exécution des modèles d'IA à chaque requête d'un utilisateur, présente une empreinte carbone en très forte croissance du fait de la vitesse de diffusion et d'adoption des IAg. Pour les grands modèles de langage, l'inférence pourrait rapidement devenir la phase la plus impactante car elle repose sur des serveurs mobilisés en continu pour répondre à des millions de requêtes[61]. La facilité d'adoption des IAg entraîne une multiplication des usages, qui fait courir le risque du **paradoxe de Jevons**[62], évoqué dès 2018 dans le rapport Villani[63]. Cet « effet rebond » constitue un enjeu majeur pour le pôle ministériel : même si l'empreinte carbone par requête s'améliore grâce à des modèles optimisés et des GPU plus efficaces, l'augmentation exponentielle du volume d'inférences pourrait remettre en cause les gains environnementaux directs et indirects qui résultent des progrès techniques. Cet enjeu dépasse la seule éco-conception des SIA. Aussi **le pôle ministériel peut-il utilement communiquer, en interne comme en externe, sur les principes de sobriété des usages de l'IA.**

5.2 Faire de l'IA responsable un enjeu majeur de la stratégie nationale et le décliner de façon opérationnelle au sein des organisations publiques

La conception et le déploiement des SIA placent la filière dans une position insoutenable au regard des objectifs climatiques en France et en Europe. Ces émissions directes de gaz à effet de serre au niveau mondial atteindraient en effet entre 630 et 920 $MtCO_2$eq en 2030, soit jusqu'à deux fois les émissions d'un pays comme la France[64]. La poursuite de la trajectoire actuelle reviendrait à

[58] Soit l'équivalent de 60 tonnes sur une année, ce qui représente la consommation moyenne de six Français.

[59] Un hyperparamètre en IA est une valeur définie avant l'entraînement d'un modèle pour réguler le processus d'apprentissage automatique. Il peut s'agir par exemple du taux d'apprentissage, de la profondeur d'un arbre de décision ou du nombre de couches dans un réseau neuronal. Contrairement aux paramètres du modèle (comme les poids des connexions neuronales), qui sont automatiquement ajustés pendant l'entraînement à partir des données, les hyperparamètres sont choisis par le praticien ou optimisés via des techniques de recherche automatisée.

[60] La *Neural Architecture Search* (NAS) est une technique qui permet à une IA de concevoir automatiquement la meilleure architecture de réseau neuronal pour une tâche donnée. En d'autres termes, c'est une IA qui optimise la structure d'une autre IA.

[61] Alexandra Sasha Luccioni, Yacine Jernite, et Emma Strubell, "Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?," in *Proceedings of the 2024 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 1657-65, New York, NY: Association for Computing Machinery, 2024, https://doi.org/10.1145/3630106.3658542

[62] Phénomène selon lequel une amélioration de l'efficacité dans l'utilisation d'une ressource (énergie, matières premières, etc.) peut entraîner, par un effet de baisse des coûts et d'augmentation de la demande, une hausse de la consommation totale de cette ressource, plutôt qu'une diminution.

[63] Cédric Villani et al., Donner du sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne (Paris : La Documentation française, 2018), 235

[64] The Shift Project, *Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné?*, rapport final, Paris : The Shift Project, 1er octobre 2025, https://theshiftproject.org/app/uploads/2025/09/Synthese-RF-PIA-1.pdf

s'éloigner drastiquement de l'objectif cible SBTi (*Science Based Targets initiative*[65]), qui fixe une réduction des émissions de 45 % entre 2020 et 2030 pour le secteur numérique.

5.2.1 Doter la stratégie nationale en IA d'objectifs ambitieux en matière environnementale

Le parangonnage interministériel réalisé par la mission met en avant la préoccupation d'une grande majorité des acteurs rencontrés à propos de l'impact environnemental de l'IA. Certes, des actions de sensibilisation sont menées par le pôle ministériel, en lien avec la DINUM. Un kit d'engagement pour l'IA frugale, qui compile des fiches de bonnes pratiques, a été publié par le CGDD en juin 2025[66]. En pratique, la logique d'évitement et de réduction des impacts environnementaux reste toutefois peu prise en compte dans les projets d'IA. Le sujet est d'ailleurs peu porté au sein de la stratégie nationale en IA (SNIA), si ce n'est pour la recherche (charte et catalogue de bonnes pratiques). La nécessaire frugalité de l'IA n'est d'ailleurs pas mise en avant par le comité interministériel à l'IA dans sa publication qui précédait l'ouverture du sommet mondial sur l'IA en février 2025[67]. Le gouvernement ne formalise pas d'engagement concret en matière de sobriété des IA et de leurs usages, la question du coût environnemental de l'IA étant quasi exclusivement évoquée dans la fiche relative aux actions du ministère de la transition écologique. Cette situation paraît paradoxale au regard de la proactivité de la France pour lancer et animer une coalition internationale pour une IA durable[68].

Dans son rapport publié fin 2025[69], **la cour des comptes souligne que les enjeux liés à la frugalité, à la soutenabilité et aux besoins énergétiques de l'IA restent insuffisamment intégrés dans la stratégie nationale**. Elle recommande de mieux prendre en compte ces dimensions dans l'ensemble des volets de la SNIA, notamment en poursuivant et en renforçant les engagements relatifs à une IA de confiance, frugale et soutenable. La cour invite également l'État à améliorer l'information des utilisateurs sur la consommation énergétique des systèmes d'IA et à orienter les choix vers les solutions les plus sobres. Ces orientations sont formalisées dans la recommandation n°5, adressée au Premier ministre ainsi qu'aux ministères chargés de l'économie, de l'enseignement supérieur et de la recherche, et des affaires étrangères, ainsi qu'à l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria). De façon étonnante, cette recommandation n'est pas adressée au pôle ministériel.

Le pôle ministériel est légitime pour porter cette action à l'interministériel, en lien avec la coordination nationale pour l'IA et fixer des objectifs environnementaux aux administrations de l'État dans le cadre de leurs politiques de déploiement de l'IA.

5.2.2 IA responsable : passer de la préoccupation à l'action

Certains outils d'IA proposent une mesure de l'impact environnemental d'une requête (Piag, Compar:IA)[70], mais il n'existe pas, à date, d'obligation d'intégrer ce critère dans l'analyse de la valeur d'un SIA, à l'échelle du pôle ministériel comme à l'interministériel. À titre d'illustration, la méthode d'analyse de la valeur des projets de SI du secteur public (MAREVA 2 puis MAREVA produit)

[65] La SBTi est une initiative internationale qui aide les entreprises à fixer des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre alignés sur la science climatique, en cohérence avec l'accord de Paris.

[66] https://greentechinnovation.fr/storage/Kit-dengagement-IA-frugale-1.pdf

[67] Comité interministériel de l'IA, Faire de la France une puissance de l'IA, février 2025

[68] https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/DP_Coalition_mondiale_IAdurable.pdf

[69] Cour des comptes, La stratégie nationale pour l'intelligence artificielle, 19 novembre 2025

[70] www.comparia.beta.gouv.fr/

portée par la DINUM ne positionne pas explicitement l'IA responsable, en particulier son impact environnemental, comme un critère structurant de valorisation des projets.

Plusieurs leviers existent pour réduire l'impact environnemental des SIA. Dans de nombreuses situations, des **solutions sans IA** (règles métiers, systèmes symboliques) ou des **modèles d'apprentissage automatique classiques** (arbres de décision, SVM, forêts aléatoires) répondent aux besoins fonctionnels. Ces approches peuvent présenter un impact computationnel[71] et environnemental soutenable et être privilégiées pour des tâches simples ou structurées[72]. Lorsque le recours à l'apprentissage profond est justifié, des **modèles compacts** (par exemple DistilBERT, CamemBERT etc.) sont adaptés à des environnements contraints et répondent à de nombreux besoins, tout en réduisant significativement la consommation énergétique. Pour des cas d'usage nécessitant des capacités avancées (ex : génération de texte, raisonnement), des **modèles intermédiaires** comportant entre 1 et 7 milliards de paramètres (par exemple Phi-2 ou TinyLlama), peuvent être parfois envisagés. Bien qu'ils ne soient pas à proprement parler frugaux, ils constituent des compromis adaptés lorsque les modèles compacts s'avèrent inadaptés à un cas d'usage. De plus, parmi les grands modèles (plus de 7 milliards de paramètres), une distinction importante doit être soulignée. Bien qu'ils présentent une empreinte carbone élevée et requièrent des infrastructures lourdes, certains d'entre eux, tels que BLOOM-7B ou Mistral-7B, sont conçus pour être plus efficaces que de très grands modèles, à l'instar de LLaMA 2 (70 milliards de paramètres) ou GPT-4 (540 milliards de paramètres). Ils bénéficient en effet d'**optimisations architecturales et d'entraînement** qui réduisent leur consommation énergétique lors de l'inférence, tout en offrant des performances parfois compétitives pour des cas d'usage avancés.

Les optimisations techniques permettent également de réduire fortement la consommation énergétique des SIA : réutilisation de modèles pré-entraînés avec un ajustement ciblé (*fine-tuning*), techniques telles que l'*early stopping*[73] pour éviter les entraînements inutiles, quantification, *pruning*[74] et distillation pour diminuer la taille des modèles et le coût de l'inférence. Enfin, des pratiques d'optimisation opérationnelle — comme le traitement par lots ou la mise en cache des requêtes fréquentes — contribuent à limiter la sollicitation des infrastructures.

Les méthodes d'évaluation jouent également un rôle déterminant, à l'instar du **cadre d'analyse de la valeur (CAV)**, que la mission propose de généraliser à l'ensemble des projets d'IA du pôle ministériel (partie 2 plus haut) et qui doit comporter des indicateurs environnementaux. Par ailleurs, l'analyse du cycle de vie (ACV) peut aussi devenir un outil central pour mesurer l'impact réel des projets d'IA. Ainsi, les travaux de l'Ademe sur l'ACV ainsi que le **référentiel AFNOR SPEC 2314**[75] sur l'IA frugale, qui repose sur 7 piliers[76] sont des méthodes intéressantes pour déployer des SIA adaptées aux besoins fonctionnels de l'administration et conformes au cadre réglementaire, en particulier la loi REEN[77], le RGPD et le règlement européen sur l'IA. Des outils tels que ***Green***

[71] Le terme computationnel qualifie ce qui relève du calcul formel automatisé, c'est-à-dire des processus de traitement de l'information effectués selon des règles algorithmiques.

[72] Roy Schwartz, Jesse Dodge, Noah A. Smith, et Oren Etzioni, "Green AI" (arXiv preprint arXiv:1907.10597, 2019), https://arxiv.org/abs/1907.10597

[73] Technique d'entraînement qui consiste à arrêter un modèle avant la fin prévue lorsque ses performances cessent de s'améliorer, afin d'éviter le sur-apprentissage.

[74] Technique qui consiste à supprimer des parties peu utiles d'un modèle (poids, neurones, branches) afin de le rendre plus léger et plus rapide sans trop dégrader ses performances.

[75] https://www.afnor.org/actualites/intelligence-artificielle/referentiel-reduire-impact-environnemental-ia/

[76] (1) Sobriété des données, (2) efficacité énergétique, (3) simplicité et transparence, (4) inclusion et accessibilité, (5) robustesse et sécurité, (6) durabilité, (7) responsabilité

[77] Loi n°2021-1485 visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France (REEN)

Algorithm[78] participent à cette dynamique de normalisation en fournissant des indicateurs comparables, tels que les émissions de CO_2, la consommation d'eau ou le temps d'utilisation des GPU.

L'achat public est également un levier important pour maîtriser la facture énergétique et les émissions de CO_2 de l'IA. Une fiche pratique pour l'achat responsable de solutions d'IA a été publiée en novembre 2025[79]. Il est suggéré d'aller plus loin en intégrant plus systématiquement l'impact environnemental de l'IA comme **critère pondéré important dans les marchés publics** de l'État, au même titre que le coût ou la performance technique. Cette évolution permettrait non seulement de favoriser les solutions sobres en ressources (énergie, matériaux, émissions CO_2), mais aussi d'accélérer la transition écologique des filières fournisseurs, en incitant l'innovation bas carbone. Alors que la commande publique représente environ 10 % du PIB, cette mesure pourrait servir de levier pour orienter l'**offre de solutions d'IA présentant un bon équilibre entre performance et sobriété**.

Recommandation 5. ***[CGDD, avec SG] Rendre systématique l'évaluation de l'impact environnemental des systèmes d'IA déployés au sein du pôle ministériel, en tenant compte des différentes phases de leur cycle de vie. Promouvoir une démarche similaire à l'échelle interministérielle, afin d'harmoniser les méthodes et les exigences en matière d'IA responsable***

[78] https://www.green-algorithms.org/

[79] https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/docs/2025/MINUMECO_fiche_IA_frugale_VF.pdf

6 TRANSFORMATION DES MÉTIERS ET DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES

La lettre de commande (*Cf.* annexe 1) demande à la mission « *de déterminer les axes d'une politique ministérielle ambitieuse en matière de gestion prévisionnelle des emplois impactés par l'IA à court et moyen terme, de renforcement ou d'évolution des compétences, de formation (initiale ou continue) et d'accompagnement de ces transformations, notamment en termes de management et de dialogue social* ». Dans ses investigations, la mission n'a pas identifié de document récent au sein du ministère faisant office de gestion prévisionnelle des emplois et compétences (GPEC) et, par conséquent, elle n'a pas pu s'appuyer sur un tel document pour montrer en quoi l'IA devrait ou non infléchir cette GPEC. Pour autant, l'IA aura des conséquences en termes de ressources humaines que le pôle ministériel peut, au moins pour partie, anticiper ou accompagner. La mission développe dans cette partie l'impact quantitatif et qualitatif de l'IA sur les métiers du ministère. Elle insiste sur le rôle fondamental de la formation en déclinant ces formations en fonction des objectifs et des publics visés. Elle illustre enfin la nécessité de renforcer ou créer de nouvelles compétences et de nouveaux rôles, pour maîtriser ce déploiement sur les plans technique et organisationnel.

6.1 Les méthodes d'évaluation des impacts de l'IA sur les métiers du pôle ministériel existent mais présentent des limites méthodologiques importantes

Il est légitime que le SG du pôle ministériel souhaite anticiper les impacts qualitatif et quantitatif de l'IA au regard des métiers exercés au sein du pôle ministériel.

Avant de détailler ces impacts potentiels, la mission attire l'attention du SG sur les « fausses certitudes » qui pourraient être véhiculées sur ce sujet. **Le recul sur les impacts de l'IA est insuffisant pour que des méthodologies robustes et éprouvées d'impact sur les métiers aient pu être validées**. Des querelles d'experts alimentent l'actualité tous les jours pour savoir si tel ou tel métier sera impacté par l'IA et à quel niveau. S'avancer sur ces sujets serait risqué, même si une veille prospective pourrait être engagée utilement. De plus, les IA sont appelées à connaître des progrès importants dans les prochaines années. Les méthodes d'évaluation doivent ainsi se préparer à tenir compte des impacts des SIA futurs sur un bien plus grand nombre de cas d'usage et métiers dans des horizons temporels courts.

Par conséquent, **la mission se limitera à présenter quelques grands principes qui permettent de relier les capacités de l'IA aux missions exercées ainsi qu'une méthode proposée par l'organisation internationale du travail** (OIT). Celle-ci, mise en œuvre et testée dans deux exemples différents, donne un cadre à la réflexion, sans apporter de réponse définitive.

D'un point de vue qualitatif, pour comprendre l'impact sur les métiers, il convient de se rappeler des capacités-clés de l'IAg. Celle-ci est capable de générer du contenu, analyser et traiter des données, automatiser des tâches répétitives, simuler des évolutions, interagir via des *Chatbots*, optimiser des processus. Tout naturellement, les métiers qui font le plus appel à ces capacités sont théoriquement les plus concernés par l'arrivée de l'IA. Ainsi, les métiers relevant de l'informatique (gestion de bases de données, réseaux), de la statistique, de la comptabilité (marchés, paiement de factures), de la communication (supports graphiques, création de contenu original), des ressources humaines (paie, gestion de carrière), de l'assistance (secrétaires), du contrôle sont régulièrement mis en avant. L'impact de l'IA sur les métiers d'encadrement, d'ingénieurs, de techniciens ou de juristes ne fait pas consensus, certains experts considérant qu'un nombre important de tâches pourront être réalisées par l'IA, d'autres que cela requiert des qualités d'empathie, d'éthique, de créativité, d'adaptabilité, que l'IA ne possède pas ou pas encore. Enfin, les métiers nécessitant une présence sur le terrain (tels que les agents des routes) pourraient être

assistés par des outils associant robotique et IA. Ceux-ci existent déjà dans les laboratoires mais sont encore peu répandus pour des usages réels dans le secteur public.

Cependant, cette approche par grandes familles de métier cache une réalité plus complexe. En effet, derrière un même intitulé de métier ou de fiche de poste, la réalité des tâches et missions exercées peut varier fortement d'un agent à l'autre. De plus, toutes **les approches qualitatives butent sur la dimension d'expérience et d'expertise acquise au cours de leur parcours professionnel par les agents**. Ainsi, une IAg spécialisée pourra certainement se rapprocher ou égaler les performances d'un juriste débutant, mais ce dernier acquerra progressivement une compétence experte, d'une subtilité que les outils d'IA ne sont pas capables d'intégrer. Par conséquent, **la mission encourage plutôt le pôle ministériel à classer les métiers et les postes par « taux d'hybridation » théorique**, un taux d'hybridation élevé ne signifiant pas une suppression automatique de postes en proportion, mais l'opportunité et la nécessité de revoir en profondeur les processus, l'organisation et les objectifs.

D'un point de vue **quantitatif**, l'OIT a mis à jour en mai 2025 son étude sur l'IA et l'emploi[80]. Celle-ci met à jour un premier travail réalisé en 2023. Il consiste à décrire près de 30 000 tâches individuelles se rapportant à 2500 professions, d'évaluer, pour un échantillon de ces tâches, la capacité d'une IA à réaliser la tâche de 0 (pas d'automatisation) à 1 (automatisation complète), de confronter cette approche statistique avec une enquête humaine, et d'en déduire un score d'exposition. Ce score par métier permet de les **regrouper en 4 familles (4 gradients), au regard de leur exposition de la variabilité des tâches réalisées**.

Cette méthode a été utilisée par des élèves de l'INET pour cartographier les métiers concernés de la ville de Lyon. Elle en concluait que près de la moitié des postes étaient concernés par l'IA, dont 20 % l'étaient pour, théoriquement, au moins 50 % de leurs tâches.

Plus récemment, le cabinet Roland Berger a publié une étude sur l'impact quantitatif de l'IA dans la fonction publique à l'échelle mondiale[81]. En France, il estime qu'environ 37 % des postes seraient impactés par l'IAg, dont 8 % qui pourraient faire l'objet d'une automatisation[82]. Ces chiffres sont à prendre avec prudence, au regard des rappels méthodologiques faits en début de chapitre.

Au regard des incertitudes méthodologiques et du temps nécessaire pour faire correspondre chaque emploi du pôle ministériel à la catégorisation proposée par l'OIT, la mission a fait le choix de ne pas proposer de recommandation formelle de ce sujet. Pour autant, il pourrait être **intéressant à titre expérimental de tester la méthode d'index d'exposition à l'IA sur quelques collectifs de travail au sein du pôle ministériel**, pour évaluer plus finement la charge de travail nécessaire à son évaluation et voir si la connaissance de cet index permet opérationnellement d'orienter ou de prioriser les actions d'accompagnement des transformations.

6.2 Les gains de productivité ne seront pas immédiats et leur affectation au profit d'un projet collectif ne va pas de soi

On peut définir la productivité comme **l'efficacité avec laquelle les administrations et les agents publics utilisent les ressources publiques** (budget, temps, effectifs, outils) pour fournir des services de qualité aux citoyens, aux entreprises et aux autres bénéficiaires, tout en répondant aux

[80] Organisation internationale du travail, « Intelligence artificielle générative et emplois : révision 2025 », Bref OIT, mai 2025, https://www.ilo.org/fr/publications/intelligence-artificielle-generative-et-emploi-revision-2025

[81] Roland Berger, *The Public Sector in the Age of Gen AI: How Will Jobs and Services Be Impacted?*, Paris: Roland Berger GmbH, 2025

[82] Roland Berger, *L'impact de l'IA générative sur l'emploi en France : une transition à anticiper pour les organisations publiques et privées*, Paris, 22 novembre 2023, https://www.rolandberger.com/fr/Insights/Publications/L-impact-de-l-IA-g%C3%A9n%C3%A9rative-sur-l-emploi-en-France.html

objectifs fixés par les politiques publiques.

L'IAg apportant des **gains théoriques de temps sur l'exécution de certaines tâches**, le débat sur les gains de productivité et l'affectation qui en est faite est légitime. **La mission n'a toutefois pas souhaité chiffrer ce gain de productivité théorique** à l'échelle du pôle ministériel, car ce chiffre masquerait la complexité de sa définition et de son atteinte, dans un contexte d'arrivée récente de l'IA. On peut en revanche apporter les éléments de compréhension suivants :

- **la maîtrise du coût de déploiement d'outils IA est un sujet sensible**. Côté équipements, la location de quelques GPU se chiffre aujourd'hui en centaines de k€ par an[83]. Acheter un GPU coûterait environ deux ans de location mais la vitesse d'évolution de celui-ci est telle que l'achat présente un risque de dépassement technologique en matière de capacités de calculs futures. Détenir des GPU est néanmoins un enjeu de souveraineté, ce qui explique les stratégies mixtes achat-location. Côté applicatifs d'IAg, le coût des *tokens*[84] est encore faible. Ainsi, pour le Piag, dont la montée en puissance est régulière[85], leur coût mensuel (tous utilisateurs et tous LLM compris) est aujourd'hui d'environ 500 € [86]. Par extrapolation, 10.000 agents utilisant dix fois par jour le Piag ferait, aux prix actuels, monter la facture mensuelle à 10.000 €. Mais les éditeurs de LLM pourront toujours augmenter leurs prix dans le futur au regard de la dépendance créée à leur égard ou à l'évolution de leurs charges (ex : coût de l'énergie) ;
- **les POC (preuves de concept) sont indispensables** pour évaluer le retour sur investissement (ROI) du déploiement de l'outil sur les cas d'usages prioritaires, mais ces résultats ne sont pas directement transposables lors du passage à l'échelle. En effet, les POC réunissent généralement les agents volontaires et motivés, qui développent rapidement des compétences pour utiliser efficacement l'outil. Aussi, la généralisation de l'outil à l'ensemble des agents ne garantit pas l'obtention de gains d'efficacité aussi fort que ceux observés sur une population impliquée dans le POC ;
- les **gains ne sont pas immédiats**. Ils dépendent de l'intégration des systèmes, de la préparation des données, de la formation des utilisateurs et de l'adaptation aux besoins réels des métiers. Le bon usage de l'IA nécessite de revoir l'organisation et les processus, donc un **délai minimal de 18 à 24 mois** est nécessaire, par cas d'usage, pour pouvoir mettre en œuvre de nouvelles manières de travailler avec l'IA et observer des gains de temps associé. C'est le principal enseignement du projet de recherche du MIT à propos de l'IAg paru en 2025[87] : le temps de déploiement n'est pas uniquement technique, il est surtout organisationnel. C'est la raison pour laquelle seuls 5 % des projets d'IAg réussissent le passage à l'échelle à l'heure actuelle dans le panel étudié par le MIT ;
- les gains seront observés par tâche, or l'activité des agents se compose d'une diversité plus ou moins grande de tâches, dont la proportion est mal évaluée. Si rien n'est engagé d'un point de vue collectif, ces gains seront affectés prioritairement à un **allègement de la charge de travail individuelle** des agents, dans un contexte rappelé par le récent baromètre social de 2025 où l'intensité de la charge de travail est un facteur qui pèse de manière importante sur la qualité de vie au travail. Si le pôle ministériel souhaite qu'une partie

[83] L'infrastructure Mistral (4 GPU H100 + licences) coûte à la DNum environ 300.000€ par an. A la DINUM, la location de 8 GPU H200 coûte quasiment 400.000€ par an.

[84] Les *tokens* (ou jetons) sont les unités de données traitées par les modèles d'IA pendant l'entraînement et l'inférence.

[85] Au 01/02/2026, environ 425.000 prompts ont été réalisés sur neuf mois pour 6400 utilisateurs différents du pôle ministériel, 100.000 pour le dernier mois.

[86] Pour GPT-4o, le LLM le plus utilisé du Piag, le prix du million de tokens en entrée est de 2,60€, celui du million de *tokens* en sortie de 10,50€.

[87] Challapally et al., The *GenAI Divide,* juillet 2025

des gains liés au déploiement des outils servent à d'autres objectifs (réalisation de nouvelles missions, amélioration qualitative des productions réalisées, renforcement de moyens de *front office*, gains de poste…), cela nécessitera qu'il définisse une **vision ainsi que des objectifs partagés et fédérateurs sur la quantification de ces gains et soit davantage transparent sur ce qu'il souhaite en faire**.

Au cours du parangonnage, la mission a pu identifier quelques organisations dans lesquelles la question de la productivité a été intégrée à leur stratégie IA avec des objectifs différents : pour certains opérateurs (IGN par exemple), l'IA accomplit une part importante des tâches de certains métiers et ils ont engagé une démarche d'accompagnement pour réorienter les personnes exerçant ces métiers vers d'autres missions. Pour l'INA, la description documentaire et le catalogage sont de plus en plus confiés à des outils d'IA, ce qui a conduit les documentalistes à un « saut qualitatif » et à se concentrer sur des tâches telles que le contrôle de la qualité des données ou le conseil éditorial. Au Cerema, la direction a affiché clairement dans son projet stratégique 2025-2028 un objectif d'augmentation de la productivité de 10 % d'ici fin 2028 ce qui représente l'équivalent de 200 à 250 ETP à réinvestir dans les missions fondamentales et génératrices de revenus de l'établissement (adaptation au changement climatique, infrastructures, sécurité routière, recul du trait de côte, décharges littorales). Au sein de France Travail, les gains de productivité visent à libérer du temps pour les tâches à forte valeur ajoutée, notamment la relation humaine.

Ainsi, la mission encourage le pôle ministériel, dans la définition de sa stratégie, à **expliciter à quels objectifs collectifs il souhaite affecter les gains de productivité de l'IA et à se donner un temps suffisamment long pour que ces gains puissent se matérialiser**.

6.3 Le dialogue social avec les représentants du personnel du pôle ministériel doit se faire dans un format adapté et à tous les niveaux de l'organisation

Le recours à l'IA au sein des ministères a été abordé officiellement de manière détaillée avec les représentants du personnel en formation spécialisée ministérielle (FSM) le 13 octobre dernier. Cela a été l'opportunité pour la DNum et le CGDD de présenter la feuille de route « Numérique et IA », des outils récemment déployés tels que le Piag, SofIA, LIRIAe ou la « promptothèque », ainsi que des propositions comme les Cafés IA ou le parcours Pix+.

Le sujet de l'IA figure également dans le plan d'action ministériel 2024-2027 relatif à la prévention des risques psychosociaux. L'action 12 vise ainsi à évaluer l'impact du recours à l'IA pour les agents dans l'exercice de leur mission.

A la suite de cette présentation, la mission a échangé avec quatre organisations syndicales : CGT, FO, CFDT, UNSA. En synthèse, la mission retient que **les syndicats ne rejettent pas l'IA**, mais insistent sur :

- un **cadre strict** pour éviter les dérives dans les usages, mais aussi de la liberté au sein de ce cadre pour permettre aux agents d'expérimenter ;
- une **approche transparente** et éthique (explicabilité, lutte contre les biais) ;
- une **formation massive** pour tous les agents ;
- un **dialogue social renforcé** (implication des OS dès l'amont) ;
- le réinvestissement des gains de productivité dans **l'amélioration des conditions de travail**.

Au niveau national, quatre organisations syndicales (CFDT, UGICT-CGT, CFE-CGC, FO-CADRES)

ont initié le projet Dial-IA (Dialoguer sur l'IA), porté et coordonné par l'Institut de recherches économiques et sociales (IRES) et co-financé par l'Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail (Anact). Il a réuni pendant 18 mois une cinquantaine de participants issus des syndicats, du patronat et du monde de la recherche. Il a produit en juin 2025 un document de travail intitulé « Dialogue social, Accords collectifs et Intelligence artificielle »[88]. Les auteurs insistent notamment sur « *la capacité à adapter le dialogue social aux spécificités de l'IA, prendre en compte la temporalité propre des systèmes d'IA, leur « cycle de vie »,* ***sortir d'une approche « statique » du dialogue social, lui donner la possibilité d'agir avant, pendant, et après l'introduction de l'IA*** ». Ces réflexions ont été approfondies dans le cadre du **projet Dial-IA** [89] qui propose concrètement des leviers d'action utilisables pendant le développement des systèmes d'IA, notamment une cartographie des enjeux, un registre des SIA ou encore un kit du dialogue social dans la fonction publique de l'État.

Au regard de ces constats, la mission formule plusieurs propositions. Tout d'abord, il paraît indispensable que le **dialogue social s'opère à tous les niveaux du pôle ministériel** et pas uniquement en FSM. Ainsi, des temps de dialogue devraient être engagés dans chaque SD et AC, afin que la direction et les services compétents puissent exposer leurs intentions sur le sujet de l'IA et engager un débat sur les modalités pour y parvenir. Ce serait l'occasion de présenter la cartographie des projets d'IA, telle que proposée par la mission, et de donner à voir l'état d'avancement global des systèmes d'IA.

Ensuite, comme l'ont souligné les travaux de l'Institut de Recherches Économiques et Sociales (IRES), le sujet technologique de l'IA, notamment générative, est trop récent pour que l'on puisse avoir des certitudes sur les conséquences sociales de sa mise en œuvre. La mission encourage donc le pôle ministériel à adopter une **approche pragmatique, itérative et transparente**, avec des **clauses de revoyure** en cas de changement profond des conditions de mise en œuvre des outils. Un rendez-vous *a minima* annuel semblerait pertinent. En revanche**, afin de ne pas brider l'innovation et de faire preuve d'agilité, la mission dissuade le ministère de s'engager à fournir des études d'impact trop complètes et exhaustives**. En effet, malgré des recherches et demandes répétées, la mission n'a pas pu accéder à ce type d'études, qui paraissent très théoriques et non adaptées à un univers aussi évolutif que celui de l'IA. Il semble préférable de s'appuyer sur les informations contenues dans l'analyse de la valeur des projets comme base de discussion avec les organisations syndicales.

La mission encourage également à développer des **documents de cadrage**, définissant les objectifs poursuivis, les usages autorisés et ceux qui ne le sont pas, qui pourraient fait l'objet d'une présentation et d'un dialogue social. La charte d'usage du Piag ou la feuille de route « Numérique et IA » constituent des premiers éléments, mais paraissent insuffisants. Les organisations syndicales ont régulièrement évoqué le parallèle avec la mise en place du télétravail, qui tout comme l'IA pourrait le faire à l'avenir, a récemment bouleversé l'organisation du travail. Le télétravail s'est mis en œuvre selon des règles définies nationalement mais avec des marges de mise en œuvre locale, au regard des spécificités des organisations et missions. Dans le cas de l'IA, le pôle ministériel devrait être en mesure de définir les grands principes à respecter et de responsabiliser ensuite chaque organisation et porteur de projet dans la mise en œuvre de ces principes.

Le STMAR a d'ores et déjà engagé des **démarches de *Design fiction***, intitulés « Quand l'IA transformera (vraiment) nos métiers » dans lesquelles elle invite les participants à se projeter dans un futur à 2037 dans lequel l'IA a pris une place importante et à examiner les questions que cela pose. Cette démarche mérite d'être soutenue et développée, pour aider à comprendre les impacts de nos choix actuels sur le monde du travail futur.

[88] https://ires.fr/wp-content/uploads/2025/07/DdT-03_2025.pdf

[89] https://dial-ia.fr/#qu-est-ce-que-dial-ia

Enfin, le SG devrait s'interroger sur l'opportunité d'élaborer **un accord-cadre spécifique sur le sujet de l'IA, qui définirait les conditions de ce dialogue social innovant**. Cela pourrait permettre d'aborder de manière globale le sujet de l'IA, dans toutes ses dimensions (formation, évolution des métiers, accompagnement…) et de favoriser l'adhésion du corps social aux évolutions en cours.

Recommandation 6. ***[SG-DRH] Mettre régulièrement le déploiement de l'IA à l'ordre du jour des différentes instances de dialogue social. Expérimenter une approche dynamique, itérative et participative, au regard de la rapidité d'évolution des technologies d'IA et des incertitudes sur leurs impacts.***

6.4 Un socle de formation commun obligatoire à l'IA et un accompagnement spécifique des managers sont à engager sans attendre

Les agents du pôle ministériel intéressés par le sujet de l'IA bénéficient d'ores et déjà d'une offre de formation conséquente, portée au niveau interministériel tout comme au sein du pôle ministériel.

En interministériel, l'offre est portée au sein de la **plateforme Mentor**[90]. La DINUM gère également les licences du **dispositif PIX+ Fonction publique d'État**. Ce dispositif propose des parcours de formation et d'évaluation individuelle sur différentes thématiques du numérique et notamment sur celle relative à l'intelligence artificielle. D'une durée de 45', il aborde différents sujets de la compréhension des fondamentaux et enjeux de l'IA à son impact environnemental, en passant par ses applications, les précautions d'usage et le respect du droit d'auteur. Les résultats permettent de cibler l'offre de formation nécessaire. Au niveau du pôle ministériel, **le CMVRH propose des webinaires réguliers**, tel que celui du 21 novembre 2025 sur le thème "IA et management : comment accompagner vos équipes dans la transition ?" ou encore « Comprendre et encadrer l'usage de l'intelligence artificielle dans l'administration… » en décembre.

Le **CGDD anime un « Club de l'IA »** mensuel visant à partager l'expérience de développement de projets IA des directions et des opérateurs, et les services déconcentrés ont été mobilisés dans le cadre d'un atelier spécifique DREAL/DEAL.

Les fondements théoriques de l'IA sont globalement présents dans la formation de base des élèves, au sein des écoles de **formation initiale des cadres techniques du ministère** (ENPC, ENTPE, Mines Paris Saclay, université Gustave Eiffel). Ils s'acculturent ainsi aux sujets de mathématiques pour l'IA, d'apprentissage automatique, de programmation de réseaux de neurones et de *deep learning*… Des cours sont également organisés pour sensibiliser les élèves aux risques associés à l'usage de l'IA. Ces enseignements tendent à voir leurs volumes horaires augmenter dans la scolarité. Des spécialités centrées sur l'IA sont proposées tel que le Master 2 Système Intelligent et Application à l'Université Gustave Eiffel, la mineure Data science à l'ENTPE ou le *machine learning* dans la filière Ingénierie Mathématique et Informatique de l'ENPC.

Cependant, une inconnue demeure sur les modalités d'enseignement des cours non spécialisés dans l'IA, alors que se présente une génération d'élèves qui a pris l'habitude des outils d'IAg depuis quelques années dans son cursus scolaire. Les compétences à maîtriser, les modalités de contrôle des connaissances sont profondément modifiées par l'émergence de l'IA pour tous et les écoles peinent à s'adapter, au regard du rythme d'évolution de l'IA et de ses usages par les élèves. L'arrivée de jeunes ingénieurs mieux formés à l'IA et à ses usages constitue une opportunité pour le pôle ministériel, mais aussi un défi, pour conserver une capacité d'expertise et d'esprit critique, qui ne s'acquièrent parfois qu'après plusieurs années de pratique.

[90] https://mentor.gouv.fr/my/

La mission n'a pas recensé en revanche d'offre de formation continue sur le sujet de l'IA dans ces écoles.

Ainsi, les formations et les dispositifs d'animation relatifs à l'IA sont bien existants, sous des formats diversifiés et globalement adaptés aux différents profils. En revanche, le **pôle ministériel ne dispose pas d'une vue d'ensemble sur le taux de formation des agents dans leur ensemble et leur niveau de compétence en IA**. Or, avec l'avènement des IAg, ces outils sont désormais utilisables par tous et nécessitent de partager un socle commun. Ce sujet a été longuement débattu avec les organisations syndicales, que la mission a rencontrées, et qui ont toutes confirmé le **besoin d'une formation socle sur l'IA**. Cette formation, d'une durée pouvant aller de 2h à une demi-journée selon l'ambition que portera le pôle ministériel, devrait couvrir *a minima* les usages de l'IA, les opportunités, les risques et comporter une phase active d'évaluation, validant les connaissances acquises.

Les besoins spécifiques de formation et d'accompagnement des managers apparaissent moins bien couverts et mériteraient d'être mieux pris en compte. Pix+ propose un parcours sur les enjeux du numérique, destinés aux encadrants, mais qui n'est pas spécifique à l'IA. Le CMVRH propose quelques webinaires sur la thématique. Le STMAR a proposé d'intégrer ce thème dans une des rencontres de la communauté des cadres dirigeants, sous forme d'atelier. En-dehors du périmètre du pôle ministériel, l'Institut des hautes études du ministère de l'Intérieur (IHEMI) propose un cycle supérieur d'Intelligence artificielle, comprenant cinq modules de 3 jours sur une période d'un an, qui vise à apporter les principales clés de compréhension sur l'intelligence artificielle dans son usage ministériel concret et stratégique.

Mais ces offres sont peu connues et peu citées par les cadres du pôle ministériel, et globalement, le niveau de compréhension des enjeux de l'IA par les managers est très hétérogène et dépend davantage de l'intérêt personnel que chacun porte au sujet que d'une action volontariste d'accompagnement du pôle ministériel. Or les managers jouent un rôle essentiel dans l'adoption et la juste utilisation des outils d'IA par leurs équipes, par l'usage qu'ils peuvent en faire eux-mêmes ou les connaissances techniques qu'ils peuvent en avoir, mais surtout par le cadre d'utilisation qu'ils devraient discuter et mettre en place avec leurs équipes. Un bon niveau de compréhension des enjeux, pas seulement sous un angle technologique (conformité juridique, éthique, management etc.) est indispensable pour cela.

Enfin, au regard de la spécificité de certaines compétences sur l'IA et de la difficulté à recruter en externe, il apparaît **indispensable de former en interne des spécialistes de l'IA**, en leur proposant de s'engager dans des parcours longs et diplômants, assurés par des écoles ou universités spécialisées dans le domaine.

Recommandation 7. ***[SG] Mettre en œuvre un socle obligatoire de formation à l'IA pour l'ensemble des agents, couvrant les usages, les apports et les risques de ces technologies. Compléter ce socle par une formation spécifique pour les managers, centrée sur l'appropriation de l'IA par leurs équipes, la conduite du changement et la gestion des risques.***

6.5 L'IA nécessitera de constituer des compétences nouvelles et de doter le pôle ministériel d'un réseau de référents formés et accompagnés

Au-delà de la formation pour tous et celle adressée spécifiquement aux managers, l'introduction

de l'IA mobilise des compétences spécifiques, que le pôle ministériel doit être en mesure de renforcer. Certaines DG ont déjà constitué des pools de compétence, composée de spécialistes du sujet. Ainsi, la DGPR a mis en place une équipe de spécialistes Data et IA au sein de son Data Studio Risques et la DGALN dispose d'un service numérique. Mais cette mutualisation de compétences spécifiques IA est peu répandue dans les administrations centrales et les services déconcentrés, alors même que ces profils sont difficiles à trouver. Le secrétariat général devrait identifier plus précisément ces compétences et encourager, lors des réflexions sur l'organisation des différentes entités, leur mutualisation, en incluant le sujet des données et celui de l'IA, qui sont fonctionnellement très liés.

Lors des recrutements, que ce soient pour des cadres entrant dans le pôle ministériel ou dans le cadre de mobilité interne, **il est important que les attentes en termes de compétence soient exprimées dans chaque fiche de poste**. Cette liste pourra s'appuyer sur le référentiel de compétences publié par la DINUM[91]. La mission formule à titre d'exemple et d'inspiration une proposition de paragraphe pouvant être inséré directement dans les offres d'emploi internes ou externes du pôle ministériel, dans le cadre de recrutements de managers non spécialistes.

« Manager expérimenté(e) dans le secteur public, vous disposez d'une culture solide en intelligence artificielle vous permettant de piloter des projets ou des équipes impliquant ces technologies. Sans être nécessairement expert(e) technique, vous comprenez les enjeux stratégiques, éthiques et juridiques de l'IA et savez donner une direction claire à vos collaborateurs. Votre leadership et votre capacité à fédérer des acteurs variés (métiers, techniques, juridiques) vous permettent de concrétiser des initiatives innovantes au service des politiques publiques, tout en garantissant leur conformité et leur acceptabilité. »

Cette compétence devrait également être évaluée lors des entretiens annuels. Le compte-rendu d'entretien professionnel pourrait ainsi intégrer dans la rubrique « Compétences professionnelles » une ligne sur *« Capacité à utiliser les outils d'IA »* et complétée pour les managers par une mention *« Aptitude à accompagner et encadrer l'usage de l'IA ».* Elle pourrait également être intégrée aux thésaurus des comités de domaine[92].

Actuellement, le pôle ministériel ne dispose pas de réseau de référents IA au sein des directions et services. Or, l'appropriation des outils nécessite un accompagnement de proximité que ni la DNum ni le CGDD n'aura la possibilité matérielle de réaliser. La mission propose donc que le pôle ministériel se dote d'un réseau de référents IA. Ceux-ci pourront ou non cumuler ces fonctions avec celles de référent Data/numérique, si elles existent. Ces référents sont à identifier, non pas en fonction de leurs compétences initiales IA, le vivier étant faible, mais plutôt sur deux critères que sont la curiosité vis-à-vis des possibilités de l'IA, et la possibilité d'avoir des usages concrets de l'IA dans le métier exercé.

Les personnes des services volontaires pour accompagner l'IA, rencontrées par la mission, soulignent l'importance que ce **rôle de référent figure dans la fiche de poste** et qu'un temps dédié leur soit dégagé pour cela. Elles insistent également sur l'importance d'un **renforcement de l'animation proposée par le pôle ministériel, en partant des cas d'usages**. En effet, une approche trop « généraliste » de l'animation nuit à l'opérationnalité de la mise en œuvre. La mission suggère donc que les communautés d'animation soient structurées par grands cas d'usage (synthèse de documents, contrôles, recherche documentaire, agents conversationnels etc.) et que les référents s'inscrivent sur les cas d'usage les plus pertinents pour les besoins de leur direction ou service.

Par ailleurs, le pilotage des projets d'IA nécessite des compétences transversales, qui croisent les dimensions numériques et managériales. La mission propose donc de renforcer les compétences

[91] https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/formations/referentiel-competences/#les-competences

[92] Circulaire du 25 janvier 2011 relative au dispositif de connaissance et d'évaluation de l'expertise scientifique et technique du MEDDTL

des responsables de produits numériques sur la dimension managériale ainsi que les compétences numériques des cadres techniques, afin de disposer d'un vivier de directeurs de la transformation numérique capables de piloter le déploiement de l'IA au sein des directions.

Recommandation 8. ***[SG-Coordinateur IA, avec SG-DNum, SG-DRH, CGDD] Désigner et former, dans chaque direction ou service, au moins un référent IA, chargé d'accompagner ses collègues dans l'usage des outils d'IA et le déploiement des projets. Animer ce réseau dans la durée.***

7 GOUVERNANCE DE L'IA : DOTER LE PÔLE MINISTÉRIEL D'UN PILOTAGE ROBUSTE, DU NIVEAU STRATÉGIQUE AU NIVEAU OPÉRATIONNEL

7.1 Prendre appui sur la dynamique en cours pour mobiliser les services du pôle ministériel autour d'une stratégie commune en IA

Au sein du pôle ministériel, la question du déploiement de l'IA est contrastée (*Cf.* livrable n°2). D'un côté, des initiatives très prometteuses émergent, portées par des directions et des opérateurs dynamiques. De l'autre, elles restent dispersées et cloisonnées. Les projets souffrent globalement d'un manque de moyens humains et techniques, mais aussi de méthodologies partagées. Dans ce contexte, il est difficile de faire émerger des besoins fonctionnels communs et de créer des synergies, faute d'une coordination ministérielle suffisamment robuste pour assurer la cohérence et l'efficacité nécessaires aux projets.

Depuis 2021, le pôle ministériel a produit trois feuilles de route traitant des données et de l'IA (*Cf*. §1.3.1). Il n'est pas certain que ses agents les connaissent et comprennent leur articulation. En matière de gouvernance, la dernière de ces feuilles de route se limite à évoquer « *un comité unique stratégique [appelé « comité ministériel Numérique et IA »], coprésidé par le SG et le CGDD* » et rassemblant les directeurs généraux des directions métiers ainsi que des représentants des DREAL et des DDT. Il est prévu qu'il se réunisse deux fois par an. Il n'existe ni plan d'actions des feuilles de route et *a fortiori* de pilotage opérationnel, ni réelle évaluation des actions engagées. La question de la nécessaire responsabilisation en matière de qualité de données (*Cf*. §3.1) n'est également pas complètement traitée.

Les clubs de l'IA (*Cf.* §6.4) animés par le CGDD sont au contraire structurés mais essentiellement focalisés sur le retour d'expériences entre chefs de projets. La charte éthique de l'IA, bien qu'existante, est peu connue et peu appliquée par les services, ce qui révèle un déficit d'appropriation collective.

Les directions générales et régionales ainsi que les opérateurs du pôle ministériel avancent à des rythmes différents et des niveaux de maturité variables. Les opérateurs (Ademe, Cerema, Météo France et IGN) ont développé des feuilles de route structurées, qui ont été validées dans les instances de dialogue social. Elles disposent de personnels qualifiés et ont établi des plans de formation et de développement des compétences. Au sein du pôle ministériel, la majorité des services (DG, DREAL, DIR) peine à définir des priorités et modalités de déploiement de l'IA. Certaines directions générales disposent d'un plan d'action et d'équipes dédiées à la *data* et à l'IA (ex. DGPR, DGALN), mais indiquent manquer de moyens pour passer à l'échelle. L'absence de vision commune à l'échelle du pôle ministériel ne permet pas de développer une approche efficiente de l'IA en tant qu'outil de transformation de son action.

Il apparaît donc nécessaire de mobiliser rapidement les services du pôle ministériel autour d'une stratégie commune pour l'IA, sur la base des différentes feuilles de route existantes, de l'état des lieux des besoins et cas d'usage identifiés au sein du pôle ministériel (*Cf*. livrable n°2) et de la cartographie des projets IA (*Cf*. livrable n°3). Il convient d'éviter une stratégie techno-centrée, celle-ci doit au contraire s'adresser aux métiers de façon pluridisciplinaire pour traiter l'ensemble des enjeux, en s'appuyant sur la dynamique d'innovation actuelle de façon à créer de la valeur grâce à l'IA. Une approche descendante exclusive se révélant peu adaptée à la conduite des projets et à l'accompagnement au changement, il est recommandé de **concevoir la stratégie ministérielle selon une logique hybride, conjuguant une impulsion stratégique**

au niveau central et une remontée structurée des besoins et contributions des entités opérationnelles.

L'IA n'ayant pas atteint un régime permanent et étant appelée à connaître vraisemblablement des progrès substantiels ces prochaines années, la stratégie IA devra prendre en compte des impacts sur un nombre plus important de cas d'usages et métiers. Elle devrait viser à intégrer les ressources en intelligence de toute nature. Pour la concevoir celle-ci, le pôle ministériel peut reprendre les éléments intéressants des trois feuilles de route (*Cf.* §1.3.1) mais aussi s'appuyer sur la norme ISO/IEC 42001 relative au management des systèmes d'IA, qui identifie en les grands piliers d'une gouvernance solide : engagement de la direction, rôles clairement définis, gestion rigoureuse des risques, transparence et auditabilité des SIA, maîtrise du cycle de vie des données et évolution des compétences.

Recommandation 9. ***[SG] Élaborer une stratégie ministérielle pour l'IA orientée vers la satisfaction des besoins métiers et la création de valeur. La mettre à jour régulièrement afin de prendre en compte les évolutions de l'IA.***

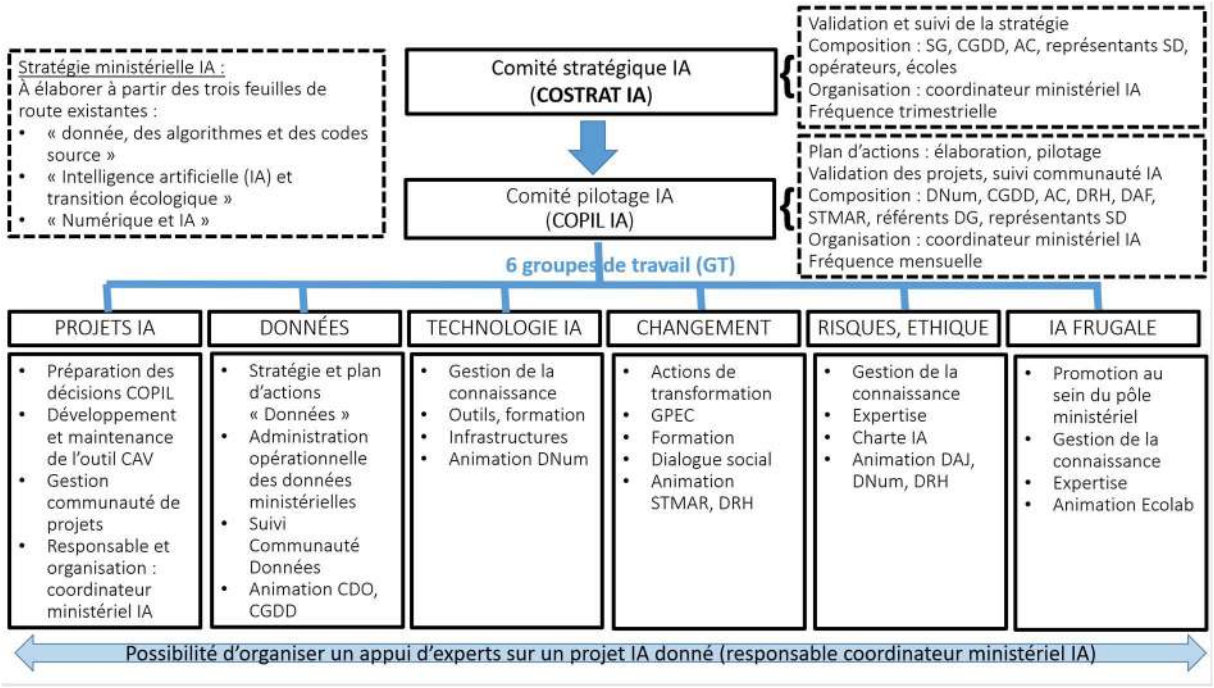
7.2 Doter la stratégie ministérielle en IA d'une gouvernance solide animée à haut niveau par un coordinateur IA rattaché au secrétaire général

La mise en œuvre efficiente de la stratégie ministérielle en IA repose sur la mise en place d'une gouvernance solide, qu'il est recommandé de baser sur une architecture à trois niveaux (*Cf.* figur n°5) : un **comité stratégique (COSTRAT IA)** à fréquence trimestrielle[93], un **comité de pilotage (COPIL IA)** à fréquence mensuelle[94] et **six groupes de travail (GT) thématiques** (*projets IA, données, technologies IA, accompagnement du changement, risques et éthique, IA frugale*) organisés et animés par les services *ad hoc*. Ces GT rendent compte au COPIL. Cette gouvernance associe ainsi toutes les compétences du pôle ministériel et favorise une mobilisation de celles-ci autour de l'IA.

[93] La fréquence trimestrielle de réunion du COSTRAT se justifie au moins la première année en raison de l'importance des enjeux autour de l'IA au sein du pôle ministériel. Celle-ci pourrait ensuite être adaptée.

[94] Le COPIL a un rythme régulier pour suivre la cadence des projets IA. Il pourrait en tant que besoin être dématérialisé ou se tenir sous forme de consultation écrite.

Figure 5 : proposition de gouvernance du déploiement de l'IA au sein du pôle ministériel



Cette proposition de gouvernance repose sur deux postes à plein temps que la mission recommande de créer :

- le **coordinateur ministériel IA**, équivalent du *chief AI officer* en entreprise (*Cf.* §7.2 ou 3), rattaché au secrétaire général et doté d'une autorité fonctionnelle pour déployer la stratégie ministérielle au sein du pôle ministériel ;
- le **directeur des données**, équivalent du *chief data officer* en entreprise (CDO, *Cf.* §3.4), pour suivre la stratégie « Données » du pôle ministériel, animer le groupe de travail associé et son plan d'actions, en lien avec l'AMDAC.

Le coordonnateur IA apporte son appui au COSTRAT dans l'établissement d'une vision et une stratégie de déploiement de l'IA orientée vers la satisfaction des besoins fonctionnels considérés comme prioritaires au regard de leur potentiel de création de valeur. Il met également en place la gouvernance et l'anime.

L'organisation proposée permet au coordinateur ministériel IA d'identifier les expertises du pôle pouvant servir au déploiement de l'IA, en particulier les référents IA (*Cf.* §6.5) et donc d'organiser leur mobilisation sur un projet donné (*Cf.* figure 5). Suivant la logique du management en « mode projet », il lui est ainsi possible, pour un projet IA étudié dans un service, de faire appel à des compétences d'un autre service. Un tel mode de management poursuit l'objectif de faciliter l'acquisition et la mutualisation de méthodes et outils tout en optimisant la mobilisation des ressources et compétences. Il suppose néanmoins de bien définir les modalités de la contribution externe apportée au service porteur du projet, d'évaluer l'atteinte des objectifs fixés par personnels mobilisés en dehors de leur service de rattachement et de valoriser leurs compétences.

Enfin, le coordonnateur IA est chargé d'organiser la sélection et le suivi des projets IA, en s'appuyant notamment sur l'outil CAV (*Cf.* §2.2). L'ensemble repose ainsi sur un processus unifié de gestion des projets, qui permet d'encadrer l'expérimentation sans étouffer l'initiative locale. Bien

que le CAV exprime quelques exigences non négociables (sécurité, conformité, impact environnemental, éthique), les services conservent une certaine autonomie pour définir leurs cas d'usage et les modalités de leurs expérimentations. Afin de stimuler l'émulation, des challenges internes, un catalogue de cas d'usage actualisable et le Piag peuvent favoriser l'appropriation progressive par les équipes.

Dans les rares cas où des projets IA comporteraient des prestations d'audit et/ou de conseil en stratégie SI (GM 33.04.01) supérieures à 143k€, le coordinateur ministériel IA s'assure de récupérer l'avis du comité ministériel d'engagement.

Enfin, le coordonnateur IA établit un lien constant avec les opérateurs, les écoles, les autres ministères et les services interministériels (DINUM notamment) de façon à piloter efficacement la stratégie ministérielle.

Recommandation 10. **[SG]** ***Mettre en place une gouvernance de l'IA reposant sur un comité stratégique (COSTRAT) trimestriel et un comité de pilotage mensuel chargé de mettre en œuvre ses orientations et de lui présenter l'état d'avancement des projets. Créer un poste à temps plein de coordonnateur ministériel IA rattaché au secrétaire général, chargé d'animer la gouvernance.***

Conclusion

En matière d'IA, le parangonnage entre acteurs publics (*Cf.* livrable n°4) et l'état des lieux des projets au sein du pôle ministériel (*Cf.* livrable n°2) montrent que le pôle ministériel a su faire preuve d'initiatives. Les 141 projets identifiés dans la cartographie (livrable n°3) témoignent d'un dynamisme et d'une volonté des services de se saisir du potentiel de l'IA pour créer de la valeur. Les cas d'usage peuvent être généralistes (rédactions de comptes rendus et élaboration de synthèses) ou spécifiques à certains métiers (instruction de dossiers soumis à l'autorité environnementale ou d'installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), lutte contre la fraude (certificats d'économie d'énergie, MaPrimeRénov'), prévision et gestion des risques, assistants RH etc.

Néanmoins, les transformations profondes des métiers et des organisations, que l'IA pourrait engendrer rapidement, surtout dans le contexte actuel de fort accroissement de ses capacités, doivent amener le pôle ministériel à prendre les devants avec l'élaboration rapide d'une stratégie et d'un plan d'actions qui ne soient pas techno-centrés mais orientés vers la satisfaction des besoins métiers, leur transformation et la nécessaire évolution des compétences que cela engendre. Ceux-ci devraient être suivis via une gouvernance à mettre en place, en organisant la mobilisation de l'ensemble des forces du pôle ministériel. Le thème de l'IA peut être porteur, d'autant qu'il y a des attentes dans ce domaine, mais aussi des craintes qu'il convient de lever et des risques qui doivent être anticipés. Le pôle ministériel est en outre légitime pour porter une démarche d'exemplarité environnementale dans ce domaine, en interne comme à l'interministériel.

L'IA représente une opportunité réelle pour améliorer l'efficacité des politiques publiques, à condition de concilier innovation et précaution. En plaçant l'humain et l'éthique au cœur du dispositif, le pôle ministériel pourra transformer cette technologie en un levier au service de ses missions.

Christel Fiorina	Bruno Fulda	Cédric Ghesquières
		
Inspectrice de l'environnement et du développement durable (coordonnatrice)	Inspecteur général de l'environnement et du développement durable	Inspecteur de l'environnement et du développement durable

Cédric Louis	Jean-François Thibous
	
Chef du bureau des systèmes d'information	Chargé de mission

Annexes

Annexe 1. Lettre de commande

MINISTÈRES
AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
Liberté
Égalité
Fraternité

Direction du numérique

Secrétariat général

Paris, le 7 mai 2025

Le Secrétaire général

à

Monsieur le Chef de l'inspection générale de l'environnement et du développement durable

***Nos réf.** : 2025050000409*

Objet : Déploiement de l'intelligence artificielle (IA) aux ministères chargés de la transition écologique et de l'aménagement du territoire : pilotage stratégique, évolution des métiers, management des compétences et dimension humaine

PJ : synthèse de l'étude La Javaness (novembre 2024)

L'intelligence artificielle (IA) comme outil d'amélioration de la qualité du service aux usagers, comme moyen de gagner du temps pour les personnels en automatisant certaines tâches du quotidien, se déploie rapidement au sein des services du pôle ministériel. Les expérimentations qui sont lancées invitent à se questionner sur l'impact de l'IA sur le devenir des métiers et des organisations du travail et à impulser une réflexion stratégique sur le devenir des activités et des fonctions du ministère, et plus particulièrement sur la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences.

Des initiatives en matière de prospective existent tant au niveau ministériel qu'interministériel.

Au niveau interministériel, plusieurs réflexions ont été conduites dans une perspective d'anticipation, comme l'illustrent le guide de la DGAFP « Usage de l'IA en matière de gestion des ressources humaines », et le rapport du Conseil d'Etat « Intelligence artificielle et action publique : construire la confiance, servir la performance » d'août 2022.

Le contenu du dernier comité interministériel de la transformation publique (8ème CITP) oriente peu le pilotage interministériel, ce qui laisse de l'autonomie aux départements ministériels mais interroge quant à l'articulation des initiatives et des projets, notamment ALBERT IA, outil orienté vers la relation avec les usagers (pilotage ANCT pour les maisons France Service), avec une déclinaison à venir dans d'autres services publics (retranscription audiences judiciaires, comptes rendus médicaux). En même temps, ALBERT, s'il permet des progrès dans la réponse aux demandeurs externes qui interrogent nos ministères, ne se révèle pas ou peu adapté à de nombreux autres enjeux de nos ministères. France relance a également émis récemment un appel à projets de 908 millions d'euros (plus orienté cas d'usage et moins pilotage).

Au niveau ministériel, l'émergence d'initiatives diverses relevant principalement du CGDD (ECOLAB avec les cafés IA de l'ECOLAB) et du SG (DNUM avec le portail d'IA générative PIAG,

ecologie.gouv.fr

Grande Arche Paroi Sud
92055 La Défense CEDEX - Tél. : 01 40 81 21 22 - https://www.ecologie.gouv.fr/contact

STMAR/STAR, DRH dans le cadre de la feuille de route SIRH), ou l'outil d'IA générative SOFIA d'initiative conjointe de plusieurs DAC qui est centré sur la transition écologique, font ressortir l'intérêt porté au développement d'outils techniques ayant trait aux systèmes d'informations (SI), à l'ergonomie et la gestion des données, dans le cadre notamment de la Fabrique du numérique. Il conviendrait cependant d'en évaluer l'assise sur un corpus de données d'entrainement adapté, et correctement utilisé par l'ensemble des services du ministère.

Trois axes de réflexions prioritaires émergent donc à ce stade de foisonnement : le renforcement de la politique de management de la donnée au sein du périmètre ministériel, la nécessité de disposer d'une réflexion prospective en matière de RH pour la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences, et la nécessité d'un pilotage stratégique des enjeux de transformation d'organisation et de management lié à l'IA, en intégrant, notamment, les risques déontologiques, sociaux et environnementaux qui accompagnent ces démarches.

Le moment paraît opportun de s'interroger sur la manière dont pourrait s'exercer un pilotage du déploiement de l'IA dans les activités du pôle ministériel, sans freiner les initiatives existantes, tout en prévoyant la maîtrise des risques associés, notamment rappelés par les travaux interministériels.

L'ambition est d'anticiper les impacts vraisemblables de ces nouvelles technologies sur les métiers, les modalités d'exercice des missions, sur les besoins en formation et l'évolution des compétences.

Une des conditions de réussite de nombreuses démarches d'IA est également celle de la disponibilité et du classement des données, y compris de fonds documentaires, susceptibles d'alimenter les systèmes d'IA du ministère, ce qui est susceptible d'impacter à la fois certains métiers liés aux données (par exemple documentation, systèmes d'information) mais aussi l'ensemble des entités qui en produisent ou en traitent.

Parallèlement, le pilotage s'impose pour évaluer et contenir les risques d'ordre juridique (éthique et déontologie), et de sécurité / souveraineté (confidentialité des données), mais également d'impact environnemental.

En particulier, l'IA étant de nature à modifier et peut-être même bouleverser les manières de travailler (processus, compétences), son pilotage stratégique doit permettre au ministère de s'emparer du sujet dans un cadre éthique posé au préalable. Ce pilotage devrait permettre de définir des modalités de déploiement qui tiennent compte des impacts de ces transformations en termes de gestion prévisionnelle des emplois, d'efficience, de compétences, de métiers, de collectifs de travail, de risques psycho-sociaux (RPS), de dialogue social et de management. Le pilotage stratégique de l'IA implique donc la mise en place d'un volet « ressources humaines » significatif, encore mal identifié à ce jour.

En même temps, les performances des outils IA évoluant de manière toujours très rapide et pas toujours très prévisible, il convient aussi d'encourager les projets émanant des initiatives de terrain les plus dynamiques, tout en organisant leur retour d'expérience et leur partage, pour qu'ils puissent bénéficier à toutes les entités du ministère.

Dans ce cadre, je vous demande de bien vouloir conduire une mission ayant donc pour objet :

- d'établir une cartographie des initiatives actuelles d'intégration de l'IA sur le plan ministériel, accompagnée d'un parangonnage des initiatives les plus significatives au niveau interministériel, et d'évaluer comment leur déploiement pourrait être encouragé en tant que levier de transformation, pour l'amélioration de la qualité de l'exercice des missions ministérielles ;

- d'identifier les besoins manifestes en termes de pilotage et d'accompagnement de ces évolutions, en envisageant, le cas échéant, un cadre d'expérimentation visible pour faciliter les initiatives ;
- de proposer un cadre d'analyse de la valeur des projets envisagés et des expérimentations conduites, qui intègre des critères de performance et d'efficience, d'impact social et sur les modalités d'exercice des missions et les métiers, d'éthique et de rentabilité au regard des transformations attendues. A cet égard, la méthodologie MAREVA 2 ou tout autre méthodologie pertinente pourra être retenue, afin de permettre la mesure des bénéfices attendus des solutions d'IA, tout en prenant en compte les risques associés. A cette fin, les retours d'expérience interministériels (DINUM, DITP) ou ministériels pourront être examinés ;
- de déterminer les axes d'une politique ministérielle ambitieuse en matière de gestion prévisionnelle des emplois impactés par l'IA à court et moyen terme, de renforcement ou d'évolution des compétences, de formation (initiale ou continue) et d'accompagnement de ces transformations, notamment en terme de management et de dialogue social.

La première phase d'état des lieux ne visera pas l'exhaustivité, mais devra permettre d'identifier des expérimentations et les bonnes pratiques en matière de gouvernance et de prise en compte des enjeux RH associés, ainsi que les éventuels points de vigilance. Elle s'appuiera utilement sur la récente cartographie des cas d'usage existants / pressentis, réalisée par La Javaness pour la DNUM. Cela permettra d'identifier comment l'IA au MTE se développe, et, si le déploiement de l'IA s'effectue essentiellement par un ensemble d'initiatives émanant de diverses entités de terrain, assorties d'éventuels retours d'expériences, ou si un mouvement coordonné tend à se mettre en place, et de quelle manière.

La mission examinera en particulier comment les principaux opérateurs rattachés au ministère (notamment Météo France, IGN, ADEME, CEREMA) s'organisent eux-mêmes, dans le cadre de leurs métiers et de leur gestion prévisionnelle des emplois et compétences.

La mission établira un parangonnage auprès d'autres pôles ministériels ayant des sujets communs avec le MTE, comme les enjeux d'identification, de hiérarchisation et de traitement de données en masse (notamment intérieur, armées, affaires sociales). La capitalisation sur les retours d'expériences qui tiennent compte des enjeux humains doit tirer les enseignements des expériences identifiées, notamment sur les enjeux liés au service public. Cet état des lieux pourra être complété par un parangonnage européen s'appuyant sur les mêmes questions que l'état des lieux interne.

Sur le plan interministériel, la mission s'appuiera sur les services de la DITP, de la DINUM et de la DGAFP, afin de mieux comprendre comment s'exercent le pilotage, la gouvernance et les divers financements des projets en cours (ALLIANCE, ALBERT notamment, mais aussi MISTRAL, voire d'autres encore), et tendra à préciser le rôle exercé par le comité interministériel de la transformation publique (CITP), voire le comité interministériel du numérique (CIN).

La prise en compte des enjeux managériaux, humains et environnementaux de la transformation, telle que précisée dans l'intitulé de la mission, devra faire partie des éléments caractérisant l'état des lieux et l'analyse de la valeur, en particulier le cadre éthique dans lequel la réflexion présidant au déploiement de l'IA doit s'intégrer.

La seconde phase de la mission s'intéressera aux formes que pourrait prendre le pilotage stratégique ministériel pour anticiper l'évolution des métiers et des compétences, à court et

moyen terme, préservant l'encouragement des initiatives de terrain, tout en se donnant les moyens de maîtriser les risques liés au déploiement de l'IA. Ce volet de propositions devra être très opérationnel et intégrer :

- la vision consolidée à l'échelle du pôle ministériel du déploiement de l'IA sur son volet RH
- l'orientation et la priorisation des actions d'anticipation nécessaires, dans une démarche agile
- le soutien au niveau fin des projets des entités diverses du ministère qui souhaitent améliorer la qualité de leurs productions et/ou leur efficacité.

Je vous remercie de bien vouloir me transmettre votre rapport dans un délai de 6 mois, à compter de la date de signature de la présente lettre de mission.



Guillaume LEFORESTIER

Copie à : DRH, STMAR, SHFDS (FSSI)

ecologie.gouv.fr

Grande Arche Paroi Sud
92055 La Défense CEDEX - Tél. : 01 40 81 21 22 - https://www.ecologie.gouv.fr/contact

Annexe 2. Liste des personnes rencontrées

Pôle ministériel – administrations centrales et services déconcentrés

Organisme	Nom(s) et fonction(s)	Date de rencontre
SG	Guillaume LEFORESTIER (Secrétaire général) Sylvain LATARGET (Adjoint au secrétaire général)	08/01/26
SG/DAJ	Olivier FUCHS (Directeur des affaires juridiques) Jérôme DIERENHOEFFER (Sous-directeur des affaires juridiques de l'énergie et des transports)	02/09/25
SG/DES	Laurent TAPADHINHAS (Délégué ministériel à l'encadrement supérieur) Tanguy BOUCHAUD (Délégué ministériel adjoint à l'encadrement supérieur) Rémi GAUBE (Conseiller à la délégation ministérielle à l'encadrement supérieur)	24/09/25
SG/DMA	Gaël LE BOURGEOIS (Délégué ministériel à l'accessibilité)	04/08/25
SG/DNum	Arnaud BEAUFORT (Directeur du numérique) Catherine FERREOL (Adjointe au directeur du numérique) Jean-Philippe LANG (Chef du département Socles)	17/06/25 27/06/25
SG/DRH	Anne DEBAR (Directrice des ressources humaines) Philippe CUCCURU (Chef de service du pilotage des moyens et des réseaux RH) Sophie MANGIANTE (Adjointe au chef de service du pilotage des moyens et des réseaux RH) Pierre ROUX (Sous-directeur de la formation, des compétences et des qualifications) Ingrid BERGERET (cheffe du département des solutions numériques pour les ressource humaines)	31/07/25 16/09/25
SG/SHFDS	Alexandre JEAUNAUX (Adjoint au chef du service du haut fonctionnaire de défense et de sécurité))	28/08/25
SG/STMAR	Marie RENNE (Cheffe du service de la transformation ministérielle et de l'animation du réseau) Laurence MATRINGE (Adjointe à la cheffe du service de la transformation ministérielle et de l'animation du réseau) Mireille MAESTRI (Sous directrice de l'innovation pour les transformations) Fabien EYCHENNE (Responsable de la fabrique à projets) Charles-Guillaume BLANCHON (Adjoint au sous-directeur de la stratégie de transformation et de l'animation des réseaux)	25/07/25
CGDD	Brice HUET (Commissaire général au développement durable) Thierry COURTINE (Chef du service de la recherche et de l'innovation)	20/06/25 02/07/25 07/07/25

	Thomas COTTINET (Chef de l'Ecolab) Hélène BEGON (Adjointe au chef de l'Ecolab) Juliette FROPIER (Cheffe de projet IA) Béatrice SEDILLOT (Sous-directrice des études statistiques)	14/10/25 07/01/26
DGAC	Christophe ROUQUIE (Directeur de la technique et de l'innovation à la DSNA) Guillaume BLANDEL (Directeur des opérations à la DSNA) Belkacem LAIMOUCHE (Responsable de la fabrique digitale à la DI-NUM)	24/07/25 29/07/25
DGALN	Guillaume LEVIEUX (Chef de la mission numérique)	03/07/25
DGAMPA	Olivier CUNIN (Directeur général adjoint) Laure DASSONVILLE (Directrice de projet numérique et données)	27/06/25
DGEC	Sophie MOURLON (Directrice générale) Guillaume DEFILLON (Conseiller transformation numérique)	07/07/25
DGITM	Rodolphe GINTZ (Directeur général) Mélanie VERGNON (Sous-directrice de la stratégie, de la planification, de l'innovation et du numérique) Pierre-Yves APPERT (Directeur de projet) Grégoire PHILIPPON (Directeur de projet)	25/06/25
DGPR	Régine ENGSTROM (Adjointe au directeur général) Nicolas BONIN (Conseiller en direction de projets numériques) Pascal LAGRABE (Chef de la mission du numérique et de la donnée) Sébastien MEYER (Chef de projet IA et Data Coach) Sébastien PIQUEMAL (Chef de projet tech lead plateforme données)	30/06/25

Pôle ministériel - établissements publics

Organisme	Nom(s) et fonction(s)	Date de rencontre
Ademe	Baptiste PERRISSIN-FABERT (Directeur général délégué) Laurent PICHARD (Secrétaire général) Marc VIOT (Directeur de l'environnement de travail et des systèmes d'information) Philippe GUILLOUZIC (Chef de projet transformation digitale)	28/08/25
Cerema	Pascal BERTEAUD (Directeur général) Pascal TERRASSE (Directeur général adjoint) Xavier PONTICQ (Directeur du programme Cerema.AI)	26/08/25
ENPC	Jérôme LESUEUR (Directeur adjoint de l'École des Ponts, chargé de l'enseignement et de la recherche) Pierre BERTRAND (Responsable du développement, Direction de l'enseignement) Bernard CAILLAUD (Chercheur senior)	02/10/25
ENTPE	Cécile DELOLME (Directrice) Antoine LE BLANC (Directeur de la formation initiale) Alban DUBANCHET (Responsable ingénierie pédagogique et numérique)	25/09/25
IGN	Sébastien SORIANO (Directeur général) Nicolas PAPARODITIS (Directeur général adjoint) Emmanuelle ROUX (Conseillère auprès du directeur général) Blandine MARCHAND (Directrice des systèmes d'information) Jean-Luc COUSIN (Directeur-adjoint des systèmes d'information) Nathalie QUELQUEJEU (Directrice des ressources humaines)	12/09/25
Météo-France	Virginie SCHWARZ (Présidente directrice générale) Nicolas TRIFT (Directeur de la stratégie) Jean-Marie CARRIÈRE (Directeur des services météorologiques) Natacha BERNIER (Directrice de l'enseignement supérieur et de la recherche)	22/07/25

Pôle ministériel – organisations syndicales

Organisme	Nom(s) et fonction(s)	Date de rencontre
CFDT	Dominique VINCENT (secrétaire général) Benjamin JACQUES (représentant du personnel) Cédric MALLARTE (technicien DIR Ouest) David MAGNAUX (coordinateur du service juridique, DREAL Bourgogne-Franche-Comté) Evelyne JOYEUX-HOME, (permanente, responsable administrative, DDTM Charente-Maritime) Marie LEVARAY (DIRM Manche, mer du Nord)	21/11/25
CGT	Isabelle LEPLA Samir KHAZAZ Thomas FLODERER	12/11/25
FO	Malvina CAUBERT (membre titulaire de la FSM) Olivier GLEIZE (membre titulaire de la FSM)	20/11/25
UNSA	Gwenaëlle HIRTZIG (chargée de mission) Grégory VIGNA (permanent syndical)	24/11/25

Services interministériels

Organisme	Nom(s) et fonction(s)	Date de rencontre
DIESE	Jacques CLEMENT (conseiller pour les cadres dirigeants) Michel PARDOUX (réforme des grands corps techniques de l'État)	09/12/25
DINUM	Ishan BHOJWANI (responsable d'Etalab et de beta.gouv.fr) Fadila LETURCQ (cheffe du pôle Campus du numérique public)	26/08/25
DITP	Laurent BLANC (conseiller à la sécurité numérique auprès du délégué) Mariam CHAMMAT (directrice de projet sciences comportementales) Dalhia CHEKAOUI (directrice de projet à l'Agence de conseil interne de l'État)	23/07/25
DGAFP	Hélène MARTIN (sous-directrice de la synthèse statutaire)	29/09/25
ANSSI	Renaud LABELLE (sous-directeur expertise)	23/09/25

Autres ministères

Organisme	Nom(s) et fonction(s)	Date de rencontre
MAASA SNUM	Christophe BOUTONNET (chef du service du numérique) Philippe SAPPEY (sous-directeur de la stratégie, du pilotage et des ressources) Jean-Louis LARRIEU (chef du bureau de la stratégie, de l'urbanisation, du pilotage et des ressources)	09/10/25
MAASA CGAER	Anne DUFOUR (inspectrice) Marie LUCCIONI (inspectrice)	08/09/25
Ministère des armées AMIAD	Bertrand RONDEPIERRE (directeur)	27/10/25
Ministère des armées SGA	Valérie PÉNEAU (directrice, adjointe au SGA, déléguée à la transformation et de la performance ministérielles) Alexandre BAILLOT (chef de la mission d'aide au pilotage) Guillaume VIMONT (responsable du centre d'expertise IA)	29/07/25
Ministère de la culture	Guillaume COMBE (directeur du numérique) Héloïse BIARD (cheffe du département numérique pour la transformation des politiques culturelles et de l'administration des données)	16/09/25
MEFSIEN DGCCRF	Rémi STEFANINI (délégué au numérique) Guy-Daniel EDOU MINKO (chef de la cellule numérique du service national des enquêtes)	26/08/25
MEFSIEN DGDDI	Pascal LEFÈVRE (délégué à la stratégie) Eric LAURENT (chef de bureau satisfaction utilisateurs, sous-direction des systèmes d'informations)	24/07/25
MEFSIEN DGFiP	Benoit ROUPPERT (délégué à la transformation numérique)	15/07/25
MEFSIEN DG Trésor	François JONKISZ (directeur des systèmes d'information) Anne-Sophie DUFERNEZ (cheffe du bureau transformation & transversalité) Pierre LANDAIS (adjoint à la cheffe du bureau transformation & transversalité) Vincent MARINET (conseiller du DG délégué aux enjeux numériques)	02/09/25
Ministère de l'éducation nationale	Audran LE BARON (directeur du numérique pour l'éducation) Sébastien MOREL (responsable de l'incubateur des services numériques) Claudio CIMELLI (conseiller expert auprès du directeur du numérique pour l'éducation)	25/08/25
Ministère de l'Intérieur DNUM	Mathieu WEILL (directeur de la Transformation Numérique, SG adjoint chargé du numérique) Emmanuel MAKSYMIW (adjoint à la délégation ministérielle à l'intelligence artificielle)	02/07/25
MTSSF SNUM	Anne JEANJEAN (directrice) Gautier POUPEAU (coordinateur des activités data et IA)	27/08/25

Collectivités territoriales

Organisme	Nom(s) et fonction(s)	Date de rencontre
Métropole de Bordeaux	Jean-Noël OLIVIER (directeur général Numérique et systèmes d'information)	22/10/25
Ville de Paris	Thomas BRAND (chef du service data et IA) Bertrand LAVAUD (chargé du plan de transformation numérique)	27/11/25

Autres organismes

Organisme	Nom (s) et fonction (s)	Date de rencontre
AFNOR Normalisation	Eric LAURENÇON (responsable du DETN, département électro technologies et numérique) Morgan CARABEUF (DETN, responsable du pôle numérique)	20/10/25
DélibIA	Hubert CASTELNAU, responsable des relations institutionnelles	09/12/25
France Travail	Stéphane CAMPION (relations externes intelligence artificielle & data) Mathilde CADORET (AMO Sopra Storia)	02/07/25
Hub France IA	Rim THERAOUI (présidente) Pierre MONGET (directeur de programme)	09/09/25
INA	Richard PARISOT (directeur data & technologies) Eléonore ALQUIER (directrice adjointe data & technologies) Xavier LEMARCHAND (directeur de mission coordination et intégration IA)	01/10/25
Labor IA	Laurence MARI (directrice opérationnelle) Yann FERGUSON (directeur scientifique et sociologue) Fabien LE VOYER (directeur du programme Intelligence Artificielle) Edouard HAVIS (chef de projet)	08/09/25
La Poste	Pierre-Etienne BARDIN (*Chief Data Officer*)	09/12/25
Mines de Paris	Frédéric FONTANE (directeur de l'enseignement) Xavier CAILLARD (adjoint au Directeur de la transformation et des services)	13/10/25
RATP	Mounia LATRECH (*Chief Data Officer*) Yolaine HARDY (Responsable pilotage et valorisation des données) Sophie LAURIN (*Chief Transformation Officer*) Benoît MARICHAL (*Lead Data Strategist*)	24/09/25
Université Gustave Eiffel	Pascal ROMON (vice-président responsable du numérique) Sébastien SIGISCAR (directeur du centre d'innovation pédagogique numérique et directeur adjoint de la DGD, formation numérique), Mahdi ZARGAYOUNA (directeur de recherche)	03/10/25

Annexe 3. Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
AC	Administration centrale
ACV	Analyse du cycle de vie
Ademe	Agence de la transition écologique
AGDAC	Administrateur Général des Données, Algorithmes et Codes sources
AMDAC	Administrateur Ministériel des Données, des Algorithmes et des Codes sources
ANSSI	Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information
ASR	Automatic Speech Recognition (Reconnaissance Automatique de la Parole)
CAV	Cadre d'analyse de la valeur
CDO	Chief data officer
Cerema	Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement.
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CNIL	Commission nationale de l'informatique et des libertés
CPU	Central Processing Unit
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DGAFP	Direction Générale de l'Administration et de la Fonction Publique
DGALN	Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature
DGAMPA	Direction Générale des Affaires Maritimes et de la Pêche Atlantique
DGCCRF	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
DGDDI	Direction Générale des Douanes et Droits Indirects
DGEC	Direction Générale de l'Énergie et du Climat

DGFiP	Direction Générale des Finances Publiques
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DINUM	Direction Interministérielle du Numérique
DITP	Direction Interministérielle de la Transformation Publique
DNum	Direction du Numérique du ministère de la transition écologique
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ETP(T)	Équivalent temps plein (travaillé)
FTAP	Fonds pour la transformation de l'action publique
GED	Gestion Électronique des Documents
GPEC	Gestion prévisionnelle des emplois et des compétences
GPU	Graphic Processing Unit (Unité de Traitement Graphique)
HDS	Hébergeur de Données de Santé
IA	Intelligence Artificielle
IAg	Intelligence Artificielle Générative
IGEDD	Inspection Générale de l'Environnement et du Développement Durable
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
INA	Institut National de l'Audiovisuel
LLM	Large Language Model (grand modèle de langage)
MAREVA	Méthode interministérielle d'Analyse et de REmontée de la VAleur
MAASA	Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Souveraineté Alimentaire
MD	Mission de la politique documentaire
MEN	Ministère de l'Éducation Nationale
MinArm	Ministère des Armées

MinCult	Ministère de la Culture
MINEFI	Ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle, énergétique et numérique
MIT	Massachusetts Intitute of Technology
MTSSF	Ministère du Travail, de la Santé, des Solidarités et des Familles
NAS	Neural Architecture Search
OIT	Organisation internationale du travail
Piag	Portail des Intelligences Artificielles Génératives
POC	Proof of concept (preuve de concept)
RAG	Retrieval-Augmented Generation
RGPD	Règlement Général sur la Protection des Données
RIA	Règlement sur l'intelligence artificielle
ROI	Return on investment (retour sur investissement)
SD	Services déconcentrés
SecNum	Sécurité Numérique
SG	Secrétariat général (du pôle ministériel)
SGG	Secrétariat général du gouvernement
SGBD	Système de gestion de bases de données
SIA	Système d'intelligence artificielle
SNIA	Stratégie Nationale d'Intelligence Artificielle
SNum	Service du numérique
TCO	Total Cost of Ownership (coût total de possession)
TPU	Tensor Processing Unit (unité de traitement tensoriel)

Annexe 4. Apports de l'Inspection augmentée

Annexe 4.1. **Appui à la rédaction de comptes rendus de réunion et d'entretiens**

Dans le cadre du projet « Inspection augmentée »[95] de l'IGEDD, les missionnés ont été dotés de licences « Upmeet.ai », solution qui sert à automatiser la production de comptes-rendus de réunion.

La quasi-totalité des entretiens et des réunions qui se sont déroulés durant cette mission a été formalisée avec l'appui de cet outil (l'accord des participants était sollicité par les missionnés au début de chaque réunion). Les rares refus ont été justifiés par un souci de confidentialité des échanges ou de liberté des propos.

L'utilisation de cet outil a conduit les missionnés à modifier leur façon d'organiser et de conduire les entretiens et réunions. Des prompts ont été créés en fonction des types de réunion et/ou d'interlocuteurs et ont été progressivement adaptés afin d'améliorer la production d'Upmeet.

Exemple : prompt utilisé pour les entretiens avec les ministères et opérateurs

* Générer un compte-rendu de réunion respectant les critères suivants : (1) Format lisible, fluide et professionnel ; (2) Limité à 10 pages maximum (format A4, interligne simple), (3) Structuré selon le plan ci-dessous, (4) Tu dois strictement t'appuyer sur le contenu du verbatim fourni, sans ajouter d'informations extérieures ni effectuer de recherches.

Plan du compte-rendu : (1) Stratégie IA et projets, (2) Besoins prioritaires en matière d'IA, (3) Administration des données, (4) Outils et services, (5) Transformation des métiers / Évolution des compétences, (6) Questions diverses.

Règles de rédaction :

Commence le compte-rendu en indiquant « Mission IA IGEDD pour le SG » en titre, la date, le nom des participants (indique le nom des participants de l'IGEDD en dernier) et tout autre élément contextuel uniquement si cela apparaît dans le verbatim. Ajoute ensuite un résumé de la réunion de 10 lignes maximum.

Rédige dans un style clair, neutre et professionnel, sans langage oral.

Réorganise les informations si nécessaire pour respecter la structure du plan, même si elles sont exprimées de manière dispersée dans le verbatim.

Si un axe n'a pas été abordé, indique : « Non abordé ».

Ne cite aucune personne (nom, fonction) sauf mention explicite dans le verbatim.

Tu peux utiliser des listes à puces ou des paragraphes synthétiques, en respectant la cohérence et la fluidité du texte.

A la fin du compte-rendu, établis la liste des documents ou des informations que les interlocuteurs se sont engagés à fournir ou à transmettre aux participants

Pour l'export en format .docx, utilise une police calibri uniquement, taille 11pt, interligne simple, marge standard.

Les missionnés ont apporté un soin particulier à la structuration des entretiens, afin d'optimiser la réponse de l'IA. Les réunions démarraient systématiquement par un tour de table exhaustif, de

[95] https://www.beta.gouv.fr/startups/inspecteur-augmente.html

façon à ce que l'IA enregistre les noms et fonctions des participants.

Plusieurs limites dans l'utilisation de cet outil de retranscription d'échanges ont été observées :

- Upmeet est un outil de marché, il n'est donc pas possible de l'utiliser durant la réunion lorsque des données sensibles (données personnelles, secret fiscal, secret industriel etc.) sont susceptibles d'être révélées. Cette situation a été peu fréquente dans le cadre de la présente mission ;
- l'outil retranscrit phonétiquement les noms et prénoms des participants, l'orthographe devait fréquemment être corrigée ;
- il gère difficilement les échanges qui se déroulent en mixte présentiel et visioconférence : il ne capte par toujours les voix de l'ensemble des participants, notamment ceux qui sont à distance. Cet écueil affecte la retranscription écrite de la réunion, tous les participants n'étant pas identifiés. Il n'est, dans un tel contexte, pas possible de retracer précisément les propos des participants dont la voix n'a pas été captée ;
- l'outil ne distingue pas toujours, dans les conversations, le niveau d'importance de certains sujets par rapport à d'autres, y compris lorsqu'il travaille à partir d'un prompt. Il lui arrive, dans certains comptes rendus, de restituer précisément des sujets secondaires tout en synthétisant fortement des sujets importants. Les missionnés doivent alors « redresser » le compte rendu de façon manuelle ou en sollicitant l'outil avec un nouveau prompt ;
- l'outil ne distingue pas non plus les propos des membres de la mission et les propos des personnes rencontrées. Les missionnés pouvaient être amenés à donner des exemples, qui étaient repris dans le compte rendu au titre des actions de l'entité auditionnée ;
- des hallucinations ont été constatées dans certains comptes rendus. L'outil a curieusement restitué des informations qui n'avaient pas été évoquées lors de l'entretien, ce qui suggère qu'il ne fonctionne pas en environnement totalement fermé mais puise des informations ailleurs. Il convient d'évoquer ce point avec l'éditeur et de le corriger si l'utilisation était préconisée pour l'inspection.

Les utilisateurs ont néanmoins constaté beaucoup de points positifs :

- un outil facile d'utilisation, accessible en mode web et via une application sur *smartphones*. Il est en outre compatible avec des solutions de visioconférence grand public telles que Teams, Zoom ou Google Meet ;
- l'utilisation d'un prompt améliore la qualité et la précision du compte rendu ;
- la qualité du verbatim et du compte rendu, même si elle reste perfectible, est globalement satisfaisante, surtout lorsqu'un prompt précis est utilisé ;
- l'assistant conversationnel permet de questionner le verbatim pour préciser ou corriger, le cas échéant, le compte rendu.

Impact de l'utilisation d'Upmeet dans le cadre de la mission :

Quantitatif : 92 réunions, temps moyen de rédaction d'un compte-rendu évalué à 90 minutes ; gain de temps de 70 % grâce à l'IA soit un impact d'environ 100 heures de travail durant la totalité de la mission.

Qualitatif : l'utilisation d'Upmeet permet aux missionnés d'être plus attentifs aux propos de leurs interlocuteurs car ils sont moins mobilisés sur la prise de notes. La retranscription des échanges offre en outre une trace exhaustive des propos tenus en réunion. Le cas échéant, il est possible de chercher des précisions en phase d'exploitation des comptes rendus. Cela apporte de la sécurité et de la complétude, le recours au verbatim étant toujours plus complet que la seule prise de notes manuscrites.

Annexe 4.2. **Élaboration du parangonnage et de l'état des lieux des projets d'IA au sein du pôle ministériel**

En réponse aux besoins métiers recensés lors de la phase exploratoire du projet Inspection augmentée, l'IGEDD expérimente depuis début 2025 un outil de génération augmentée de récupération (*retrieval augmented generation* - RAG) ouvert à tous ses agents. Il s'agit, notamment, d'assurer une plus grande fiabilité des réponses apportées par les outils d'IA aux requêtes des utilisateurs, en particulier dans le cadre des missions d'audit, de conseil et d'autorité environnementale. L'IGEDD utilise un outil de marché mis à disposition par l'entreprise Humata. Son principal point fort réside dans son ergonomie et, notamment, la capacité pour ses utilisateurs de vérifier la qualité de la réponse apportée par l'IA et d'en contrôler les sources, grâce à une fenêtre de visualisation très bien conçue. Le RAG Humata présente toutefois des limites liées à la confidentialité des données qui peuvent être utilisées par l'IGEDD. L'éditeur étant américain, il est soumis à des législations de portée extraterritoriale (*Cloud act* en particulier). Dans le cadre la présente mission, Humata a donc été utilisé pour les documents qui ne comportaient pas de données sensibles (données personnelles, rapports confidentiels de l'IGEDD, documents qui contiennent des informations soumises au secret)[96].

Au total, la mission a téléchargé 54 comptes rendus d'entretien dans le RAG d'Humata afin de pouvoir les exploiter pour rédiger le parangonnage interministériel (livrable n°1) et l'état des lieux des projets d'IA au sein du pôle ministériel (livrable n°2). Elle a ensuite interrogé la base de comptes rendus du RAG avec une liste de questions formatée, de façon à réaliser des fiches descriptives par organisation. En réponse à cette requête, Humata a produit une première version des fiches descriptives des organisations pour les deux livrables cités plus haut (31 fiches au total). Humata a également été utilisé pour établir la synthèse du parangonnage.

Pour les requêtes comportant peu de documents (3 maximum), la mission a également utilisé Mistral et ChatGPT dans le PIAG pour réaliser des fiches parangonnages, selon le même prompt que celui utilisé dans Humata.

Impact de l'utilisation d'Humata dans le cadre de la mission

Quantitatif : gain de temps de 30 % à 50 %, selon la qualité du compte rendu sur lequel s'est appuyé Humata pour réaliser la fiche et la complexité de la requête. Les réponses étaient globalement de meilleure qualité pour les fiches « organisations ». Les fiches thématiques, basées sur un corpus documentaire plus important (jusqu'à une trentaine de fiches), demandaient plus de travail de reprise par les inspecteurs. S'agissant des requêtes les plus simples (3 fichiers maximum), certaines d'entre elles ont été réalisées avec le PIAG. Le gain de temps pour ces traitements plus légers est évalué entre 50 et 75 %. La réponse du LLM était globalement de bonne qualité, ChatGPT ayant tendance à produire des réponses plus étayées que Mistral.

Qualitatif

(1) la qualité de la réponse d'Humata dépend en premier lieu de la qualité du ou des comptes rendus qui ont fait l'objet de la requête. Certains d'entre eux n'avaient pas été suffisamment consolidés par la mission avant d'être téléchargés dans le RAG. Le travail d'Humata en a pâti, selon la logique « *garbage in, garbage out* ». Il a parfois fallu reprendre la transcription du compte rendu initial pour corriger des approximations voire des hallucinations.

Mesure d'amélioration : consolider les comptes rendus produits par Upmeet dans les 24h qui suivent la réunion, corriger les approximations, supprimer les éventuelles hallucinations de façon à

[96] Depuis fin 2025, l'IGEDD met à disposition de SG/DNum son retour d'expérience sur le RAG Humata dans l'objectif de développer un outil souverain à même de répondre aux besoins des métiers qui traitent des données sensibles.

télécharger une version robuste du compte rendu dans le RAG.

2) le travail de vérification de la qualité de la réponse de l'IA a été plus aisé avec Humata qu'avec les LLM du PIAG. Humata dispose en effet d'un volet « visualisation », avec surlignage, qui permet immédiatement de vérifier la source sur laquelle il s'appuie pour rédiger chaque élément de la fiche. Ce n'est pas le cas dans le PIAG.

Annexe 4.3. **Collecte d'éléments pour le rapport de synthèse**

Au moment de la rédaction du rapport, il pouvait être nécessaire de résumer en quelques lignes des éléments factuels collectés dans la mission. Ces éléments pouvaient être dispersés dans plusieurs documents et nécessiter un temps important de relecture. La mission a pu utiliser le PIAG et l'outil Mistral pour faire cette synthèse.

A titre d'exemple, dans la partie sur le dialogue social, il était important, avant que la mission expose son point de vue, de rendre compte des échanges qu'elle a eus avec quatre organisations syndicales. La mission a rassemblé dans un document unique les comptes rendus dont elle disposait de ces quatre entretiens, et a joint ce document dans le PIAG en demandant à Mistral de résumer les principaux enseignements, au travers d'un prompt très simple : *« Peux-tu me résumer la position des organisations syndicales sur l'IA ? »*. Le résultat a fait l'objet d'une reformulation qui a servi d'introduction au chapitre concerné.

De même, les 5 cas d'usage de l'IA au sein du ministère avaient fait l'objet d'une présentation détaillée dans l'annexe consacrée à ce sujet. Le rapport de synthèse nécessitait que cela soit présenté en une vingtaine de lignes maximum. Une requête sur Mistral via le PIAG du type « Peux-tu me faire une synthèse rédigée courte des 5 cas d'usage présentés dans le texte ci-dessous » apportait des éléments intéressants, qui ont toutefois dû être repris dans le rapport final (reformulation, suppression de certains éléments inutiles, notamment les introductions et conclusions qui étaient très vagues et peu pertinentes).

Annexe 4.4. **Avertissements à l'utilisation des outils IA dans le contexte de la mission**

Les problèmes cités précédemment amènent à utiliser des outils d'IA génératives avec une extrême prudence et un véritable savoir-faire dans une mission de type inspection.

Dans le travail de restitution et de synthèse d'entretiens, une relecture des documents produits est absolument nécessaire ainsi qu'une validation des participants pour éviter de reprendre une information fausse et se trouver en porte-à-faux avec ces derniers. La probabilité de laisser passer des biais et des hallucinations décroît avec le niveau d'expertise du relecteur dans le domaine concerné.

Ces premières expériences illustrent la façon avec laquelle un métier peut s'appuyer sur une IA pour réaliser certaines tâches circonscrites mais aussi la faiblesse actuelle des outils IA : ils restituent des informations de façon factuelle mais ne développent pas un niveau d'analyse du sujet élevé et éprouvent des difficultés à distinguer le sujet important de celui plus secondaire. Ils peuvent en outre produire des hallucinations assez sophistiquées, que seuls de fins connaisseurs du sujet peuvent détecter. Il est possible d'imaginer que ce niveau s'améliorerait dans le temps avec l'accès à des données plus larges et en utilisant de l'apprentissage automatique (*machine learning*) pour les outils les plus évolués. Mais il semble difficile aujourd'hui de penser qu'un outil IA fera une proposition innovante, multicritères, fine et adaptée à un public cible, ce que pourrait faire une personne experte et expérimentée dans un domaine. L'IA pourrait monter rapidement en gamme en expertise technique mais aurait des difficultés à s'appuyer sur des expériences modélisables comme un jeu d'acteurs. Le coût d'enrichissement de l'outil peut alors être un frein s'il dépasse le gain apporté.

Annexe 5. Améliorer la productivité grâce à l'IA : une approche avant tout managériale, de transformation des métiers et d'évolution des compétences collectives

L'IA est généralement considérée comme un facteur de productivité potentiellement important, dans un contexte atone depuis près de vingt ans dans les économies avancées. Alors que les pays émergents ont bénéficié de l'industrialisation et du rattrapage technologique, les États-Unis et l'Europe suivent des trajectoires divergentes, l'Union européenne souffrant globalement d'un manque d'investissements dans l'innovation et d'une adoption tardive des technologies numériques. La France illustre ce phénomène, avec une productivité qui ne retrouve pas son niveau d'avant la pandémie de Covid-19 et accuse un retard structurel face aux économies les plus innovantes.

Ce constat nourrit un intérêt croissant pour l'IA comme levier de croissance, de compétitivité et de modernisation des organisations, mais son impact réel sur cet indicateur tarde à se concrétiser. Ce **paradoxe rappelle celui identifié par Robert Solow**[97] à la fin des années 1980 : « *on voit de l'informatique partout, sauf dans les statistiques de productivité*[98] ». Dans ce contexte, l'IA représente un enjeu stratégique déterminant pour les organisations publiques et privées, non seulement en raison de son potentiel technique, mais surtout en raison des transformations qu'elle exige en matière de management, d'organisation du travail et de montée en compétences.

Les premières vagues d'IA analytique ont permis d'automatiser des tâches répétitives et d'optimiser des processus dans des secteurs riches en données, comme la finance, la logistique ou l'industrie. Les gains obtenus semblent globalement réels mais restent **localisés, souvent limités à des cas d'usage ciblés, et insuffisants pour entraîner un choc de productivité à l'échelle macroéconomique**. L'arrivée des modèles génératifs marque un tournant plus profond : l'IA ne se contente plus d'analyser, elle crée et assiste des activités cognitives complexes. Rédaction, synthèse, programmation, relation client, conception ou analyse juridique sont désormais concernées. **Cette capacité à augmenter les compétences humaines ouvre un potentiel de transformation beaucoup plus large**, tout en soulevant de nouveaux défis en matière de qualité, d'éthique, de maîtrise des risques et de consommation énergétique.

Malgré ces promesses, le paradoxe persiste : **l'IA se diffuse très rapidement, mais les gains mesurables restent à ce stade limités**. La majorité des organisations l'expérimentent sans parvenir à la déployer à grande échelle. Les effets observés sur la performance restent par conséquent marginaux, la valeur ne résidant pas uniquement dans la technologie mais dans la transformation organisationnelle qu'elle exige. **Gouvernance structurée, processus repensés, compétences adaptées, qualité des données, infrastructures performantes et accompagnement du changement semblent être les conditions indispensables pour sortir de cette situation**. Les expériences menées dans plusieurs administrations et entreprises démontrent que **le succès dépend généralement d'une articulation fine entre stratégie, management, innovation et pratiques de terrain.**

L'enjeu est donc d'inscrire l'adoption de l'IA dans une dynamique globale de transformation, fondée sur le triptyque organisation, processus et compétences. Ce cadre constitue la clé pour libérer le potentiel de l'IA, dépasser le paradoxe de Solow et permettre aux organisations publiques comme privées de transformer durablement leur performance, leurs métiers et leurs modes de fonctionnement.

[97] Robert M. Solow, « *We'd Better Watch Out* », New York Times Book Review, 12 juillet 1987

[98] « *You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics* ».

Annexe 5.1. **L'IA devrait théoriquement apporter des gains de productivité**

Annexe 5.1.1 **L'IA est considérée comme un moteur important de productivité, en particulier dans les économies avancées**

Depuis 2000, la productivité du travail mesurée par le PIB par heure travaillée, a progressé dans le monde mais de manière très inégale selon les régions et les structures économiques. Au niveau mondial, les économies émergentes, notamment asiatiques (Chine, Inde), ont connu des gains rapides de productivité liés à l'industrialisation et à la modernisation des infrastructures, contribuant à une croissance moyenne du PIB par tête nettement supérieure à celle des pays avancés sur la même période. Les pays avancés ont, au contraire, connu un ralentissement global en la matière. Entre 1995 et 2002, la croissance annuelle moyenne de la productivité s'établissait à environ 2,1 %, avant de diminuer à 1,4 % de 2002 à 2010 puis à seulement 0,9 % entre 2010 et 2019 (OCDE, 2025). L'affaiblissement de l'accumulation des gains de productivité multifactorielle (PMF)[99] en est la cause principale (OCDE, 2025). De plus, la productivité du travail a augmenté plus rapidement aux États-Unis qu'en Europe. Ainsi, en 2019, la productivité horaire dans la zone euro représentait 82 % de celle des États-Unis, contre 98 % en 1995.

Dans l'Union européenne, les gains de productivité sont globalement atones depuis la crise financière mondiale, avec une accumulation du capital et des gains d'efficience plus faibles qu'aux États-Unis (OCDE, 2025). L'OCDE explique la situation par la persistance d'obstacles sur les marchés internes, dont celui du travail et par le système financier dominé par les banques, qui ne parvient pas suffisamment à diriger une épargne élevée vers l'investissement dans les entreprises innovantes. Elle estime qu'à l'avenir, dans la mesure où le vieillissement démographique et la diminution de la population active rendront plus difficile le maintien d'une croissance portée par l'emploi, l'UE sera davantage tributaire de sa productivité[100]

Cependant, l'Europe est distancée par les États-Unis et la Chine en matière d'innovation et d'adoption de nouvelles technologies. Mario Draghi, dans son rapport sur la compétitivité européenne remis à la Commission européenne en septembre 2024, qualifie cette situation de « *défi existentiel* »[101]. Selon lui, la croissance de la productivité en Europe est trop faible pour financer les transitions numériques, énergétiques et sociales. Le vieux continent souffre d'un sous-investissement, tant public que privé, dans la recherche et développement et accuse un retard dans l'adoption des technologies de pointe, notamment l'IA. Ainsi, peu d'entreprises européennes figurent parmi les *leaders* mondiaux du secteur. Le rapport Draghi souligne d'ailleurs que « *si l'on excluait le secteur technologique, la croissance de la productivité de l'UE au cours des vingt dernières années serait globalement comparable à celle des États-Unis* »[102].

---

[99] Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), la productivité multifactorielle (PMF), ou productivité globale des facteurs (PGF), reflète l'efficacité globale avec laquelle les apports en travail et en capital sont combinés dans le processus de production. Les variations de la PMF traduisent les effets de facteurs tels que les pratiques de gestion, la valeur des marques, les changements organisationnels, les connaissances générales, les effets de réseau, les externalités, les coûts d'ajustement, les économies d'échelle, la concurrence imparfaite et les erreurs de mesure. La croissance de la PMF est mesurée comme un résidu, c'est-à-dire la part de la croissance du PIB qui ne s'explique pas par l'évolution des apports en travail ou en capital. Si les apports en travail et capital restent constants entre deux périodes, tout changement de production reflète une variation de la PMF. L'indicateur est présenté sous forme d'indice, aux prix courants, avec 2015 comme année de référence.

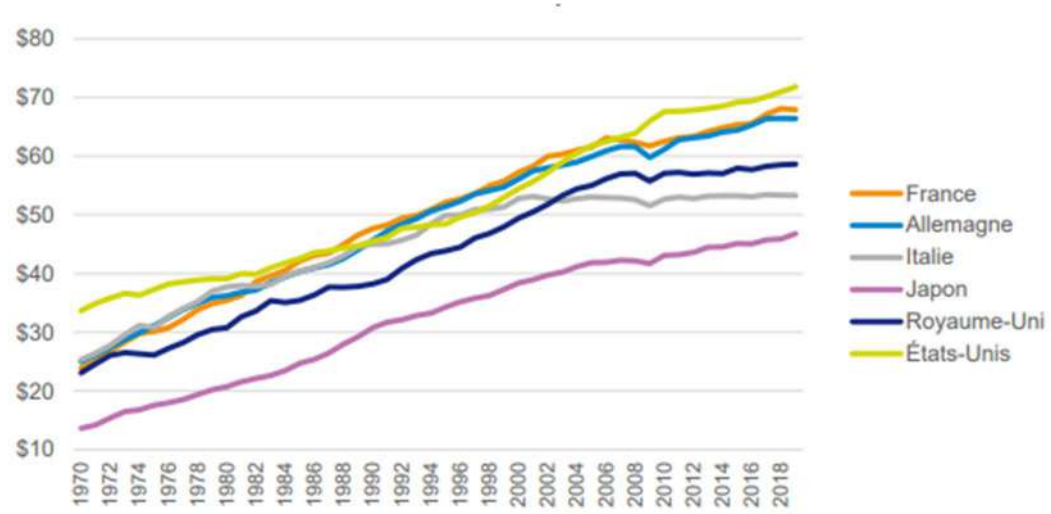
[100] Organisation de coopération et de développement économiques. *Études économiques de l'OCDE : Union européenne et zone euro 2025*. Paris: Éditions OCDE, 2025. https://doi.org/10.1787/aaeb464b-fr

[101] Mario Draghi, *L'avenir de la compétitivité européenne : rapport de compétitivité pour* l'Europe (Bruxelles : Commission européenne, 2024)

[102] Ibid, 26

La Banque de France fait la même analyse[103]. Selon elle, trois secteurs fortement technologiques expliquent plus des deux tiers de la différence de croissance de productivité entre les États-Unis et l'Europe : l'informatique, les équipements électriques et les technologies de l'information et de la communication (TIC). Le commerce de gros et de détail ainsi que le soutien administratif, plus productifs outre-Atlantique en raison d'une plus grande dépendance aux technologies de l'information, sont également à l'origine de cet écart.

Figure 6 évolution du PIB horaire entre 1970 et 2018



Source : France Stratégie, à partir des données OCDE

La situation de la France permet d'illustrer ce ralentissement européen. La croissance de sa productivité a été vigoureuse au début des années 2000 grâce à la démocratisation d'internet et l'essor des technologies de l'information et de la communication (TIC). Les gains ont nettement ralenti ensuite. Dans les années 2000, la croissance de la productivité en France est restée souvent en dessous de 1,5 % par an, bien loin des 3 à 4 % observés dans les années 1970, notamment en raison d'un sous-investissement dans les TIC et le numérique par rapport à certains voisins européens et aux États-Unis[104]. La pandémie de Covid-19 a accentué ces dynamiques : après une chute temporaire en 2020, la productivité par tête a rebondi aux États-Unis et dans plusieurs économies européennes, mais la France n'a pas réussi à retrouver le niveau de productivité antérieur à la crise. En 2023 elle restait environ 3,5 % en dessous de 2019[105].

La comparaison transatlantique met en évidence un écart structurel : le niveau de PIB par heure travaillée de l'Union européenne est resté inférieur à celui des États-Unis depuis 2000 et l'écart a légèrement augmenté jusqu'en 2023, notamment en France. Cette différence repose notamment sur l'innovation, l'investissement et l'adoption plus rapide des technologies de rupture aux États-Unis[106].

Plusieurs leviers peuvent donc être actionnés pour améliorer la productivité en Europe, parmi lesquels figurent **l'accroissement des investissements en infrastructures numériques, dans l'IA**

[103]Simon Bunel, Alex Clymo, Olivier Garnier et Riccardo Zago, « Réexamen de l'écart de performance de l'Europe vis-à-vis des États-Unis », Notes d'études Banque de France, no 391, février 2025, 12-15, https://www.banque-france.fr/system/files/2025-02/391_Reexamen_de_lecart_de_performance_de_lEurope_vis-a-vis_des_etats-unis.pdf

[104] France Stratégie, « Comprendre le ralentissement de la productivité en France », Note d'analyse, n° 38, janvier 2016, https://www.strategie-plan.gouv.fr/files/files/Publications/2016/NA%2038/note_danalyse_ndeg38_web.pdf

[105] Conseil national de la productivité, *Un monde en mutation – Productivité, compétitivité et transition numérique*, 5e rapport annuel, France Stratégie, 14 avril 2025

[106] Bunel et al., « Réexamen de l'écart », figure 3

et l'amélioration du capital humain, afin d'adapter les compétences des travailleurs aux technologies avancées.

Annexe 5.1.2 **Gains de productivité IA « analytiques »**

Nous qualifierons ci-après d'IA « analytiques » l'ensemble des systèmes d'IA conçus pour extraire des informations pertinentes, identifier des régularités et prendre des décisions à partir de données existantes. Cela regroupe les techniques d'apprentissage automatique, supervisé ou non supervisé, qui classifient, prédisent des valeurs numériques, regroupent des informations similaires ou détectent des anomalies dans de grands volumes de données. Contrairement à l'IA générative (ou « IAg ») qui crée du nouveau contenu, **l'IA analytique sert avant tout à optimiser des processus et à améliorer la prise de décision en transformant des données brutes en recommandations exploitables.** Par exemple, les systèmes de détection de fraude bancaire, les algorithmes de maintenance prédictive industrielle ou les moteurs de recommandation de plateformes de contenus utilisent des systèmes d'IA analytique.

Les organisations privées comme publiques ont massivement développé et déployé des IA analytiques à partir de 2010 grâce à la disponibilité d'un nombre croissant de données (*big data*) et à l'apprentissage profond (*deep learning*). Ces systèmes ont notamment été déployés dans les secteurs de la finance (détection de fraude, évaluation du risque de crédit), de la santé (aide au diagnostic médical, prédiction de pathologies), de l'industrie (maintenance prédictive, optimisation de la production), du commerce en ligne (systèmes de recommandation, prévision de la demande), de la logistique, du e-commerce et des télécommunications (détection d'anomalies réseau, prédiction de l'attrition client). S'ils sont généralement considérés comme des vecteurs d'augmentation de la productivité, les projections de leur impact réel sur cet indicateur **varient néanmoins considérablement selon les hypothèses retenues.**

Dans son article *The Simple Macroeconomics of AI*, Daron Acemoglu[107] propose une évaluation prudente des effets macroéconomiques des technologies d'IA (IA analytiques comme IAg**).** Mobilisant un cadre d'analyse fondé sur les tâches, il montre que l'impact agrégé de l'IA dépend principalement de deux facteurs : (1) la fraction des tâches réellement affectées et (2) l'ampleur des gains de productivité au niveau des tâches. Ce résultat découle directement d'une application de la version standard du théorème de Hulten[108] dans un contexte compétitif.

Selon Acemoglu (2024), sur la base des données d'Eloundou et al. (2023), 19,9 %[109] des tâches américaines sont exposées à l'IA. Toutefois, toutes ne sont pas automatisables : l'auteur cite Svanberg et al. (2024), pour qui **seulement 23 % de ces tâches exposées pourraient être automatisées de manière rentable au cours des dix prochaines années[110].** Autrement dit, **environ 4,6 % des tâches totales seraient effectivement concernées d'ici la prochaine décennie[111]**. Pour quantifier les gains de productivité propres aux tâches automatisables, Acemoglu utilise les résultats expérimentaux de Noy et Zhang (2023), de Brynjolfsson, Li et Raymond (2023) et, par extension, de Peng, Kalliamvakou, Cihon et Demirer (2023). Les deux premières études suggèrent des économies de coûts du travail d'environ 27 %[112], que l'auteur convertit en économies totales

[107] Daron Acemoglu, "The Simple Macroeconomics of AI," Economic Policy 40, no. 121. 2024 : 1-46, https://doi.org/10.1093/epolic/eiae042

[108] Selon ce théorème, dans une économie compétitive, la variation de la productivité totale provient essentiellement de la moyenne pondérée des gains de productivité réalisés au niveau des tâches ou des secteurs, chaque poids correspondant à leur part dans le PIB.

[109] Acemoglu, The Simple Macroeconomics of AI, 4

[110] Ibid.

[111] Ibid, 25

[112] Ibid, 4

de coûts (15,4%[113]) en tenant compte de la part du travail dans les dépenses des industries concernées. À partir de ces valeurs, le calcul selon Hulten indique **une hausse maximale de la productivité globale des facteurs (PGF) de seulement 0,71 % sur dix ans[114]**.

L'auteur souligne cependant que cette estimation constitue probablement une borne supérieure car elle suppose que les expérimentations actuelles, centrées sur des tâches « faciles à apprendre » pour l'IA, sont généralisables à l'ensemble des tâches exposées. Or, ces tâches représentent environ 74 % des tâches exposées[115] et sont caractérisées par un lien simple action–résultat et par une métrique de performance claire. Les 26 % restants relèvent de « tâches difficiles à apprendre », c'est-à-dire des situations fortement contextuelles, dépourvues de critères de réussite bien définis. Pour ces dernières, Acemoglu estime que les gains de productivité seront environ quatre fois plus faibles que ceux observés pour les tâches faciles. En ajustant les calculs selon cette distinction, **l'augmentation maximale de la PGF serait alors d'environ 0,55 % sur dix ans et celle du PIB de 0,9 % sur la même période**[116].

L'auteur insiste sur le fait que ces dynamiques s'inscrivent dans le cadre classique de la destruction créatrice. L'IA génère des gains de productivité, mais ceux-ci demeurent progressifs, **sauf si l'économie parvient à créer de nouvelles tâches productives grâce à une complémentarité renforcée entre travailleurs et systèmes d'IA**. Or, souligne-t-il, les orientations actuelles de la recherche et de l'industrie tendent davantage vers l'automatisation que vers la création de nouvelles tâches ou l'augmentation des capacités humaines, limitant les bénéfices potentiels à long terme.

Acemoglu estime enfin que les obstacles organisationnels, les coûts d'adoption, les limites de la technologie et la faible diffusion de l'IA dans les petites entreprises rendent ces estimations probablement optimistes. Il rappelle aussi que **les gains de PIB peuvent être légèrement supérieurs aux gains de productivité (jusqu'à 1,1 % sur dix ans), mais qu'ils ne reflètent pas nécessairement un gain de bien-être.** L'auteur met en garde contre les « mauvaises nouvelles tâches » créées par l'IA, comme la désinformation ou les contenus manipulatoires, qui augmentent le PIB mais réduisent la valeur sociale nette.

En synthèse, Acemoglu conclut que l'IA, telle qu'utilisée aujourd'hui principalement pour l'automatisation, ne produira pas de révolution productive dans la prochaine décennie. Il estime que des **gains substantiels ne sauraient être possibles que si l'IA était réorientée vers la création de nouvelles tâches à forte complémentarité humaine**, plutôt que vers la substitution du travail. Ainsi, selon Acemoglu, la trajectoire actuelle de l'IA conduit à des effets macroéconomiques non négligeables mais modestes, très éloignés des prédictions de croissance exponentielle avancées par certains commentateurs.

Les analyses récentes du fonds monétaire international (FMI) sont plus optimistes. Environ 40 % des emplois dans le monde seraient exposés à l'IA[117], avec un taux nettement plus élevé dans les économies avancées, où la technologie pourrait dans de nombreux cas agir en complément des travailleurs plutôt qu'en substitution. Sur la base de simulations macroéconomiques, Cerutti et al. (2025) envisagent deux trajectoires possibles à l'horizon 2035[118]. Dans un scénario d'adoption rapide, **les auteurs estiment que la productivité globale des facteurs pourrait augmenter**

[113] Ibid, 4

[114] Ibid, 1

[115] Ibid, 5

[116] Ibid.

[117] Mauro Cazzaniga, Florence Jaumotte, Longji Li, Giovanni Melina, Augustus J. Panton, Carlo Pizzinelli, Emma J. Rockall, et Marina Mendes Tavares, *Gen-AI: Artificial Intelligence and the Future of Work*, IMF Staff Discussion Notes 2024/001. Washington, DC: International Monetary Fund, 14 janvier 2024. https://doi.org/10.5089/9798400262548.006

[118] Eugenio M. Cerutti, Antonio I. Garcia Pascual, Yosuke Kido, Longji Li, Giovanni Melina, Marina Mendes Tavares et Philippe Wingender, *The Global Impact of AI: Mind the Gap*, IMF Working Paper 25/076. Washington, DC: International Monetary Fund, 11 avril 2025. https://doi.org/10.5089/9798229008570.001

d'environ 2,4 %, ce qui se traduirait par un PIB mondial supérieur de près de 4 % par rapport à une trajectoire sans diffusion de l'IA. Dans un scénario d'adoption plus lente, les gains seraient plus modestes, avec une progression de la PGF proche de 1 % et un PIB supérieur d'environ 1,3 %. Les deux études soulignent toutefois que l'ampleur des gains dépendra fortement de facteurs structurels : disponibilité d'un capital humain suffisamment qualifié, qualité des institutions et du cadre réglementaire, ainsi que du niveau d'infrastructures numériques. Les effets potentiels sont également hétérogènes selon les pays et les secteurs, **l'IA étant susceptible de générer un choc de productivité particulièrement marqué dans les activités intensives en données et en tâches cognitives**.

Les IA analytiques excellent dans l'optimisation de processus existants en automatisant des tâches répétitives et structurées. Leur influence est importante principalement dans des secteurs standardisés et riches en données, tels que la logistique, la finance ou la santé. Elles permettent de réduire les coûts opérationnels en minimisant les erreurs humaines et en améliorant les prises de décision, à l'instar de ce qui est mis en œuvre dans l'industrie manufacturière (maintenance prédictive), dans la logistique (plateforme d'IA prédictive et d'optimisation des transports) ou dans la finance (détection de fraude, cotation de crédit, automatisation des tâches des activités d'appui à la production). Elles transforment les métiers en automatisant des processus bien définis : dans la logistique, des algorithmes prédisent les ruptures de stock et optimisent les routes de livraison, dans la finance, les systèmes de détection de fraude analysent des millions de transactions en temps réel avec une précision supérieure aux humains. Les gains de productivité sont ciblés par les entreprises sur des tâches spécifiques, permettant aux employés de se concentrer sur des décisions stratégiques plutôt que sur le traitement de données.

Les IA analytiques ont généré des impacts forts dans certains secteurs d'activité. Ainsi, dans le domaine de la publicité ciblée (Amazon, Google, Netflix), elles ont apporté des avantages compétitifs massifs aux entreprises concernées. Néanmoins, à l'échelle globale, **les gains de productivité sont restés incrémentaux car l'IA a avant tout optimisé l'existant, sans modifier fondamentalement l'organisation du travail et les modèles économiques**. Elle a automatisé des tâches mais a rarement supprimé des métiers entiers, redistribuant ainsi le temps de travail dans l'organisation. L'adoption a été graduelle, secteur par secteur, cas d'usage par cas d'usage. En 2023, l'OCDE a dévoilé les conclusions d'une enquête transnationale menée auprès d'acteurs de la finances et d'industries manufacturières de sept pays, dans l'objectif de dresser un panorama de l'impact de l'IA sur le marché du travail[119]. Les principaux enseignements de déploiement des IA dans les entreprises sondées sont les suivants :

- les effets négatifs sur l'emploi sont rares ;
- l'automatisation concerne surtout les tâches répétitives et dangereuses ;
- les cadences augmentent engendrant une intensification du travail ;
- les compétences requises évoluent profondément, poussant les employeurs à requalifier leurs salariés, à les faire progresser en interne ou à sous-traiter certains services ;
- un dialogue social de qualité à propos des nouvelles technologies semble faciliter la réussite de leur adoption, le sujet le plus abordé étant celui des compétences et de la formation ;
- une majorité d'employés a confiance dans son employeur quant aux décisions prises par l'IA et environ 80% indique que l'IA a amélioré la performance au travail ;
- le coût et le manque de compétences sont aujourd'hui les principales barrières à l'adoption de l'IA, plutôt que les réglementions mises en place par les gouvernements.

[119] OCDE. *Perspectives de l'emploi de l'OCDE 2023 : Intelligence artificielle et marché du travail*. Paris : OCDE Publishing, 2023

Figure 7 mesures prises par les employeurs face à l'évolution des besoins induite par l'IA



Source : OCDE

L'organisation internationale met cependant en garde ses États membres sur les bouleversements à venir du fait des **IA génératives, prophétisant une « *révolution de l'IA* », aux conséquences importantes sur les emplois**. Cette disruption appelle, selon l'OCDE, une « *action urgente des pouvoirs publics* » afin de tirer le meilleur profit de l'IA tout en se prémunissant des risques qui lui sont associés.

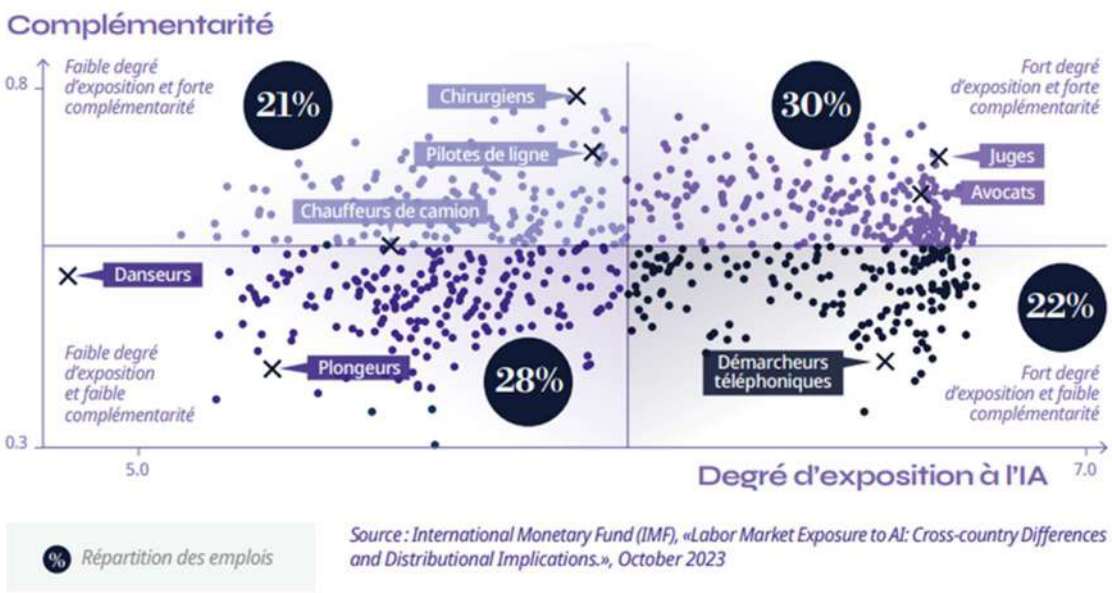
Annexe 5.1.3 **Les promesses de l'IA générative**

Contrairement à l'IA dite « analytique », l'IAg crée du contenu original : textes, images, graphiques, code, designs etc. Les modèles génératifs présentent aussi l'intérêt de démocratiser la création : un chef de produit sans formation graphique peut maintenant prototyper ses idées. En service client, les robots conversationnels (*Chatbots)* génératifs comprennent le contexte et personnalisent chaque réponse, contrairement aux arbres de décision rigides des systèmes analytiques. Cette différence est cruciale : alors que l'IA analytique automatise certaines tâches, l'IAg augmente les capacités humaines en fournissant une assistance à l'utilisateur. **Par conséquent, le champ de déploiement de l'IA s'étend désormais à des métiers qui reposent sur des activités cognitives complexes : rédaction, synthèse, analyse, création de contenus, programmation et interaction avec le client**. Dans une étude parue en 2024, McKinsey a réalisé pour l'institut de l'entreprise une matrice « degré d'exposition à l'IA vs complémentarité » pour faire ressortir l'impact des IA sur les différents métiers (*Cf.* figure 8) [120].

Au-delà de ces usages actuels, l'IA se distingue par son caractère profondément évolutif. Les modèles s'améliorent au fil des itérations, grâce à l'enrichissement des corpus de données, aux retours des utilisateurs et aux avancées en recherche. De nouvelles versions offrent régulièrement de meilleures performances, une compréhension plus fine du contexte et des capacités élargies. Les cas d'usage se transforment donc rapidement, obligeant les organisations à adapter en continu leurs pratiques et leurs compétences.

[120] Institut de l'Entreprise et McKinsey & Company, *L'IA et l'évolution des compétences en France* (Paris : Institut de l'Entreprise et McKinsey & Company, 2024), 17

Figure 8 : exposition et complémentarités des emplois aux différents types d'IA



Source : McKinsey, 2024

En 2023, McKinsey a analysé 63 cas d'usage et estimé que l'IAg pourrait créer une valeur annuelle comprise entre 2 600 et 4 400Md$ pour l'économie mondiale[121]. Selon le rythme d'adoption de ces technologies par les organisations, elle pourrait contribuer à la croissance de la productivité mondiale à hauteur de 0,1 à 0,6 point de pourcentage par an jusqu'en 2040[122]. En incluant l'IA analytique, l'impact économique total de l'IA pourrait atteindre entre 6 100 et 7 900Md$ par an[123].

Les gains attendus varient fortement selon les fonctions selon McKinsey : 30 à 45 % pour les services clients grâce aux agents conversationnels augmentés par l'IAg[124], 5 à 15 % dans le marketing et les ventes avec la génération automatisée de contenus[125], la personnalisation et l'analyse des données clients, 20 à 45 % dans l'ingénierie logicielle avec les assistants de programmation[126]. Le cabinet de conseil souligne néanmoins que **les gains ne sont pas immédiats car ils dépendent fortement de la réorganisation des processus, de la formation des employés et de l'intégration de l'IA dans les flux de travail existants**. Ainsi, les gains de productivité liés à l'IAg paraissent plus diffus, mais potentiellement plus transformateurs : dans son étude « L'IA et l'évolution des compétences en France », McKinsey estime que près de 27 % des tâches réalisées par les salariés français pourraient être confiées à l'IA d'ici 2030[127]. Aux Etats-Unis, ce chiffre s'élève à

[121] McKinsey Global Institute, "The Economic Potential of Generative AI: The Next Productivity Frontier," juin 2023, 10

[122] Ibid, 3

[123] Ibid, 10

[124] Ibid, 15

[125] Ibid, 18

[126] Ibid, 21

[127] Institut de l'Entreprise et McKinsey & Company, *L'IA et l'évolution des compétences en France*, 16

30 %[128]. Surtout, l'IAg concerne des domaines et des métiers jusqu'ici considérés comme exclusivement du ressort de l'intelligence humaine, tels que le *design* et la création, l'analyse de documents volumineux, la rédaction et la synthèse ou la stratégie. Le défi n'est plus seulement d'optimiser l'existant, mais de redéfinir entièrement les méthodes de travail, en particulier dans certaines professions hautement qualifiées, considérées jusqu'à présent comme à l'abri de l'automatisation.

La *Wharton School* de l'Université de Pennsylvanie estime quant à elle que l'IAg devrait apporter +1.5% de PIB et de productivité à l'économie mondiale d'ici 2035, +3% d'ici 2050 et +3.7% d'ici 2075[129]. Les secteurs les plus concernés sont ceux de la banque et de l'assurance, le commerce de détail, l'industrie pharmaceutique et de santé ainsi que les secteurs à forte intensité de savoir - média, marketing, juridique, conseil. Contrairement à l'IA analytique, l'IAg crée de la valeur *ex nihilo*. Cette promesse s'accompagne toutefois de défis majeurs : les modèles génératifs souffrent d'hallucinations, posent des questions éthiques sur la propriété intellectuelle et consomment beaucoup d'énergie.

L'IAg peut être considérée de ce point de vue comme une révolution incarnée par des modèles comme les « *transformers* » (GPT, Llama), qui comprennent et génèrent des données séquentielles (texte, code) et les réseaux antagonistes génératifs (GANs), qui créent des données multimédias (images, voix) en imitant des distributions, mais sans structure sémantique explicite. Son potentiel disruptif réside dans sa capacité à démocratiser l'expertise, notamment technique, scientifique, juridique, administrative etc. Sa capacité à transformer les organisations, les processus de travail et les métiers explique pourquoi elle est considérée comme un des principaux facteurs de productivité dans le monde : l'IAg n'est pas seulement un outil d'automatisation mais aussi un catalyseur d'innovation, d'allègement des tâches répétitives et de création de valeur.

Sur le plan social, si l'IA « analytique » tend le plus souvent à supprimer des emplois peu qualifiés et répétitifs (saisie de données, assemblage en usine), **l'IAg agit en général comme un accélérateur de compétences, permettant à des professionnels de réaliser des tâches autrefois réservées à des experts** (rédaction juridique, conception graphique) tout en augmentant la productivité des experts. Elle introduit par conséquent un changement de paradigme, qui pose, pour les organisations, le défi d'anticiper, de planifier et accompagner les changements. Cette situation explique pourquoi les promesses de gains de productivité importants grâce à l'IAg peinent pour le moment à se concrétiser. Le paradoxe de Solow[130] semble perdurer.

[128] Mc Kinsey a calculé le potentiel d'automatisation en se basant sur le stock actuel des tâches réalisées par les salariés dans l'économie, sans présager de l'apparition de nouvelles tâches voire de nouveaux métiers ou emplois. Par ailleurs, les hypothèses sur le rythme de diffusion des technologies d'IA s'appuient sur le potentiel théorique d'activités automatisables, compte tenu des capacités techniques actuelles. Le rythme d'adoption réel est généralement inférieur au rythme théorique, car il dépend de facteurs propres à chaque économie, à savoir la vitesse d'intégration des technologies dans les entreprises, leur acceptabilité sociale, le cadre réglementaire ou la disponibilité des compétences nécessaires à leur déploiement.

[129] Alex Arnon et Kent Smetters, « The Projected Impact of Generative AI on Future Productivity Growth », Penn Wharton Budget Model, 8 septembre 2025, https://budgetmodel.wharton.upenn.edu/issues/2025/9/8/projected-impact-of-generative-ai-on-future-productivity-growth

[130] En 1987, l'économiste américain et prix Nobel Robert Solow s'étonnait que, malgré la diffusion rapide des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans les années 1970 et 1980, la productivité mondiale de l'économie stagne. Ce paradoxe traduisait une réalité : la croissance économique ne dépend pas seulement de la disponibilité de la technologie disponible, elle repose aussi et peut-être surtout sur la façon avec laquelle elle est déployée au sein du système productif.

Annexe 5.1.4 **Malgré les promesses de l'IA, les gains liés à son adoption dans les organisations sont pour le moment décevants**

Le débat introduit à la fin des années 1980 par l'économiste Robert Solow semble toujours d'actualité à l'ère de l'IA : on la voit partout, mais son impact sur la productivité reste pour le moment limité[131].

Ce phénomène est mesuré par McKinsey dans l'état de l'IA publié fin 2025[132]. Ses conclusions sont beaucoup plus nuancées que les projections que le cabinet avait pu établir deux ans plus tôt. Si 88 % des organisations déclarent utiliser l'IA dans au moins une fonction métier (contre 78% en 2024)[133], seulement un tiers a commencé à la déployer à l'échelle[134], les autres étant bloquées dans les phases d'expérimentation ou de pilotage. De plus, seuls 39 % des répondants rapportent un impact mesurable sur l'EBIT[135] de leur entreprise et la plupart de ces impacts restent inférieurs à 5 %[136]. A date, le paradoxe de Solow se manifeste dans un contexte de diffusion de l'IAg.

Les raisons de ce décalage sont multiples et structurelles. Le rapport de 2023 identifiait déjà les délais nécessaires entre la disponibilité technique d'une capacité et son adoption généralisée, estimés historiquement entre 8 et 27 ans pour atteindre un plateau. La faisabilité économique progressive joue également un rôle crucial : une solution n'est adoptée que lorsque son coût devient inférieur au coût du travail humain équivalent.

Le rapport sur l'état de de l'IA en 2025 de McKinsey révèle en outre que les organisations les plus performantes (environ 6% des répondants, qui attribuent plus de 5 % de leur EBIT à l'IA) se distinguent nettement du reste du marché. Leur spécificité ne tient pas à la technologie utilisée, mais à l'ambition stratégique qu'elles y associent. **Ces entreprises poursuivent en effet une transformation profonde plutôt qu'une simple optimisation incrémentielle**[137]. Elles repensent leurs processus de manière fondamentale pour tirer pleinement parti des capacités de l'IA, et investissent massivement dans ces technologies : plus d'un tiers d'entre elles consacrent plus de 20 % de leur budget numérique à l'IA[138]. Ces organisations sont également trois fois plus susceptibles que les autres d'anticiper un changement transformationnel de leur modèle d'affaires dans les trois prochaines années. McKinsey souligne ainsi que **ce n'est pas l'outil en lui-même qui crée la valeur, mais son intégration dans des processus repensés pour exploiter ses capacités spécifiques**. L'automatisation des tâches existantes permet des gains limités, tandis que la reconstruction des processus métiers autour de l'IA ouvre la voie à des améliorations bien plus substantielles en matière de performance, d'innovation et de création de valeur.

Le paradoxe de Solow persiste également au niveau de l'emploi. D'après ce même rapport, les attentes divergent fortement : 32 % des répondants prévoient une réduction des effectifs de 3 % ou plus en 2026, 43 % anticipent peu ou pas de changement et 13% prévoient une augmentation[139]. Dans le même temps, la majorité des organisations recrute activement des profils liés à l'IA : *data scientists*, ingénieurs en apprentissage automatique, architectes de données. Ainsi, la transformation des emplois semble plus qualitative que quantitative, avec un remplacement progressif de certains emplois traditionnels par des emplois « augmentés » par l'IA.

---

[131] https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/opinion-lia-face-au-paradoxe-de-solow-2108109

[132] Alex Singla et al., "The State of AI in 2025: Agents, Innovation, and Transformation," McKinsey & Company, November 2025

[133] Ibid, 4

[134] Ibid, 10

[135] *Earnings Before Interest and Taxes*, ou résultat d'exploitation dans la comptabilité française

[136] Ibid, 11

[137] Ibid, 14-16

[138] Ibid, 21

[139] Ibid, 24

L'émergence des agents IA, ces systèmes autonomes capables de planifier et d'exécuter des processus, est également confronté au paradoxe de Solow : 62% des organisations les expérimentent mais seulement 23 % sont en train de passer à l'échelle[140], de surcroît dans une ou deux fonctions seulement. L'examen granulaire de l'intégration des agents fonction par fonction n'est pas plus enthousiaste. En effet, même dans les domaines métiers les plus avancés tels que les systèmes d'information ou la gestion documentaire, moins de 10 % des organisations ont réussi à déployer les agents IA à grande échelle[141].

Par conséquent, dans le domaine de l'IA, une approche uniquement centrée sur la technologie se révèle décevante car son déploiement doit s'accompagner d'un engagement fort de la direction. L'investissement massif et soutenu est également crucial, tout comme la mise en place de mécanismes de contrôle qualité robustes, notamment le concept de "humain dans la boucle" pour valider les éléments de sortie critiques de l'IA.

Annexe 5.2. **Déployer l'IA, une approche qui ne doit pas être technocentrée, mais reposer sur le triptyque « organisation, processus, compétences »**

L'IAg est passée du stade de curiosité technologique à celui d'outil de plus en plus présent, mais la majorité des organisations se situent actuellement dans la « vallée de la mort" » entre expérimentation et déploiement à l'échelle. Le paradoxe de Solow appliqué à l'IA ne réside pas tant dans l'absence de la technologie que dans l'écart persistant entre sa disponibilité et sa capacité à transformer effectivement les organisations. Les gains de productivité promis reposent en effet sur la capacité des acteurs économiques à orchestrer une transformation systémique plutôt qu'une simple adoption technologique. Il s'agit de maîtriser l'art difficile de la transformation organisationnelle profonde, combinant excellence technique, redéfinition des processus, développement des compétences et gestion du changement humain. La gestion du changement organisationnel, la transformation des compétences et l'adaptation des processus internes et modèles opérationnels prennent du temps, bien plus que le développement technologique lui-même.

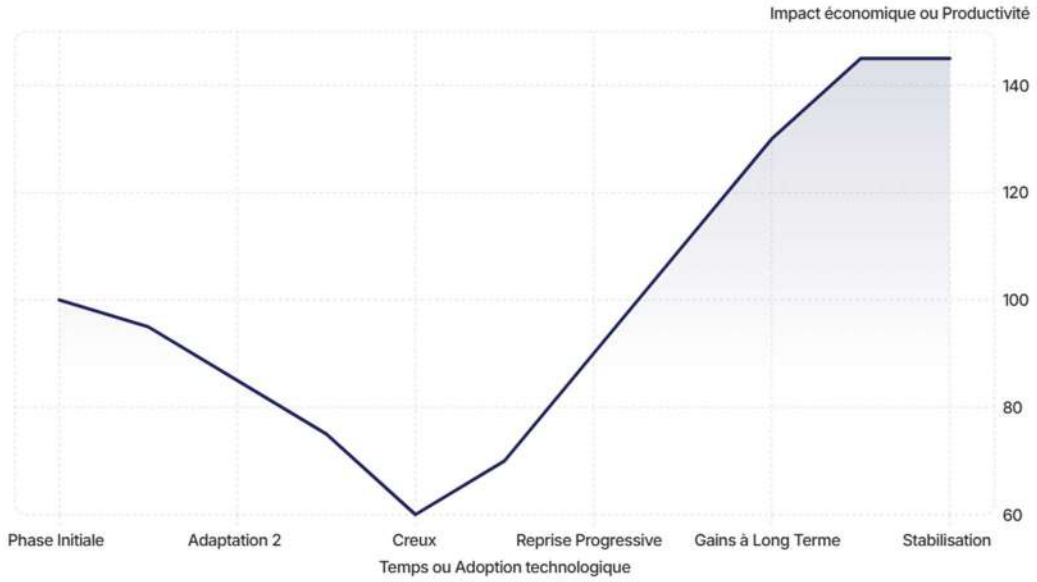
En effet, la « courbe en J »[142] théorisée par Brynjolfsson et al. en 2018 suggère que **les technologies à usage général telles que les IAg nécessitent des investissements complémentaires massifs et des délais d'adoption avant de produire des gains de productivité mesurables**. Dans un premier temps, la productivité baisse temporairement car les organisations investissent massivement (infrastructure, formation) tout en perturbant leurs processus existants et sans encore maîtriser les nouveaux outils. Suit une longue période de stagnation où les gains compensent à peine les investissements, car les organisations automatisent l'existant sans repenser fondamentalement leurs processus internes. Ce n'est qu'après avoir accumulé suffisamment de « capital organisationnel » (montée en compétences des équipes, processus redéfinis, culture adaptée) que la productivité décolle exponentiellement, généralement 7 à 15 ans après l'introduction de la technologie. **La très grande majorité des acteurs économiques se situe actuellement dans cette phase de creux, qui se matérialise par un taux d'adoption massif mais un impact encore limité sur la performance**. Le paradoxe de Solow s'agissant de l'IA pourrait donc être temporaire. Par analogie historique, l'électrification a mis plusieurs décennies avant de transformer la productivité industrielle. L'IA, en tant que technologie à usage général, pourrait suivre une trajectoire similaire, à condition que l'organisation qui souhaite la déployer se dote des leviers de réussite indispensables.

[140] Ibid, 5

[141] Ibid.

[142] Erik Brynjolfsson, Daniel Rock, and Chad Syverson, "The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies," *NBER Working Paper* No. 25148 (Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2018)

Figure 9 : la courbe en J de Brynjolfsson



Source : mission

Annexe 5.2.1 **La gouvernance, facteur déterminant pour réussir à déployer l'IA**

Il ressort de la littérature que l'organisation souhaitant passer à l'échelle avec l'IA se dote généralement d'une **gouvernance claire et robuste, ancrée à plusieurs niveaux pour être efficace**. Elle est positionnée au plus haut niveau dans l'organigramme, associant un **comité stratégique**, composé de la direction générale ou du secrétariat général, des directions métiers et de la direction chargée du numérique et des systèmes d'information, à un **comité de pilotage** plus opérationnel. Les organisations se dotent ainsi d'une vision stratégique de l'IA sur laquelle repose leur organisation, et d'instances qui permettent d'arbitrer les priorités d'investissement et d'assurer l'alignement des projets avec les objectifs de l'entité. Au niveau opérationnel, la gouvernance permet d'établir des processus clairs de validation des cas d'usage, d'évaluation des risques et de suivi des performances.

La gouvernance de l'IA est de plus en plus incarnée. Ainsi, selon une étude conjointe de l'IBM *Institute for Business Value* et de la *Dubai Future Foundation* datant de juillet 2025, 23% des entreprises françaises ont créé une fonction de *Chief AI Officer* directement reliée à la direction générale ou au comité exécutif, responsable de la stratégie, de la gouvernance, de l'éthique et du risque liés à l'IA et 70 % prévoient de le faire d'ici deux ans[143].

En outre, une étude de l'OCDE parue en 2021[144] souligne **l'importance d'établir des comités composés d'experts pluridisciplinaires capables d'examiner les projets sous l'angle juridique, éthique et technique**. France Travail a, par exemple, mis en place un comité d'éthique, qui examine systématiquement tout algorithme susceptible d'impacter les droits des usagers, en

[143] https://fr.newsroom.ibm.com/En-France,-70-des-organisations-auront-un-*Chief-AI-Officer*-dici-deux-ans

[144] Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), *State of Implementation of the OECD AI Principles: Insights from National AI Policies*, OECD Digital Economy Papers no 311 (Paris: OCDE, 2021), https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/06/state-of-implementation-of-the-oecd-ai-principles_38a4a286/1cd40c44-en.pdf

évaluant notamment les risques de biais discriminatoires dans les recommandations d'offres d'emploi. La gouvernance doit également **définir les rôles et responsabilités de chacun dans l'écosystème IA de l'organisation**. Le modèle de gouvernance recommandé par l'OCDE distingue clairement les responsables de métiers, qui définissent les besoins métiers, des responsables techniques, qui produisent une réponse technique aux besoins identifiés. L'alignement stratégique du projet avec les objectifs métiers de l'organisation apparaît indispensable.

Un **projet d'IA ne doit pas être initié pour des raisons technologiques ou par effet de mode, mais pour répondre à des besoins opérationnels clairement identifiés**. Toujours à France Travail, le système de recommandation d'offres d'emploi repose sur des algorithmes d'apprentissage automatique qui analysent les profils des demandeurs d'emploi et les caractéristiques des postes disponibles pour proposer des correspondances pertinentes. Ce projet répond à un besoin opérationnel : améliorer l'efficacité de la mise en correspondance des offres et avec les candidats, dans un contexte où les conseillers doivent gérer des volumes croissants de demandeurs. Les **responsables de la conformité doivent également être étroitement associés aux projets** de façon à vérifier le respect du cadre réglementaire par ces derniers. À la RATP, cette clarification des rôles a permis d'accélérer significativement le déploiement de projets en évitant les zones grises où personne ne se sent responsable. L'INA a quant à elle instauré des revues trimestrielles de ses algorithmes d'indexation, permettant de vérifier que les performances restent conformes aux attentes et d'identifier les dérives éventuelles. Enfin, la gouvernance doit prévoir des mécanismes de contrôle et d'audit réguliers des systèmes d'IA déployés.

A cet égard, le rapport Aghion-Bouverot intitulé *IA : notre ambition pour la France*[145], remis au Président de la République en 2024 recommande, pour déployer l'IA au sein des administrations de l'État, la création d'une **fonction de gouvernance de l'IA transverse, chargée de coordonner l'action publique en matière d'IA et dotée de moyens d'action significatifs**. Cette recommandation s'inspire des modèles de gouvernance observés ailleurs, par exemple au Royaume-Uni avec l'*Office for Artificial Intelligence* créé en 2018.

Annexe 5.2.2 **Une donnée bien administrée et de qualité, carburant indispensable de l'IA**

Un autre aspect fondamental de la gouvernance concerne la gestion des données quelles qu'elles soient, car elles servent de carburant à l'IA donc constituent un actif stratégique pour l'organisation. Une gouvernance de la donnée est absolument nécessaire. Elle précise les règles d'accès, de partage et d'utilisation des données, tout en garantissant la protection de la vie privée et la sécurité.

La gouvernance des données est tout aussi importante que la qualité des données dont dispose l'organisation, comme le soulignent plusieurs rapports de l'OCDE, par exemple à propos de la Norvège[146] ou de la Roumanie[147]. La mise en place d'infrastructures de données interopérables permettant aux différentes agences publiques de partager des informations tout en respectant les règles de protection de la vie privée est soulignée. Cette approche facilite le développement de services publics numériques intégrés qui utilisent l'IA pour personnaliser l'expérience citoyenne, une pratique également observée en Estonie ou en Finlande[148]. Les Pays-Bas se sont également

[145] Philippe Aghion et Anne Bouveret, présidents, IA : *notre ambition pour la France*, rapport de la Commission de l'intelligence artificielle remis au Premier ministre (Paris, mars 2024), https://www.info.gouv.fr/upload/media/content/0001/09/4d3cc456dd2f5b9d79ee75feea63b47f10d75158.pdf

[146] OECD, *The Digital Transformation of Norway's Public Sector* (Paris: OECD Publishing, 2024), https://doi.org/10.1787/1620e542-en

[147] OECD, *Digital Government Review of Romania: Towards a Digitally Mature Government* (Paris: OECD Publishing, 2023), https://doi.org/10.1787/68361e0d-en

[148] OECD, OECD *Public Governance Reviews: Estonia and Finland: Fostering Strategic Capacity across Governments and Digital Services across Borders,* OECD Public Governance Reviews (Paris: OECD Publishing, 2015), [numéro de page], http://dx.doi.org/10.1787/9789264229334-enhttp://dx.doi.org/10.1787/9789264229334-en

dotés d'une stratégie nationale ambitieuse, la *Government Data Agenda*, qui vise à exploiter les données pour répondre aux enjeux publics tout en protégeant les droits fondamentaux[149]. Le pays se distingue, selon l'OCDE, par son système *Standard Business Reporting*, qui harmonise les formats et réduit la charge administrative grâce à des standards communs pour le partage d'informations entre administrations et entreprises. **Les autorités néerlandaises placent l'interopérabilité, les standards ouverts et la qualité des données ouvertes au cœur de leur action. Cette démarche s'appuie sur une forte culture de collaboration entre acteurs publics et privés** pour renforcer la cohérence de l'écosystème numérique. D'après l'OCDE, les Pays-Bas jouent un rôle moteur à l'international, notamment en dirigeant le groupe thématique de l'OCDE dédié au secteur public fondé sur les données.

En France, l'INA a développé des outils d'indexation automatique de ses archives grâce à des technologies de reconnaissance vocale et d'analyse d'image. Ce projet s'appuyait sur des décennies d'archives numériques soigneusement conservées, permettant d'entraîner des modèles capables d'identifier des personnalités, de transcrire des dialogues et de catégoriser des contenus. L'INA a également investi dans la documentation et l'enrichissement de ses métadonnées de façon à créer un cercle vertueux où l'IA améliore la qualité des données qui à leur tour améliorent les performances de l'IA.

Annexe 5.2.3 **Accélérer le développement des infrastructures technologiques, en partenariat avec un écosystème d'innovation**

Les projets d'IA nécessitent des capacités de calcul suffisamment importantes et une infrastructure « *Cloud »* adaptée. L'OCDE souligne la solidité des infrastructures numériques néerlandaises pour appuyer leur stratégie de la donnée, notamment grâce au rôle central de Logius, le service numérique du ministère de l'Intérieur, qui fournit les solutions techniques du programme *Standard Business Reporting*[150]. Ce programme repose sur une architecture harmonisée de données et de standards communs permettant l'échange fiable et automatisé d'informations entre acteurs publics et privés. Les infrastructures néerlandaises favorisent également l'interopérabilité, grâce à des référentiels de données, des taxonomies normalisées et des plateformes d'échange. Le pays encourage l'usage de solutions « *Cloud* » et d'API[151] afin de faciliter la circulation des données et soutenir le principe du « *once only* » ou « dites-le-nous une fois ». Cette approche technique intégrée permet de réduire les charges administratives et de soutenir une gouvernance de la donnée cohérente à l'échelle nationale.

En France, la circulaire « *Cloud* au centre »[152] a pour objectif de faire de l'infrastructure en nuage ou « *Cloud »* la solution par défaut pour moderniser ses systèmes d'information de l'État. Elle impose que tout nouveau projet numérique soit conçu nativement pour le *Cloud*, sauf justification contraire et encourage la migration progressive des applications existantes vers ces environnements. L'écosystème repose sur trois niveaux : le « *Cloud »* interne de l'État pour les données les plus sensibles, des offres « *Cloud de confiance* » opérées par des acteurs privés et certifiées SecNumCloud[153] et, enfin, des *« Clouds »* publics commerciaux pour les usages moins critiques. La

[149] OECD, *The Path to Becoming a Data-Driven Public Sector* (Paris: OECD Publishing, 2019), https://doi.org/10.1787/059814a7-en

[150] Ibid, OECD, 36

[151] Une API (*Application Programming Interface*) est une interface qui permet à différents logiciels de communiquer entre eux en définissant les règles et les formats d'échange de données.

[152] Circulaire n°6282-SG du 5 juillet 2021 relative à la doctrine d'utilisation de l'informatique en nuage de l'État, https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/45205, actualisée le 31 mai 2023, https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf/circ?id=45446

[153] SecNumCloud est une certification de l'ANSSI qui garantit qu'un service *Cloud* respecte des exigences élevées de sécurité, de souveraineté et de protection des données. Elle assure que l'opérateur est contrôlé par une entité européenne et que les données sont protégées contre toute ingérence extérieure.

stratégie inclut également des exigences précises de cybersécurité et de conformité aux réglementations. Elle impose une gouvernance centralisée via la DINUM pour harmoniser les pratiques. Elle soutient la mutualisation des infrastructures et le recours accru aux services managés. Enfin, elle vise à accélérer la transformation numérique de l'État en garantissant performance, résilience et maîtrise des données publiques.

La circulaire « *Cloud* au centre » encourage en outre la collaboration entre secteur public et écosystème d'innovation. Les administrations n'ont en effet pas nécessairement toutes les compétences en interne et peuvent bénéficier de partenariats avec des entreprises technologiques, des laboratoires de recherche et des start-up. Ainsi, la RATP a établi des collaborations avec des écoles d'ingénieurs comme l'École Polytechnique et des centres de recherche pour développer ses algorithmes de prédiction de trafic et d'optimisation des flux de voyageurs. Ces partenariats permettent d'accéder aux dernières avancées scientifiques tout en formant les équipes internes. Le ministère des armées français a créé en 2024 une agence ministérielle pour l'IA de défense (AMIAD) qui facilite les interactions entre l'administration et l'écosystème de la Tech, permettant d'expérimenter rapidement de nouvelles solutions d'IA pour des applications militaires et de sécurité.

Le rapport Aghion-Bouveret de 2024 confirme cette approche en proposant d' « *investir massivement dans les entreprises du numérique et la transformation des entreprises pour soutenir l'écosystème français de l'IA et en faire l'un des premiers mondiaux* » [154]. Concrètement, la commission recommande la création d'un fonds « France & IA » de 10Md€ pour financer, d'une part, l'émergence de l'écosystème d'IA et, d'autre part, la transformation numérique du tissu économique français[155]. Le rapport indique que les « *investissements s'élèvent à 2,8 Md$ en France, contre 56,8 Md$ aux États-Unis. Pour avoir un investissement comparable à celui des États-Unis, il faudrait que la France investisse entre 8,4 et 10 Md$ par an, soit au moins entre 5,6 et 7,2 Md$ supplémentaires chaque année* »[156].

Enfin, la mesure de la performance et l'évaluation continue accompagnent généralement le déploiement de l'IA dans les organisations concernées. A titre d'exemple, l'INA évalue régulièrement la précision de ses outils d'indexation automatique en comparant les résultats des algorithmes avec des annotations manuelles réalisées par des documentalistes experts. Cette évaluation permet d'identifier les catégories de contenus où les performances sont insuffisantes et d'orienter les efforts d'amélioration. La Poste mesure l'impact de ses algorithmes d'optimisation logistique en termes de réduction des coûts, d'amélioration des délais de livraison et de diminution de l'empreinte carbone. Ces métriques objectives permettent de justifier les investissements et de prioriser les développements futurs.

Cette culture de la mesure et de l'amélioration continue parait indispensable pour maintenir la pertinence des systèmes d'IA dans un environnement en constante évolution. Selon le rapport Aghion-Bouveret cité plus haut, « *la croissance économique annuelle de la France pourrait doubler grâce à l'automatisation de certaines tâches. Au bout de dix ans, la hausse de PIB serait comprise entre 250 et 420 Md€, soit du même ordre de grandeur que l'activité actuelle de l'industrie dans son ensemble* »[157]. Les auteurs soulignent toutefois que cette hausse serait temporaire : « *une fois l'IA adoptée par l'ensemble du tissu économique, il n'y aurait plus de gains de productivité à attendre* ». Atteindre cet objectif suppose néanmoins de lever plusieurs contraintes majeures, notamment l'accès limité à la puissance de calcul, la fragmentation des données d'entraînement ou encore la dépendance à des modèles développés hors d'Europe. S'agissant de l'emploi, l'analyse empirique menée sur un large échantillon d'entreprises françaises par les auteurs montre que « *l'emploi total des entreprises ayant adopté l'IA augmente davantage que dans les entreprises ne l'ayant pas adoptée,*

[154] Aghion et Bouveret, *IA : notre ambition pour la France*, 91

[155] Ibid, 5

[156] Ibid, 88

[157] Ibid, 8

alors que ces deux groupes suivaient une tendance antérieure similaire »[158]. Le rapport conclut ainsi que l'IA ne se traduit pas, dans l'état actuel des usages observés, par des destructions massives d'emplois, mais plutôt par une transformation du travail et une recomposition des compétences

Annexe 5.2.4 **Investir dans les compétences humaines, déployer les IA avec les métiers et accompagner le changement**

La prise en compte des spécificités des métiers, l'évolution des compétences et l'accompagnement au changement est un facteur majeur de réussite d'un projet d'IA**.** La Poste utilise une vingtaine d'IA, dont des agents IA, pour le tri du courrier et la logistique (reconnaissance d'adresse, vérification des affranchissements, déclaration automatique des droits de douane). Elle précise que son approche adoptée n'a pas été techno-centrée mais abordée selon l'approche processus, en repensant les métiers avec les agents de terrain car ils sont considérés comme les plus aptes à intégrer les contraintes opérationnelles dans les systèmes déployés.

La formation continue des agents publics constitue également un enjeu majeur, souligné dès 2018 par le rapport Villani de 2018[159], qui recommandait la création de formations dédiées à l'IA dans les programmes de formation initiale et continue des écoles du service public. Le rapport Aghion-Bouverot insiste sur le fait que l'IAg transforme profondément l'organisation du travail, en renforçant les écarts de productivité entre secteurs et entre salariés. Il invite le gouvernement à adopter une stratégie nationale d'accompagnement des compétences afin d'éviter une polarisation accrue des emplois et met avant trois priorités : renforcer la transparence des systèmes d'IA au sein des organisations, garantir la maîtrise humaine des décisions sensibles et développer des instances de gouvernance partagée. L'accent est aussi mis sur l'expérimentation, via des accords-cadres sectoriels permettant d'ajuster les règles en fonction des usages réels.

Au travers du campus numérique créé en 2024 pour servir de vitrine à son offre de formation interministérielle, la Direction interministérielle du numérique (DINUM) propose des formations en ligne, ateliers et webinaires mensuels sur l'IA. Des modules spécifiques sont prévus pour les managers. De plus, La création d'un réseau d'ambassadeurs IA est également en cours. Il existe également un cycle supérieur sur l'IA piloté par l'institut des hautes études du ministère de l'intérieur (IHEMI), ouvert aux hauts cadres de l'administration de l'État. Sa 8e session réunit une trentaine de cadres depuis septembre 2025. Au-delà de l'offre interministérielle, un des éléments clés de la réussite du déploiement de l'IA dans une organisation réside dans sa capacité à structurer une offre adaptée à ses métiers et à encourager l'effort de formation au sein des services.

L'association des partenaires sociaux à toutes les phases d'introduction de l'IA dans l'organisation est également souvent considérée comme indispensable. Le projet Dial IA (2025)[160], fondé sur des observations de terrain et des négociations collectives récentes, montre que l'IA suscite à la fois des attentes fortes de soutien à la performance et des inquiétudes persistantes liées à la surveillance, à la charge cognitive et au risque de substitution. Elle identifie quatre leviers clés d'un dialogue social réussi : la formation anticipée des salariés, la co-construction de référentiels d'usage, la définition de garde-fous clairs en matière de données et l'évaluation régulière des impacts sur les métiers. Le projet met en évidence que les entreprises obtenant les meilleurs résultats associent en général très en amont les représentants du personnel, notamment pour définir les finalités de l'IA et les indicateurs de suivi. Elle confirme enfin que la confiance dépend de la lisibilité des algorithmes, de la capacité à contester leurs décisions et de l'existence de dispositifs de recours. La réussite de l'intégration de l'IA passe les concepteurs de Dial IA par un dialogue social structuré, continu et doté de moyens, permettant de sécuriser les salariés tout en maximisant les gains organisationnels.

[158] Ibid, 42

[159] Villani et al., Donner du sens à l'intelligence artificielle, 235

[160] https://dial-ia.fr/

La dimension éthique et la transparence algorithmique représentent le quatrième facteur de succès, particulièrement critique dans le secteur public où les décisions peuvent avoir des conséquences importantes sur les droits des citoyens. Selon l'OCDE, le Canada est reconnu comme un *Leader* mondial en matière d'IA gouvernementale responsable notamment grâce à sa directive sur la prise de décisions automatisée, première réglementation obligatoire au monde exigeant une évaluation éthique des systèmes d'IA[161]. En 2017, le gouvernement a développé un plan financé à hauteur de 154M€ sur quatre ans pour améliorer les compétences et soutenir l'apprentissage tout au long de la vie des Canadiens (programme « *Future Skills* »)[162]. Le pays a par ailleurs développé des projets concrets telle que l'académie numérique, positionnée au sein de l'école de la fonction publique[163] ou la création d'une liste de 73 fournisseurs de solutions d'IA responsables[164]. L'approche canadienne se distingue par sa transparence avec publication obligatoire des évaluations d'impact algorithmique en données ouvertes[165], son développement participatif impliquant la consultation de centaines d'experts informatiques et fonctionnaires et son influence internationale avec l'adoption de ce modèle d'évaluation par les membres du groupe *Digital Nations*[166] (Canada, Danemark, Estonie, Israël, Mexique, Nouvelle-Zélande, Portugal, Corée du Sud, Royaume-Uni, Uruguay). Cette stratégie holistique combine selon l'OCDE un cadre réglementaire rigoureux, le développement des compétences et l'expérimentation pratique, positionnant ainsi le Canada comme une référence pour l'utilisation éthique de l'IA au service des citoyens.

En conclusion, les technologies d'IA peuvent constituer un levier de productivité intéressant dans les économies avancées, mais ses promesses tardent encore à se concrétiser. Le paradoxe de Solow persiste : malgré une adoption massive, les gains mesurables restent limités, confinant la plupart des organisations dans la « vallée de la mort » entre expérimentation et déploiement à grande échelle. Cette situation s'explique moins par les limites technologiques que par les défis organisationnels, humains et stratégiques qu'impose une telle transformation. La réussite du déploiement de l'IA repose sur un triptyque indissociable : une gouvernance robuste et incarnée, une gestion rigoureuse des données et des infrastructures adaptées, ainsi qu'un investissement massif dans les compétences et l'accompagnement du changement. Les organisations performantes ne peuvent pas se contenter d'automatiser l'existant, elles sont invitées à réinventer leurs processus métiers en associant les équipes et les partenaires sociaux. La littérature souligne en outre que l'Union européenne et la France doivent engager un effort coordonné et ambitieux, combinant investissements publics et privés, développement d'un écosystème d'innovation dynamique et mise en place de cadres réglementaires favorables. Ce n'est qu'à cette condition que l'IA pourra pleinement jouer son rôle de moteur de croissance et de compétitivité dans la décennie à venir.

[161] Berryhill, J., et al. 2019. "Hello, World: Artificial Intelligence and its Use in the Public Sector." OECD, November 21, 2019, 158-162

[162] Ibid, 127

[163] Ibid, 122

[164] Ibid, 130

[165] Ibid, 159

[166] https://www.digital.govt.nz/digital-government/international-partnerships/digitalnations

Annexe 6. IA et impacts environnementaux

La vitesse d'adoption de l'IA, sans précédent significatif dans l'histoire technologique, s'accompagne d'impacts environnementaux encore largement méconnus, quoique bien réels : certaines études démontrent que la formation d'un seul grand modèle de langage peut consommer autant d'énergie que cinq voitures au cours de leur vie[167]. Le manque de transparence de la filière entraîne cependant un manque de données, qui rend difficile la production d'évaluations robustes.

La présente annexe établit une synthèse de la littérature scientifique, des méthodologies et des connaissances qui peuvent exister à propos des effets directs de l'IA sur l'environnement aux différentes étapes de son cycle de vie.

Cette approche n'est ni exhaustive, ni holistique. Comme le souligne le rapport Villani en 2018, l'IA est un levier puissant pour répondre aux défis environnementaux (gestion des risques naturels, maîtrise des énergies, décarbonation, agriculture de précision etc.) [168]. Ces externalités positives ne sont pas évoquées ci-après, de même que les éventuels gains environnementaux qui pourraient être tirés du fait de la substitution d'une partie du travail humain par celui des grands modèles de langage (LLM) après automatisation de certaines tâches.

La mission faisant le constat de la nécessité d'évaluer les impacts directs des systèmes d'IA (SIA)[169] actuellement déployés ou en cours de déploiement au sein du pôle ministériel et, plus globalement, au sein des services de l'État, cette annexe se concentre sur cette problématique. Les interactions globales entre IA et environnement méritent une mission dédiée.

Annexe 6.1. **L'analyse du cycle de vie des IA est un élément clé pour comprendre l'impact environnemental qu'elles peuvent générer**

Bien que le sujet intéresse de façon croissante la communauté scientifique et les décideurs publics comme privés, l'analyse des impacts environnementaux de l'IA reste pour le moment un défi, tant du point de vue méthodologique que du point de vue quantitatif. La meilleure approche pourrait être celle de l'analyse du cycle de vie (ACV).

Cette méthode est en effet reconnue pour quantifier les impacts environnementaux d'un système embarquant de l'IA selon la logique « *from cradle to grave* » (de l'extraction des matières premières à la fin de vie). Appliquée aux technologies d'IA, une ACV doit donc intégrer la **fabrication des composants électroniques**, l'**extraction des ressources**, l'**opération continue des serveurs**, ainsi que le **traitement en fin de vie des équipements**, en passant par les implications indirectes liées à l'infrastructure de support. Or, dans le cas de l'IA, la transparence des processus économiques et industriels — notamment dans la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs et l'exploitation des centres de données, ou *data centers* — est souvent lacunaire, rendant difficile une application systématique de l'ACV à l'ensemble des SIA déployés et, *in fine*, une analyse de leurs impacts environnementaux à l'échelle globale.

---

[167] Emma Strubell, Ananya Ganesh, et Andrew McCallum, "Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP," in *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, éd. Alexandra Birch et al. (Florence : Association for Computational Linguistics, 2019), 3645-50, https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355

[168] Villani et al., Donner du sens à l'intelligence artificielle, 235

[169] Le règlement (UE) 2024/1689 définit le « système d'IA » comme un « *système automatisé qui est conçu pour fonctionner à différents niveaux d'autonomie et peut faire preuve d'une capacité d'adaptation après son déploiement, et qui, pour des objectifs explicites ou implicites, déduit, à partir des entrées qu'il reçoit, la manière de générer des sorties telles que des prédictions, du contenu, des recommandations ou des décisions qui peuvent influencer les environnements physiques ou virtuels* ».

Aussi, amener les industriels à faire davantage la transparence sur l'empreinte environnementale de leurs modèles et disposer de données fiables sur l'ensemble de la chaîne de valeur sont les principaux défis à relever dans les prochaines années si l'on souhaite véritablement évaluer l'impact environnemental des IA et adopter une politique pour les éviter et les réduire.

Par conséquent, malgré un intérêt croissant de la communauté scientifique et des décideurs pour ce sujet, les **évaluations rigoureuses de l'ensemble du cycle de vie** des SIA restent parcellaires, incomplètes et souvent non comparables d'une étude à l'autre. Cette absence d'informations robustes et exhaustives limite la capacité à définir précisément l'empreinte environnementale réelle d'un projet embarquant de l'IA et à proposer des orientations stratégiques fondées sur des données solides. Les étapes du cycle de vie d'un SIA sont globalement les mêmes quel que soit le modèle utilisé.

Annexe 6.1.1 Fabrication et fin de vie de l'infrastructure nécessaire à l'IA : un impact environnemental globalement sous-estimé

L'empreinte environnementale liée à la fabrication des centres de données et de leurs composants (serveurs, processeurs, mémoires etc.), c'est-à-dire de l'infrastructure de calcul, est souvent négligée. Elle est pourtant significative. A titre d'exemple, l'extraction de métaux rares, tels que le cobalt, le nickel et le lithium, génère des impacts environnementaux importants, tant en termes d'énergie consommée que de dégradation des écosystèmes locaux. Leur approvisionnement soulève également des enjeux géopolitiques et d'autonomie stratégique considérables, les réserves réelles de ces ressources minières et leur production n'étant pas réparties de façon homogène à la surface du globe : en 2020, la production de 97% des terres rares était concentrée dans cinq pays. En 2023, la production mondiale de minerais de terres était assurée à 70% par la Chine, devant les États-Unis (12 %), la Birmanie (11 %) et l'Australie (5 %)[170]. L'empire du milieu est en outre le seul pays à maîtriser l'ensemble de la chaîne de valeur de la production de ces métaux, de l'extraction au raffinage des terres rares. Il produit 85 % des terres rares légères purifiées utilisées au niveau mondial et 100 % des terres rares lourdes (ADEME, 2024). L'Europe apparaît en retrait dans la compétition mondiale pour les terres et métaux précieux, mais elle a dévoilé une liste d'une cinquantaine de projets stratégiques sur le vieux continent et dans ses territoires outre-mer[171], en particulier au Groenland (pays constitutif du Royaume du Danemark), qui pourrait concentrer 12% des réserves mondiales exploitables de terres rares.

[170] https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/geopolitique/la-chine-en-situation-de-monopole-sur-les-terres-rares/#note-content-4
[171] https://www.touteleurope.eu/economie-et-social/terres-rares-et-materiaux-critiques-ou-se-situent-les-47-projets-strategiques-de-l-ue/

Figure 10 Panorama du marché des terres rares dans le monde en 2021



Source : BRGM

Si l'impact de fabrication dans le cycle de vie complet d'un SIA reste difficile à évaluer faute de données robustes, des estimations commencent à apparaître dans certaines publications. Le programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) s'intéresse de façon croissante au sujet. Il signale que l'extraction de métaux stratégiques et rares (cobalt, lithium, nickel, terres rares, gallium et germanium) est particulièrement destructrice des écosystèmes. Ces ressources proviennent principalement de régions dans lesquelles la vulnérabilité environnementale est forte et qui, de surcroît, sont souvent dépourvues de normes protectrices, ce qui entraîne pollution des sols, perturbation des nappes phréatiques et destruction d'habitats. Tout en soulignant la grande dépendance des économies avancées aux pays producteurs, l'UNEP précise que la fabrication de composants avancés (puces, CPU[172], GPU[173], TPU[174]) est particulièrement intensive en énergie, eau ultra pure et métaux critiques, la phase d'usage représentant une part bien moindre de la consommation totale de ressources à la date de rédaction du rapport[175] (UNEP, *Global Resources Outlook*, 2019).

Les infrastructures (en particulier les centres de données) alourdissent la facture environnementale de l'IA : béton, acier, climatiseurs etc. Selon l'IEA, la consommation électrique mondiale des centres de données a atteint 415 TWh en 2023 (1,5 % de l'électricité mondiale) et devrait plus que doubler pour atteindre 945 TWh en 2030. L'IA est le principal facteur de croissance : sa part passerait de 5-15 % en 2023 à 35-50 % de la consommation des centres de données sur cette période.

---

[172] *Central Processing Unit*, processeur central d'un ordinateur, chargé d'exécuter les instructions générales des programmes et de coordonner l'ensemble des opérations du système

[173] *Graphic Processing Unit*, ou unité de traitement graphique, processeur spécialisé conçu pour exécuter massivement en parallèle des calculs graphiques et numériques, principalement pour l'affichage 3D et l'accélération de tâches computationnelles

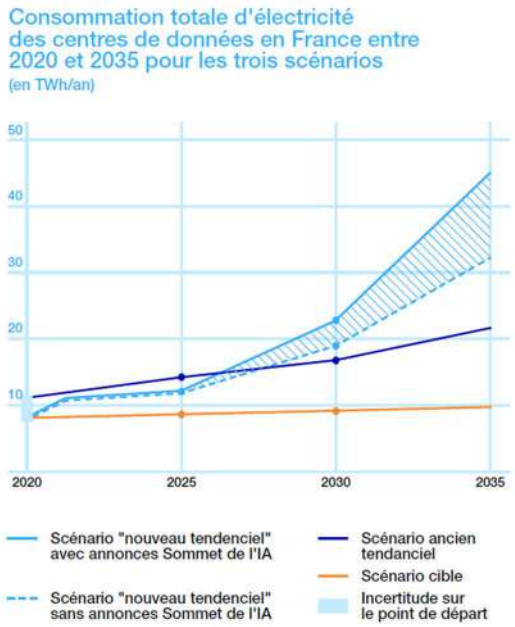
[174] *Tensor Processing Unit* est un circuit intégré spécialisé développé par Google pour accélérer les calculs de réseaux de neurones en optimisant le traitement des tenseurs

[175] International Resource Panel (IRP), *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want*, éd. B. Oberle, S. Bringezu, S. Hatfield-Dodds et al. (Nairobi : United Nations Environment Programme, 2019), https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15879/1/unep_252_global_resource_outlook_2019_web.pdf

Ces infrastructures sont par conséquent un acteur majeur de la croissance énergétique, représentant près de 50 % de l'augmentation de la demande électrique aux États-Unis d'ici 2030. Pour répondre à cette demande croissante, leur mix énergétique doit évoluer : l'IEA projette un passage de 60 % d'énergies fossiles en 2024 à 60 % d'énergies propres en 2035, bien que la production de gaz naturel doive plus que doubler, passant de 120 TWh à 293 TWh.

En France, selon le service de la statistique, des évaluations et de la prospective (SDES) du ministère de la transition écologique, les centres de données ont consommé entre 4 et 6 TWh d'électricité en 2023, soit environ 1 % à 1.5 % de la consommation nationale[176], évaluée autour de 450 à 470 TWh. La hausse de la consommation a été de près de 21% entre 2018 et 2023. RTE estime que la demande devrait tripler d'ici 2035 pour atteindre 23 à 28 TWh, soit 4% de la consommation électrique française, l'IA étant, là encore, le principal facteur de croissance. L'Île-de-France concentre à elle seule 64% de cette consommation nationale [177].

Figure 8 Estimation de la consommation totale des centres de données en France entre 2020 et 2025 (source : The Shift Project, 2025)



Source : The Shift Project[178]

Au niveau d'un centre de données type, 75 à 80 % de l'empreinte carbone de fabrication provient des équipements en technologies de l'information (IT) (serveurs, processeurs, puces électroniques), contre 20–25 % pour le bâtiment et les infrastructures de support selon The Shift Project, qui cite une étude de Schneider Electric en 2023[179]. Pour les seuls processeurs, l'IEA estime que 20 % de l'énergie totale est consacrée à sa fabrication contre 80 % à son utilisation L'impact de la

[176] https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/la-consommation-delectricite-des-centres-de-donnees-entre-2018-et-2023

[177] Source : RTE (Bilans électriques, Futurs Énergétiques 2050)

[178] The Shift Project, *Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné?*, rapport final, Paris : The Shift Project, 1er octobre 2025, https://theshiftproject.org/app/uploads/2025/09/Synthese-RF-PIA-1.pdf

[179] Ibid, 28

fabrication de l'infrastructure numérique (centres de données, serveurs, GPU/TPU, composants électroniques) représente une part importante de l'empreinte carbone globale de l'IA : 35 % de leur empreinte totale (usage + fabrication). Il est à noter que ce ratio est amené à augmenter fortement à mesure de la décarbonation de l'électricité.

S'agissant des serveurs, l'association française Boavizta a publié en novembre 2021 une étude[180] sur l'évaluation de l'empreinte carbone (GWP[181]) de leur fabrication, avec un focus particulier sur les semi-conducteurs[182]. Boavizta s'appuie sur les travaux de l'agence fédérale allemande pour l'environnement intitulée "*Green Cloud Computing*". Elle démontre que ces composants électroniques à forte densité représentent la majeure partie des émissions de gaz à effet de serre associées à la fabrication des serveurs. L'étude s'appuie sur l'analyse de l'impact environnemental d'un serveur Dell R740 doté de deux CPU de 24 cœurs et de 12 barrettes de 32 Go de RAM[183]. La mémoire vive génère 533 kgCO_2eq, soit plus de la moitié de l'impact carbone total de fabrication du serveur évalué à 970 kgCO_2eq. En comparaison, les processeurs CPU ne pèsent que 4,5% (43 kgCO_2eq) et les disques SSD[184] 2,4% (24 kgCO_2eq) du bilan. Le poids important de la mémoire vive s'explique par la surface des *die*[185] des composants semi-conducteurs : 85% de l'impact carbone provient de la fabrication de ces puces, notamment 52% pour la mémoire RAM et 30% pour le stockage SSD. Selon les calculs de Boavizta fabriquer un centimètre carré de puce CPU produit 1,97 kg de CO2, contre 2,20 kg pour la RAM et les SSD.

En outre, la **réduction de la taille des nœuds technologiques entraîne une hausse des émissions de gaz à effet de serre, de consommation d'énergie primaire et d'eau par cm²** (The Shift Project, 2025). Dans le même temps, la demande croissante en *wafers*[186] accélère l'empreinte totale[187]. Les matériaux critiques (le germanium, l'étain, le tungstène, le nickel, le zinc, le cuivre et l'argent selon l'Ademe) et les procédés de très haute pureté renforcent encore l'impact, ce qui conduit le Shift Project à conclure que l'empreinte de fabrication pourrait devenir croitre sensiblement dans les années qui viennent, **faisant de la fabrication un point critique pour toute politique de réduction des impacts de l'IA**.

Selon le Shift Project, dans le cycle de vie global d'un système IA, la plus grande partie des émissions provient aujourd'hui de l'électricité consommée en phase d'usage (environ 75% au niveau mondial). Cependant, dans l'empreinte carbone de fabrication, la part IT (serveurs et composants électroniques) représente 75 de l'empreinte embarquée d'un centre de données[188]. Au niveau des serveurs eux-mêmes, les composants à forte densité de puces électroniques (RAM, CPU, SSD et

[180] Boavizta. « Numérique et environnement : Comment évaluer l'empreinte de la fabrication d'un serveur, au-delà des émissions de gaz à effet de serre ? ». Blog Boavizta, 2023. https://boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur

[181] Indicateur utilisé pour comparer la capacité d'un gaz à effet de serre à réchauffer l'atmosphère par rapport au CO_2

[182] Un semi-conducteur est un matériau dont la conductivité électrique est contrôlable et sert à fabriquer des composants électroniques, mais dont la production consomme beaucoup d'énergie et de ressources, ce qui soulève des enjeux environnementaux.

[183] La RAM est une mémoire rapide et temporaire qui stocke les données dont l'ordinateur a besoin immédiatement pour fonctionner.

[184] Un SSD est un stockage rapide qui utilise de la mémoire flash pour conserver les données sans pièces mécaniques.

[185] Petite puce de silicium où sont gravés les circuits qui exécutent les calculs d'un processeur ou d'une puce d'IA.

[186] Un *wafer* est une fine plaque circulaire de silicium sur laquelle sont gravés les circuits électroniques avant d'être découpés en puces individuelles (dies).

[187] https://www.semi.org/en/news-media-press-releases/semi-press-releases/global-silicon-wafer-shipments-projected-to-set-new-record-in-2022-semi-reports

[188] The Shift Project, *Intelligence artificielle, données, calculs,* 28

GPU) constituent entre 70 % et 95 % de l'empreinte de fabrication du serveur, selon la configuration[189].

Enfin, les centres de données sont également des producteurs importants de déchets électroniques, a fortiori dans un contexte d'accélération du renouvellement des équipements du fait de l'IA (environ 3 ans dans certains environnements *hyperscale*[190], contre 4 à 6 ans pour les serveurs traditionnels). L'arrivée de nouvelles générations de GPU et d'accélérateurs IA (par exemple, les GPU NVIDIA H100 → H200 → B100, etc.) oblige les grands acteurs du *Cloud* et de l'IA à raccourcir fortement les cycles de remplacement pour rester compétitifs[191].

Aussi, il convient de ne pas négliger l'impact environnemental lié à la fin de vie du matériel utilisé par l'IA, qui est bien documenté. Selon l'étude *Global E-waste Monitor*[192] publiée en 2024 par l'UIT[193] et l'UNITAR[194], le monde a généré 62 millions de tonnes de déchets électroniques en 2022, et ce flux pourrait croître de 32% d'ici 2030. Or seuls 22 % de ces déchets sont recyclés dans des filières formelles. Cette faible capacité de traitement pose des problèmes critiques pour les serveurs, GPU, TPU et autres composants utilisés dans les centres de données reposant sur des architectures IA, ces équipements comportant des dizaines de métaux critiques particulièrement difficiles à recycler, en raison des alliages complexes et de la miniaturisation extrême des composants. En effet, la fabrication d'un centre de données repose sur plus de 50 métaux différents et les GPU/TPU représentent la part la plus difficile à valoriser en fin de vie.

C'est la raison pour laquelle, tout en regrettant le manque de données et de méthode standardisée pour évaluer l'empreinte environnementale des SIA, l'UNEP invite les acteurs économiques et les pouvoirs publics à intégrer la sobriété dans les démarches d'entreprises et les politiques publiques mais aussi à investir dans des technologies plus sobres.

Annexe 6.1.2 Le traitement des informations présente un impact qui varie selon les cas d'usage et le volume de données à traiter

L'étape de collecte, de préparation, de mise en qualité et de stockage des données, qui précède l'entraînement, présente un impact environnemental qui varie considérablement selon les cas d'usage et le volume de données. Certains cas d'usage sont néanmoins plus critiques que d'autres : le robot d'indexation (*crawling web)* pour constituer de vastes corpus textuels, la captation de flux vidéo pour la vision par ordinateur ou l'acquisition de données sensorielles pour les applications industrielles nécessitent des transferts réseau très importants et du stockage à grande échelle. Le nettoyage et l'annotation des données, qu'ils soient réalisés par des processus automatiques ou par intervention humaine, consomment également des ressources computationnelles importantes.

Si cet impact reste souvent modeste comparé aux phases suivantes, il peut devenir significatif pour les projets mobilisant des ensembles de données de plusieurs pétaoctets. En effet, **plus les volumes de données augmentent, plus l'apprentissage des modèles est complexe, plus l'em-**

[189] Ibid, 30

[190] Infrastructure informatique distribuée qui s'adapte rapidement à des demandes massives de ressources grâce à des milliers de serveurs interconnecté.

[191] The Shift Project, *Intelligence artificielle, données, calculs*, 36

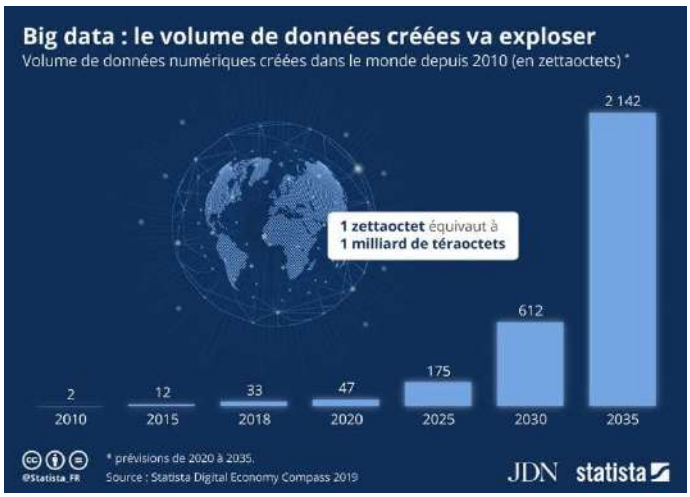
[192] Cornelis P. Baldé et al., *Global E-waste Monitor 2024* (Geneva/Bonn: ITU and UNITAR, 2024), https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf

[193] Union internationale des télécommunications

[194] Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche

preinte environnementale du SIA augmente. Or, en 2010, le monde ne créait que deux zettaoctets[195] de données numériques. En 2015, ce chiffre avait été multiplié par six. En 2025, le volume de données créés dans le monde était 90 fois supérieur à celui de 2010 (175 zettaoctets). Selon Statista, il sera multiplié par 3,5 tous les cinq ans jusqu'en 2035, pour atteindre plus de 2 000 zettaoctets. Les perspectives de ce marché sont florissantes : les solutions de stockage de données massives, la puissance des serveurs et la bande passante sont appelées à progresser à une vitesse sans précédent pour absorber les flux croissants de données. Cette dynamique génère toutefois des impacts environnementaux exponentiels, ce qui est problématique.

Figure 11 évolution du volume de données dans le monde et prévisions à horizon 2035 (source : Statista)



L'entrée dans l'ère de la donnée massive ne s'est pas accompagnée de pratiques vertueuses, bien au contraire. L'étape de collecte, de duplication, d'agrégation et de préparation des données mobilise en effet de façon permanente les serveurs, les disques, les mémoires et les réseaux. Cette phase préalable à l'entraînement constitue une part importante de la consommation électrique, contribuant directement à la trajectoire ascendante observée depuis 2015 dans les besoins en énergie des centres de données[196]. En amont de l'apprentissage, la gestion des données alimente également la croissance du parc de serveurs et leur densification, notamment du fait du versionnage, des redondances géographiques et de la nécessité de conserver en parallèle des jeux de données bruts, nettoyés et annotés.

Ces pratiques, structurellement liées à l'ingénierie des données, renforcent l'usage du matériel. De même, la mise à niveau constante des capacités de stockage et des réseaux, rendue nécessaire par l'augmentation des volumes de données, constitue un moteur majeur d'augmentation de la puissance électrique installée et de la consommation globale des centres, confirmant que la phase de collecte et de traitement des données est un contributeur déterminant aux impacts environnementaux de l'IA, bien avant l'entraînement proprement dit.

Pour y remédier, des solutions existent. A titre d'exemple, le cycle de vie de la donnée constitue une approche vertueuse pour réduire l'impact environnemental de l'administration des données en favorisant une gestion raisonnée tout au long de son existence. En adoptant des pratiques de collecte sélective dès l'origine, en limitant la durée de conservation aux besoins réels et en supprimant régulièrement les données obsolètes, les organisations peuvent considérablement réduire

[195] Unité de mesure du volume de données qui représente 10^{21} octets

[196] The Shift Project, *Intelligence artificielle, données, calculs*, 36

les besoins en stockage et en capacité de calcul associés. Cette démarche permet de diminuer directement la consommation électrique des centres de données et l'empreinte carbone liée à la fabrication d'infrastructures matérielles supplémentaires (serveurs, disques SSD, mémoire RAM). De plus, en optimisant les formats de stockage, en privilégiant la compression et en évitant la duplication inutile des données, le cycle de vie maîtrisé contribue à maximiser l'utilisation des ressources existantes. Ainsi, penser la donnée dans une logique circulaire – de sa création à sa suppression – permet de concilier performance opérationnelle et sobriété numérique.

Figure 12 Cycle de vie de la donnée



Source : mission

Malheureusement, ces pratiques restent volontaires et peu réglementées à l'échelle mondiale. Bien que l'Union européenne et la France développent des initiatives pour limiter l'impact environnemental du numérique, dans la pratique, beaucoup d'organisations conservent des données bien au-delà du nécessaire, l'automatisation de la suppression demeurant peu répandue. Les normes environnementales contraignantes spécifiques à la sobriété numérique et au stockage de données

font encore défaut au niveau international. Ainsi, si le cadre juridique protège les données personnelles, il n'impose pas encore de véritables limites sur le volume de stockage ou la consommation énergétique associée pour des raisons écologiques.

Annexe 6.1.3 L'entraînement complet du modèle, incluant la phase de recherche et de développement, présente un coût environnemental particulièrement élevé

La phase d'entraînement des modèles d'IA est à date l'impact environnemental le plus étudié dans la littérature scientifique. En 2019, dans son une étude pionnière, Strubell et al. ont quantifié de façon détaillée les émissions de gaz à effet de serre associées à l'entraînement des modèles de traitement automatique du langage. L'impact environnemental varie fortement selon l'architecture. Par exemple, le modèle *« transformer »*[197] large, entraîné pendant 84 heures, produit environ 87 kg CO_2eq tandis que BERT base, modèle plus sophistiqué pré-entraîné pendant 96 heures sur de plus vastes corpus, produit 652 kg CO_2eq[198].

Au-delà de l'entraînement isolé d'un modèle, Strubell et al. démontrent que le processus complet de développement, incluant l'exploration d'hyperparamètres[199], est nettement plus impactant. Leurs propres travaux ont nécessité près de 4 800 entraînements sur six mois, représentant près de 10 000 jours cumulés de calcul GPU (27 années). La consommation électrique de l'ensemble du processus a atteint près de 4900 kWh pour un coût financier compris entre 103 000 et 350 000$[200].

Enfin, l'étude met en exergue des approches particulièrement énergivores : les émissions liées à l'architecture NAS (*Neural Architecture Search*)[201], qui automatise la recherche de la meilleure configuration possible, atteignent 284 tonnes de CO_2eq[202], soit l'équivalent de 140 vols transatlantiques aller-retour pour un passager.

Ainsi, **le coût environnemental ne provient pas seulement de l'entraînement final d'un modèle**, mais surtout de la phase de recherche et développement (multiples essais, réglages d'hyperparamètres, recherches d'architecture), qui multiplient la consommation énergétique par des facteurs très élevés, pouvant représenter des décennies cumulées de calcul GPU pour un seul projet de recherche. L'impact est renforcé par la **dépendance aux centres de données**, dont l'empreinte carbone varie toutefois fortement selon le mix énergétique des pays et des fournisseurs *Cloud* (voir ci-après).

De même, **la maintenance des modèles d'IA – incluant leur réentraînement partiel, la mise à jour des paramètres, l'ajout de données récentes ou l'adaptation à de nouveaux usages –**

---

[197] Un *« transformer »* est une architecture d'apprentissage profond conçue pour traiter et comprendre des séquences (comme des phrases ou des séries de données) en analysant les relations entre leurs éléments, peu importe leur position dans la séquence. Contrairement aux modèles précédents, il utilise un mécanisme appelé "attention" pour se concentrer sur les mots ou données les plus pertinents à chaque étape, ce qui le rend particulièrement efficace pour des tâches comme la traduction, la génération de texte ou l'analyse de données complexes. Il permet ainsi de traiter des informations en parallèle, ce qui accélère l'apprentissage et améliore la précision.

[198] Strubell, Ganesh, et McCallum, « Energy and Policy Considerations », 1

[199] Un hyperparamètre en IA est une valeur définie avant l'entraînement d'un modèle pour réguler le processus d'apprentissage automatique. Il peut s'agir par exemple du taux d'apprentissage, de la profondeur d'un arbre de décision ou du nombre de couches dans un réseau neuronal. Contrairement aux paramètres du modèle (comme les poids des connexions neuronales), qui sont automatiquement ajustés pendant l'entraînement à partir des données, les hyperparamètres sont choisis par le praticien ou optimisés via des techniques de recherche automatisée.

[200] Strubell, Ganesh, et McCallum, « Energy and Policy Considerations », 4

[201] La *Neural Architecture Search* (NAS) est une technique qui permet à une IA de concevoir automatiquement la meilleure architecture de réseau neuronal pour une tâche donnée. En d'autres termes, c'est une IA qui optimise la structure d'une autre IA.

[202] Strubell, Ganesh, et McCallum, « Energy and Policy Considerations », 1

constitue aussi un poste d'impact environnemental non négligeable mais sous-estimé, chaque cycle pouvant consommer l'équivalent de plusieurs centaines de kWh, en particulier pour les modèles les plus sophistiqués. En outre, les opérations de *fine-tuning* et de réactualisation constituent une charge énergétique cumulative substantielle dès lors que les cycles sont fréquents, pouvant mobiliser plusieurs centaines de GPU-heures par modèle mis à jour. Ces opérations s'ajoutent bien évidement à la croissance structurelle des besoins en calcul dans les centres de données, contribuant à la demande électrique croissante du fait de la forte adoption de l'IA. La maintenance algorithmique et les *pipelines* continus de données alimentent aussi la pression sur les infrastructures, renforçant l'empreinte carbone embarquée liée au renouvellement accéléré du matériel.

C'est la raison pour laquelle une partie de la communauté scientifique insiste désormais sur l'importance d'engager **un changement de paradigme dans la recherche en IA**. Selon les auteurs de l'article « *Green AI* »[203] paru en 2019, l'évaluation des modèles ne devrait pas se limiter à des métriques traditionnelles de performance, telles que la précision ou la justesse, mais intégrer également des indicateurs relatifs au coût computationnel, énergétique ou environnemental. Ils introduisent à cet effet la notion de « *Green AI* », qui repose sur des méthodes plus efficientes et frugales, visant à produire des avancées scientifiques tout en maîtrisant l'empreinte computationnelle. La notion de « *Red AI* » est au contraire focalisée sur les seuls gains de performance.

En outre, selon Patterson et al.[204], l'application de bonnes pratiques dans l'entraînement des modèles peut diminuer l'énergie consommée jusqu'à 100 fois et les émissions de CO_2 jusqu'à 1000 fois, avec un exemple concret où ces émissions ont été réduites 747 fois en quatre ans. L'étude démontre que grâce à ces optimisations, la part liée à l'entraînement d'un modèle d'apprentissage automatique restée sous les 15 % de la consommation énergétique totale de Google durant trois années consécutives. Elle met également en évidence que les estimations antérieures surestimaient l'empreinte carbone de 100 à 100 000 fois, d'où la nécessité de publier des mesures exactes.

Plusieurs pistes sont avancées par les scientifiques et experts pour mesurer et réduire l'impact environnemental de ces SIA :

- rendre systématiquement transparent le coût computationnel[205] des modèles, en publiant le temps d'entraînement, la sensibilité aux hyperparamètres et les ressources matérielles utilisées. Cela permettrait de comparer les modèles non seulement sur leur précision, mais aussi sur leur efficacité énergétique ;

- concevoir des modèles plus sobres, privilégiant l'efficacité algorithmique plutôt que l'augmentation brute de la taille des réseaux. Les gains en performance devraient être systématiquement évalués au regard de leur coût environnemental ;

- adopter des méthodes de réglage plus efficaces, comme la recherche aléatoire ou bayésienne, afin de réduire le nombre d'entraînements inutiles par rapport aux grilles exhaustives classiques ;

- fournir un accès équitable aux ressources de calcul et promouvoir la mutualisation des infrastructures académiques, de façon à limiter la duplication énergivore des expériences tout en réduisant la dépendance aux services « *Cloud* » commerciaux.

[203] Roy Schwartz, Jesse Dodge, Noah A. Smith, et Oren Etzioni, "Green AI" (arXiv preprint arXiv:1907.10597, 2019), https://arxiv.org/abs/1907.10597

[204] David Patterson et al., *Carbon Emissions and Large Neural Network Training*, arXiv:2104.10350, 2021, https://arxiv.org/abs/2104.10350

[205] Ce coût englobe l'ensemble des dépenses liées à la puissance de calcul nécessaire pour entraîner et exécuter les modèles d'IA, principalement les coûts matériels (GPU, TPU), énergétiques et d'infrastructure *cloud*.

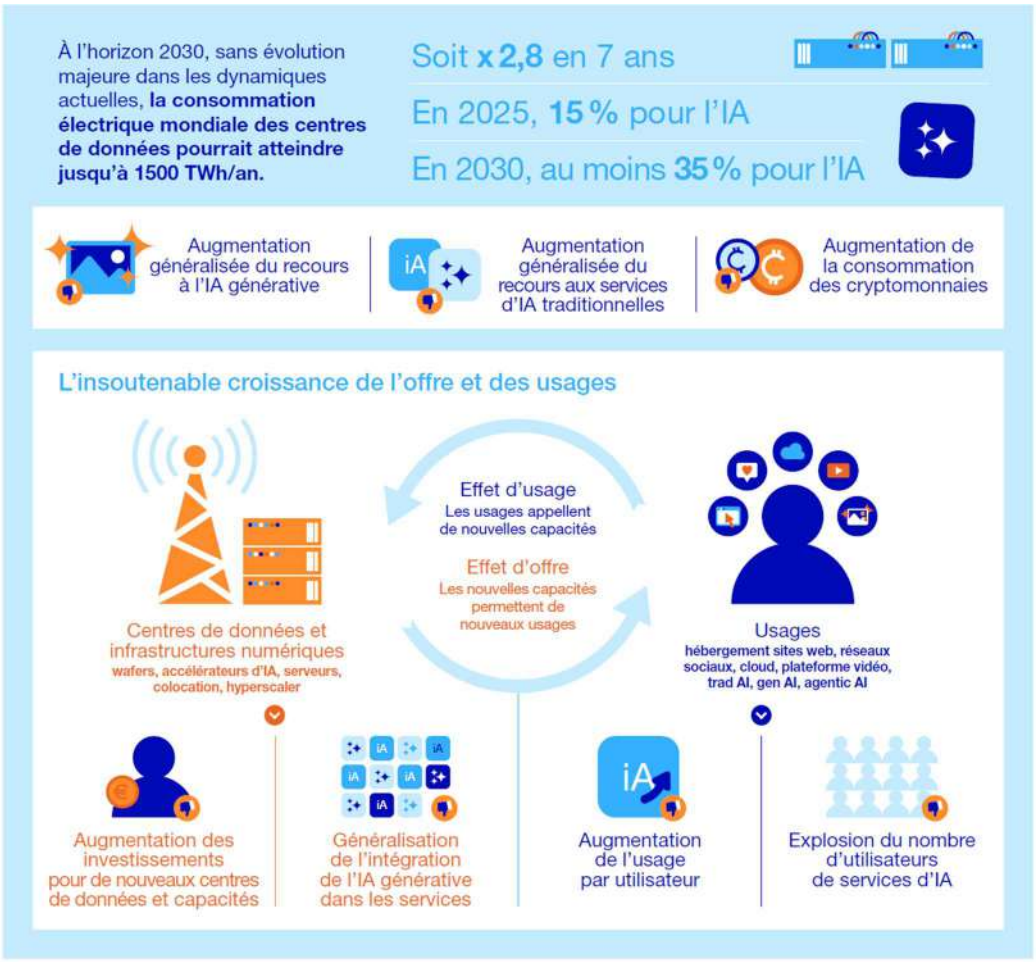
Ces propositions sont toutefois peu mises en œuvre du fait de la compétition mondiale pour le développement des IA, en particulier les grands modèles de langage, actuellement focalisée sur l'augmentation massive de la puissance de calcul. Elle est portée par des modèles toujours plus coûteux à entraîner. La course à la performance et à l'échelle fait rage, au détriment des critères d'efficience énergétique ou de sobriété computationnelle.

Annexe 6.1.4 L'impact environnemental de l'inférence présente désormais un impact environnemental supérieur à celui de l'entraînement en raison de la multiplication des usages

L'inférence, c'est-à-dire l'exécution des modèles d'IA à chaque requête d'un utilisateur, présente une empreinte carbone en très forte croissance du fait de la vitesse de diffusion et d'adoption des IAg. En effet, si l'impact unitaire d'une inférence peut paraître gérable, la multiplication des usages à grande échelle, *a fortiori* lorsqu'ils ne sont pas indispensables, en fait un enjeu environnemental critique. En 2018, le rapport Villani[206] identifiait déjà le risque d'une telle dynamique d'amplification des usages, que l'on nomme également **paradoxe de Jevons** : lorsqu'une technologie devient plus performante, plus accessible et plus automatisée, elle suscite l'apparition d'une multitude de nouveaux usages, pas toujours motivés par des nécessités fonctionnelles.

[206] Villani et al., Donner du sens à l'intelligence artificielle, 124

Figure 13 relation entre l'offre et usage de l'IA générative et ses conséquences énergétiques



Source : The Shift Project, 2025

Dans le cas de l'IA générative, la simplicité d'accès (interfaces conversationnelles, API intégrées) ainsi que le faible coût marginal pour l'utilisateur entraînent une multiplication rapide des requêtes : augmentation des recherches enrichies, génération de contenus, assistants intégrés, automatisation massive des tâches. Cet « effet rebond » est une question problématique pourtant peu abordée, que ce soit pour les usages professionnels comme personnels : même si l'empreinte carbone par requête s'améliore (modèles optimisés, GPU plus efficaces, etc.), l'augmentation exponentielle du volume d'inférences pourrait annuler ces gains. C'est la raison pour laquelle les projections énergétiques de l'IEA et du Shift Project convergent vers une croissance structurelle et non maîtrisée de l'impact environnemental de l'inférence, avec des conséquences inévitables sur la non-maîtrise de la trajectoire carbone des pays les plus concernés.

Pour les modèles de grande taille, l'inférence représente aujourd'hui la phase du cycle de vie d'une IA potentiellement la plus impactante, car elle repose sur des serveurs mobilisés en continu pour répondre à des millions de requêtes. Les modèles les plus utilisés peuvent générer plusieurs GWh par jour de consommation électrique lorsqu'ils servent des centaines de millions d'utilisateurs via des interfaces interactives. Selon l'IEA (2025), la consommation électrique mondiale des centres de données en phase d'usage a poursuivi sa croissance au cours de la dernière

décennie, passant d'environ 165 TWh en 2014 à 420 TWh en 2024. Le Shift Project (2025) confirme cette dynamique et souligne que, pour l'Europe, la consommation des centres de données pourrait doubler d'ici 2030 et être multipliée par quatre d'ici 2035, par rapport à 2023. L'essor de l'IA contribue à la hausse des besoins en puissance de calcul, même s'il n'est pas possible à date d'attribuer une part chiffrée de la consommation à l'IA. Le Shift Project précise néanmoins que, dans des déploiements massifs, la phase d'inférence peut devenir prépondérante en quelques semaines, tandis que l'impact de la phase d'entraînement a augmenté de manière exponentielle ces dix dernières années.

Annexe 6.1.5 Le mix et l'efficacité énergétique des infrastructures et des systèmes, facteurs importants pour évaluer l'impact environnemental des IA

L'intensité carbone du mix énergétique est également un facteur important : des systèmes d'IA identiques, consommant la même quantité d'électricité mais localisés dans des régions différentes, présentent des empreintes carbone pouvant varier sensiblement. En France, où le mix électrique repose majoritairement sur le nucléaire et les énergies renouvelables, l'intensité carbone moyenne s'établit autour de 50 grammes Co_2e kWh (The Shift Project, 2025). Ce chiffre contraste avec l'Allemagne (environ 400 grammes, du fait d'une part substantielle de charbon dans le mix), la Pologne (supérieur à 700 grammes, dominée par le charbon), ou la moyenne américaine (400 à 450g selon les États). En d'autres termes, un modèle d'IA entraîné en France génère quinze fois moins d'émissions que le même modèle entraîné en Pologne, à consommation énergétique égale. Le choix de la localisation des infrastructures apparait donc comme un levier important de maîtrise des impacts carbone.

L'efficacité énergétique des infrastructures est également un paramètre important à prendre en compte. Elle est mesurée par le PUE (*Power Usage Effectiveness*) répondant à la norme ISO/IEC 30134-2:2016, devenu l'indicateur de référence pour mesurer l'efficacité énergétique des centres de données hébergeant les infrastructures d'IA. Ce ratio, qui divise l'énergie totale consommée par un centre de données par l'énergie utilisée exclusivement par les équipements informatiques, permet d'évaluer les pertes liées au refroidissement, à la distribution électrique et aux autres systèmes auxiliaires. A titre d'exemple, un PUE de 1,0 illustre une efficacité énergétique parfaite. Depuis le début des années 2000, le PUE des centres de données s'est globalement amélioré. Alors qu'il dépassait 2,0, il s'est progressivement amélioré pour atteindre environ 1,55 en 2024 (The Shift project 2025). Toutefois, cette amélioration montre des signes de ralentissement depuis 2020, oscillant entre 1,55 et 1,59, suggérant que les optimisations les plus accessibles ont déjà été exploitées. Les disparités régionales demeurent importantes et reflètent les contraintes climatiques locales. En Europe, les métropoles de Francfort, Londres, Amsterdam, Paris et Dublin concentrent l'essentiel des capacités de centres de données. Elles bénéficient d'un climat tempéré, favorable au refroidissement naturel. À l'inverse, les régions tropicales et à forte humidité, confrontées à des contraintes hydriques et climatiques plus sévères, peinent à optimiser leur efficacité énergétique.

L'architecture matérielle influe directement sur l'efficacité computationnelle des charges d'apprentissage profond. Les processeurs centraux (CPU) généralistes, bien qu'omniprésents, sont peu adaptés aux opérations de calcul matriciel massivement parallèle caractéristiques du *deep learning*. Les processeurs graphiques (GPU), initialement conçus pour le rendu 3D, offrent généralement une efficacité énergétique nettement supérieure à celle des CPU pour ces tâches. Des accélérateurs spécialisés pour les réseaux neuronaux (*Tensor Processing Units* – TPU), conçus autour d'opérations tensorielles et de précisions numériques réduites, peuvent atteindre des gains supplémentaires d'efficacité énergétique par rapport aux GPU dans certains scénarios. Les circuits intégrés spécifiques (*Application-Specific Integrated Circuits* - ASICs), optimisés pour des charges de travail ciblées, atteignent des niveaux d'efficacité encore plus élevés, au prix d'une

flexibilité limitée. Le choix de l'architecture matérielle et logicielle peut ainsi conduire à des réductions substantielles de la consommation énergétique pour une même tâche.

Sur ce point, Patterson et al. (2021) apportent une contribution importante à la quantification de la consommation énergétique des grands modèles[207]. En effet, selon les auteurs, l'architecture du modèle, le type de matériel utilisé (CPU, GPU, TPU), l'efficacité logicielle et la localisation du centre de données auraient un impact plus important sur les émissions que la seule taille du modèle, dans la mesure où les accélérateurs spécialisés et les centres de données modernes peuvent réduire la consommation énergétique d'un facteur 2 à 5 par rapport à des infrastructures standards[208]. Le calcul intègre le PUE comme facteur multiplicatif dans l'estimation des émissions, soulignant que l'énergie réellement consommée dépasse l'énergie purement informatique.

Les auteurs plaident pour une meilleure transparence dans le rapportage de l'énergie et des émissions, afin d'orienter la recherche vers des modèles à la fois performants et sobres énergétiquement.

Le taux d'utilisation des ressources computationnelles détermine également l'efficacité globale de l'infrastructure. Un processeur graphique sous-utilisé, ne fonctionnant par exemple qu'à 20% de sa capacité, gaspille l'énergie nécessaire à son maintien en état de marche sans produire de calcul utile proportionnel. La mutualisation des ressources, permise par les infrastructures « *Cloud* », améliore significativement ce taux d'utilisation en répartissant dynamiquement les charges de travail. Alors que les centres de données traditionnels affichent des taux d'utilisation moyens de 12-18% au niveau des serveurs (*Uptime Institute, 2022*), les pratiques de gestion optimale des grands fournisseurs « *Cloud* » (*hyperscalers*) visent à maintenir les taux au-dessus de 60-70% grâce à la virtualisation et à l'orchestration automatisée des tâches, maximisant ainsi le rapport entre calcul utile et énergie consommée.

Enfin, et très logiquement, la durée d'utilisation d'un modèle amortit l'impact de son entraînement initial. Un système entraîné pendant une semaine mais utilisé pendant cinq ans répartit son coût initial sur une durée longue, réduisant d'autant son impact annualisé. Inversement, des modèles fréquemment réentraînés sans justification technique forte et rapidement obsolètes cumulent les impacts d'entraînement sans bénéficier d'une période d'exploitation suffisante pour les amortir. Cette dynamique temporelle favorise les approches de *transfer learning*[209], permettant de réutiliser des modèles pré-entraînés plutôt que de repartir systématiquement de zéro, avec des économies énergétiques de 95-99% selon le cas d'usage[210].

Annexe 6.2. **Parmi les typologies d'IA, ce sont surtout les IA génératives qui présentent un impact critique sur l'environnement**

Les SIA ont beaucoup évolué depuis la machine de Turing en 1936 jusqu'au grands modèles de langage du début des années 2020. Il n'existe donc pas « une » IA mais « des » IA qui répondent à une grande diversité d'usage et dont l'impact environnemental varie.

[207] L'analyse des auteurs présente néanmoins une limité, liée à des scénarios fortement optimisés, principalement issus de grandes infrastructures « *Cloud* » industrielles.

[208] Patterson et al., *Carbon Emissions, 7*

[209] Le *transfer learning* consiste à réutiliser un modèle déjà entraîné sur une tâche donnée comme point de départ pour en résoudre une autre, proche, avec moins de données et de calcul.

[210] Jesse Dodge, Maarten Sap, Ana Marasović, William Agnew, Gabriel Ilharco, Dirk Groeneveld, and Noah A. Smith, *Measuring the Carbon Intensity of AI in Practice*, Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2022.

Annexe 6.2.1 **La sobriété de l'IA symbolique et des systèmes experts**

Les SIA dits « symboliques », développés avant que l'apprentissage automatique (*machine learning*) ne devienne dominant, reposent sur la formalisation de connaissances expertes sous forme de règles logiques prédéfinies et/ou d'arbres de décision déterministes, guidant l'utilisateur vers une conclusion par une série de questions binaires.

Ces systèmes experts permettent d'automatiser des procédures sans les transformer. Ils se distinguent fondamentalement de l'apprentissage automatique par l'absence de phase d'entraînement : le système est opérationnel dès que les règles ont été programmées, ce qui évite les coûts, délais et impacts environnementaux associés. Les risques d'erreurs et de biais sont limités aux erreurs potentielles dans la formalisation initiale des règles par les experts. La consommation computationnelle reste faible, l'effort résidant avant tout dans l'analyse du métier et la formalisation logique plutôt que dans le calcul.

Les systèmes d'IA (SIA) symboliques sont à la fois stables et facilement évolutifs : il suffit de modifier les règles dans la base de connaissances pour adapter le système, sans réentraînement. Cette flexibilité s'avère particulièrement intéressante dans des environnements législatifs ou réglementaires régulièrement mis à jour (instructions de titres de séjour, d'autorisations administratives, calcul de prestations sociales, détection de fraude, etc.).

Ces systèmes présentent également une grande transparence, chaque décision reposant sur l'application d'une chaîne de règles explicite. Ils offrent ainsi une maîtrise humaine supérieure aux systèmes basés sur l'apprentissage profond (*deep learning*), qui constituent des « boîtes noires ». Relativement légers, ils ne requièrent pas d'infrastructure importante et consomment peu de ressources.

L'IA symbolique et les systèmes experts se distinguent des autres IA par leur sobriété. Ils reposent en effet sur des règles explicites et ne nécessitent pas d'entraînement intensif ni de grandes quantités de données. Ils sont particulièrement adaptés à des applications où la transparence et la sobriété priment sur la performance pure. Ils présentent néanmoins des limites, liées à leur manque d'agilité face à des situations imprévues ou évolutives ainsi qu'à leur difficulté à gérer l'incertitude et les données bruitées.

Annexe 6.2.2 **L'apprentissage automatique classique**

Cette forme d'apprentissage désigne l'ensemble des méthodes statistiques et algorithmiques qui se sont développées dès les années 1950 et ont dominé l'IA jusqu'aux années 2010 et l'essor de l'apprentissage profond. Elle constitue encore aujourd'hui la base de nombreux SIA déployés dans les organisations publiques et privées, en raison de sa robustesse, de son faible coût de calcul et de sa facilité d'interprétation relative.

Contrairement aux systèmes experts, ces modèles sont prédictifs : ils apprennent des régularités à partir de données d'entraînement sans que des règles explicites ne soient programmées. Leur fonctionnement est généralement moins transparent que celui de l'IA symbolique, même si certains modèles classiques (régressions, arbres de décision simples) restent interprétables.

Distinction entre un système expert et l'apprentissage automatique à partir d'un exemple concret :

Système expert pour l'attribution d'une aide sociale :

Règle 1 : SI revenu < seuil ET nombre d'enfants ≥ 2 ALORS aide = 500€

Règle 2 : SI revenu < seuil ET nombre d'enfants = 1 ALORS aide = 300€

Ces règles sont écrites manuellement par des experts métier

Apprentissage automatique pour l'attribution d'une aide sociale :

L'administration fournit à l'IA 50 000 dossiers passés avec leurs caractéristiques (revenu, enfants, situation) et la décision finale.

L'algorithme analyse ces exemples et découvre automatiquement quels facteurs influencent la décision

Il peut même découvrir des corrélations que les experts n'avaient pas explicitement formalisées.

Parmi les principaux modèles d'apprentissage automatique, on distingue :

- **les modèles linéaires et généralisés** (régression linéaire, logistique, SVM linéaire) ;
- **les modèles probabilistes**, tels que le classificateur naïf bayésien ou la régression de Poisson ;
- **les modèles fondés sur des partitions ou des similarités**, comme les arbres de décision appris automatiquement ou les k-plus proches voisins ;
- **les méthodes d'ensemble simples**, telles que le *bagging*[211] ou le *boosting*[212] de base;
- **les modèles spécialisés**, notamment pour les données très corrélées (PLS[213]) ou temporelles (moyennes mobiles, lissage exponentiel).

Ces technologies sont adaptées à de nombreux domaines d'application. Dans le domaine fiscal, des modèles de détection d'anomalies permettent d'identifier les déclarations d'impôts nécessitant un contrôle approfondi, de façon à ce que les services fiscaux puissent cibler leurs vérifications. Les caisses d'allocations familiales emploient des arbres de décision pour détecter les fraudes aux prestations sociales en identifiant des combinaisons inhabituelles de critères. France travail utilise des algorithmes de classification pour orienter les demandeurs d'emploi vers les formations ou les

[211] Méthode d'ensemble qui réduit la variance en entraînant plusieurs modèles sur différents échantillons aléatoires des données d'origine et en combinant leurs prédictions.

[212] Méthode d'ensemble séquentielle où chaque nouveau modèle se concentre sur les erreurs des modèles précédents, attribuant plus de poids aux observations mal classifiées pour améliorer progressivement les performances globales.

[213] La régression PLS (*Partial Least Squares*) est une technique statistique qui combine l'analyse en composantes principales et la régression multiple pour identifier les relations entre variables explicatives et à prédire, particulièrement utile quand ces variables sont nombreuses et corrélées.

emplois les plus adaptés à leur profil. Météo France s'appuie sur ces méthodes pour affiner ses modèles de prévision météorologique, en particulier pour améliorer les prévisions à court terme en combinant données historiques et observations récentes.

Ces modèles se caractérisent par leur relative simplicité : ils comportent généralement entre quelques dizaines et quelques milliers de paramètres. Ils ne requièrent pas d'infrastructures computationnelles coûteuses. Leur entraînement repose sur des méthodes mathématiques bien établies qui convergent rapidement vers une solution. L'inférence est également relativement légère.

Ils peinent cependant à traiter les données non structurées (images, texte, audio etc.). Leur capacité à capturer des relations complexes et non linéaires reste en outre limitée au regard des approches plus récentes.

L'impact environnemental des systèmes d'apprentissage automatique classiques dépend de leur échelle du développement de leurs usages car ils offrent l'opportunité d'être intégrés à des millions, voire des milliards d'appareils (smartphones, internet des objets). Cette ubiquité appelle une vigilance particulière sur l'efficacité énergétique des matériels embarqués et sur la fréquence des inférences, plutôt que sur les algorithmes eux-mêmes.

Annexe 6.2.3 **L'impact environnemental des méthodes d'ensemble avancées repose essentiellement sur l'inférence**

Les méthodes dites « d'ensemble », comme le *bagging* ou le *boosting*, représentent une avancée majeure en apprentissage automatique. Elles combinent plusieurs modèles simples (ou "faibles"[214]) pour créer un modèle robuste, réduisant la variance (*bagging*) ou le biais (*boosting*). Ces approches agrègent les prédictions de centaines, voire milliers de modèles élémentaires.

Les forêts aléatoires s'appuient sur deux principes de diversification : un prélèvement aléatoire avec remise des données d'origine (technique de rééchantillonnage), et une sélection au hasard des variables explicatives à chaque division. Les résultats des différents arbres sont ensuite regroupés par vote à la majorité pour les problèmes de classification, ou par calcul de moyenne pour les problèmes de régression.

Les méthodes de renforcement par gradient, comme celles proposées dans les bibliothèques XGBoost (optimisée pour la régularisation), LightGBM (qui privilégie une approche par feuille), ou CatBoost (spécialisée dans le traitement des variables qualitatives), construisent des arbres l'un après l'autre. Chaque nouvel arbre est conçu pour corriger les erreurs des précédents en utilisant une technique d'optimisation progressive.

L'empilement va encore plus loin en utilisant un modèle superviseur pour combiner les prédictions de plusieurs modèles de base, jouant ainsi le rôle d'un juge qui optimise leur fusion pour obtenir le meilleur résultat possible.

Ces méthodes sont particulièrement adaptées à des applications telles que la **détection de fraude** (grâce à leur capacité à modéliser des interactions complexes), le **e-commerce** (recommandations, gestion de la relation client), ou les **secteurs de l'assurance et du crédit** (cotation de risque). Elles surpassent souvent l'apprentissage profond sur des données tabulaires structurées, offrant un meilleur rapport performance/complexité dans ce contexte.

214 Les notions d'IA forte et d'IA faible ont été conceptualisées dans les années 1980, notamment par le philosophe américain John Searle.

Bien qu'elles comportent des milliers à centaines de milliers de paramètres (par exemple, une forêt de 100 arbres avec 1 000 nœuds chacun), leur impact environnemental reste modéré comparé à l'apprentissage profond. Leur entraînement et leur inférence sont en effet bien moins gourmands en ressources que ceux des réseaux de neurones, tout en étant plus coûteux que des modèles linéaires. Cependant, lors d'un déploiement massif (millions d'inférences quotidiennes), leur empreinte peut devenir significative.

Annexe 6.2.4 L'apprentissage profond soulève des enjeux environnementaux critiques, en particulier depuis le déploiement de l'IA générative

L'apprentissage profond désigne l'ensemble des technologies d'IA reposant sur des réseaux de neurones artificiels organisés en couches successives. Ces architectures se sont développées en plusieurs vagues technologiques depuis les années 2010, chacune apportant des capacités nouvelles et des échelles de complexité croissantes.

Les architectures fondamentales comprennent trois grandes familles : (1) les **perceptrons multicouches** (MLP) constituent l'architecture la plus générale, applicable à diverses tâches de classification et de régression sur données vectorielles, (2) les **réseaux de neurones convolutifs** (CNN) exploitent la structure spatiale des images grâce à des filtres convolutifs qui extraient progressivement des motifs visuels de complexité croissante, (3) les **réseaux de neurones récurrents** (RNN) et leurs variantes LSTM[215] intègrent un mécanisme de mémoire permettant le traitement de séquences temporelles. Ces modèles classiques ont dominé le monde de l'IA entre 2010 et 2017. Ils comptent généralement de quelques millions à plusieurs dizaines de millions de paramètres. ResNet-50, architecture de référence en vision, en intègre 25 millions, tandis que les LSTM atteignent couramment 30 à 50 millions de paramètres.

L'arrivée de l'architecture *« transformer »*, introduite en 2017, marque une rupture technologique majeure. Fondée sur des mécanismes d'attention permettant de traiter simultanément l'ensemble d'une séquence, elle surpasse les RNN en efficacité et en performance, particulièrement pour le traitement du langage naturel. Ainsi, BERT-base de Google compte 110 millions de paramètres (2018). Du côté d'OpenAI, GPT-2 atteint 1,5 milliard (2019) et GPT-3 franchit le seuil des 175 milliards (2020)[216]. Dans le monde académique, BLOOM comporte 176 milliards de paramètres (2022). Il s'agit d'un modèle *open source* qui utilise l'infrastructure de calcul française Jean Zay. Développé par BigScience, consortium international à forte composante européenne qui regroupe un millier de chercheurs, il présente l'avantage de disposer d'une documentation transparente et complète. **L'architecture *« transformer »* opère un véritable changement de paradigme grâce au renforcement des capacités génératives de l'IA** : les modèles de diffusion comme *Stable Diffusion* génèrent des images réalistes, tandis que les grands modèles de langage (LLM) comme GPT-4 ou Claude produisent du texte cohérent et contextuellement pertinent sur de longues séquences.

L'impact environnemental de l'entraînement varie considérablement selon la taille des modèles et le mix énergétique utilisé. Le modèle BLOOM a nécessité 1 083 MWh lors de son entraînement[217]. Entraîné en France, son empreinte carbone de 25 tCO_2eq contraste fortement avec les estimations pour des modèles comparables entraînés avec des mix énergétiques plus carbonés : GPT-3 aurait ainsi consommé environ 1 300 MWh, générant approximativement 550 tCO_2eq avec

[215] Les variantes LSTM sont des modifications du réseau neuronal LSTM classique (mémoire à long et court terme) qui améliorent ses performances selon différents contextes d'application, comme le GRU qui simplifie l'architecture, le Bidirectional LSTM qui analyse les séquences dans les deux sens, ou le Peephole LSTM qui renforce les connexions entre cellules mémoire.

[216] OpenAI n'a pas communiqué le nombre de paramètre de GPT-4

[217] Alexandra Sasha Luccioni, Sylvain Viguier, et Anne-Laure Ligozat, « Estimating the Carbon Footprint of BLOOM, a 176B Parameter Language Model », *Journal of Machine Learning Research* 24, no 253 (2023): 1-15

le mix américain[218]. Les modèles développés plus récemment (ChatGPT, Claude, Perplexity etc.) dépassent peut-être ces ordres de grandeur, mais aucune donnée officielle n'est publiquement disponible.

La phase d'inférence, bien que moins coûteuse individuellement, représente également un enjeu environnemental majeur en raison du **volume massif de requêtes traitées quotidiennement par les services déployés à grande échelle**. Les applications basées sur de l'apprentissage profond, en particulier depuis le déploiement des « *transformers* », couvrent de nombreux secteurs d'activité et ont fait enter l'IA dans le quotidien. En vision par ordinateur, le contrôle qualité industriel automatisé, l'analyse d'imagerie médicale pour l'aide au diagnostic, et les systèmes de reconnaissance de documents transforment les processus métiers. Dans le traitement du langage, la classification de textes, l'extraction d'entités nommées et la traduction automatique sont désormais massivement dominées par les architectures « *transformer* ».

Les applications génératives émergentes incluent l'assistance à la rédaction, la génération de code informatique, la création de contenus visuels et la synthèse vocale réaliste. Pour les séries temporelles, la prévision de consommation énergétique et la maintenance prédictive industrielle exploitent les capacités de modélisation temporelle de ces architectures.

L'entraînement des modèles classiques nécessite des processeurs graphiques (GPU) et s'étend de quelques jours à plusieurs semaines, tandis que les grands modèles génératifs mobilisent des clusters de milliers de GPU pendant plusieurs mois, représentant des investissements matériels et énergétiques considérables qui concentrent ces capacités d'entraînement dans un nombre limité d'acteurs technologiques disposant des infrastructures nécessaires.

Des stratégies d'optimisation permettent cependant de réduire significativement cet impact environnemental. Le *fine tuning*[219] permet de réduire fortement le coût énergétique par rapport à l'entraînement d'un modèle depuis zéro, car il réutilise un modèle pré-entraîné au lieu de répéter cette étape, tout en maintenant la performance[220]. Dans une étude parue en 2023, Wang et al. évaluent plusieurs modèles pour détecter des fausses informations générées par ChatGPT, en comparant des approches classiques à BERT et RoBERTa. Les auteurs appliquent un *fine-tuning* sur ces modèles pré-entraînés en utilisant un jeu de données publiés sur la plateforme Kaggle contenant des nouvelles réelles et générées. BERT atteint un taux de réponse correct de 87 %, tandis que RoBERTa *fine-tuné* obtient un score de 98 %.

En outre, le *transfer learning* mutualise l'impact sur des millions d'utilisateurs. L'*early stopping*[221] évite les itérations superflues en arrêtant l'entraînement dès la stagnation des performances. Le *mixed precision training*[222], effectuant les calculs en virgule flottante 16 bits plutôt que 32 bits, réduit la consommation énergétique d'environ 50 % sans dégradation significative[223] (Micikevicius et al., 2018).

En phase d'inférence, la distillation de modèles crée des versions compactes mimant le comportement de modèles plus larges. Par exemple, DistilBERT ne conserve que 40 % des paramètres de

[218] Patterson et al., *Carbon Emissions,* 6

[219] Processus consistant à adapter un modèle pré-entraîné à une tâche spécifique en réajustant ses paramètres sur un jeu de données ciblé, ce qui permet d'obtenir de bonnes performances avec un coût d'entraînement réduit.

[220] Zecong Wang, Jiaxi Cheng, Chen Cui, and Chenhao Yu, *Implementing BERT and Fine-Tuned RoBERTa to Detect AI-Generated News by ChatGPT*, 2023

[221] Technique d'entraînement qui consiste à arrêter un modèle avant la fin prévue lorsque ses performances cessent de s'améliorer, afin d'éviter le sur-apprentissage.

[222] Technique d'optimisation qui utilise simultanément différentes précisions numériques (généralement 16 et 32 bits) pendant l'entraînement des modèles d'IA, permettant d'accélérer les calculs et réduire la consommation mémoire tout en maintenant la précision des résultats.

[223] Paulius Micikevicius, Sharan Narang, Jonah Alben et al., "Mixed Precision Training," *International Conference on Learning Representations*, 2018

BERT tout en maintenant 97 % des performances, réduisant ainsi le coût d'inférence[224]. La quantification, en réduisant la précision numérique à 8 bits entiers, diminue fortement la consommation énergétique tout en maintenant la précision, la perte de performance étant généralement inférieure à 1 %[225]. Le *pruning*[226] allège le calcul en éliminant les connexions à faible importance. Le *batch processing*[227] améliore l'efficacité du parallélisme GPU lorsque la latence n'est pas la contrainte principale. Enfin, le déploiement en local sur l'appareil (*on-device*) réduit les transferts réseau et la charge des centres de données, mais nécessite des modèles fortement compressés et du matériel spécialisé.

Ces solutions techniques, bien que prometteuses, se heurtent toutefois à l'effet rebond théorisé par Jevons : la vitesse de diffusion des derniers modèles d'IA, sans précédent dans l'histoire technologique, risque de neutraliser les gains d'efficacité énergétique. Même optimisés, la démocratisation des modèles et le volume requêtes qu'ils traitent pourrait annuler les bénéfices tirés de la réduction de leur impact environnemental intrinsèque. L'explosion des IA génératives grand public illustre ce défi d'échelle : ChatGPT a atteint 100 millions d'utilisateurs en deux mois seulement, générant des milliards de requêtes quotidiennes. Une requête à un grand modèle de langage peut consommer une quantité significative d'énergie lors de l'inférence, et l'impact cumulé pourrait dépasser celui de l'entraînement lorsque le volume d'utilisation est très élevé[228]. Les mesures disponibles sur Stable Diffusion montrent que la génération d'une image nécessite 50 à 100 étapes de débruitage et consomme en pratique entre 0,8 et 2,8 Wh selon le matériel utilisé[229].

Annexe 6.3. **Malgré le manque de transparence de la filière, les méthodologies d'évaluation de l'impact environnemental des IA se développent**

Annexe 6.3.1 **« *Green Algorithm* », méthode ouverte et universelle pour évaluer l'impact du calcul, dont l'IA**

« Green algorithm » est une méthode élaborée par l'université de Cambridge[230] (Lannelongue et al., 2021) qui propose de façon simple et formalisée de quantifier l'empreinte carbone des calculs informatiques, en particulier ceux réalisés sur clusters HPC et GPU — ce qui inclut l'entraînement de modèles d'IA. L'objectif des auteurs est de rendre la mesure d'impact environnemental accessible aux chercheurs. L'étude introduit un modèle mathématique relativement léger permettant d'estimer la consommation énergétique totale d'une tâche informatique en fonction de plusieurs facteurs : la puissance électrique du CPU/GPU, la durée du calcul, le nombre de cœurs utilisés, la mémoire sollicitée, le rendement énergétique du datacenter (PUE), le mix électrique de la région d'exécution. Ce modèle est implémenté dans un outil en ligne[231], accompagné d'une bibliothèque

[224] Victor Sanh, Lysandre Debut, Julien Chaumond et Thomas Wolf, « DistilBERT, a Distilled Version of BERT: Smaller, Faster, Cheaper and Lighter », arXiv:1910.01108 (2019)

[225] Benoit Jacob et al., « Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference », *in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (CVPR), 2018.

[226] Technique qui consiste à supprimer des parties peu utiles d'un modèle (poids, neurones, branches) afin de le rendre plus léger et plus rapide sans trop dégrader ses performances.

[227] Technique d'optimisation qui consiste à traiter plusieurs entrées simultanément (par lots) plutôt qu'individuellement, permettant de maximiser l'utilisation des ressources matérielles comme les GPU et d'accélérer considérablement les calculs en exploitant le parallélisme des opérations.

[228] Alex de Vries, "The Growing Energy Footprint of Artificial Intelligence," *Joule* 7, no. 10 (2023): 2191–2194

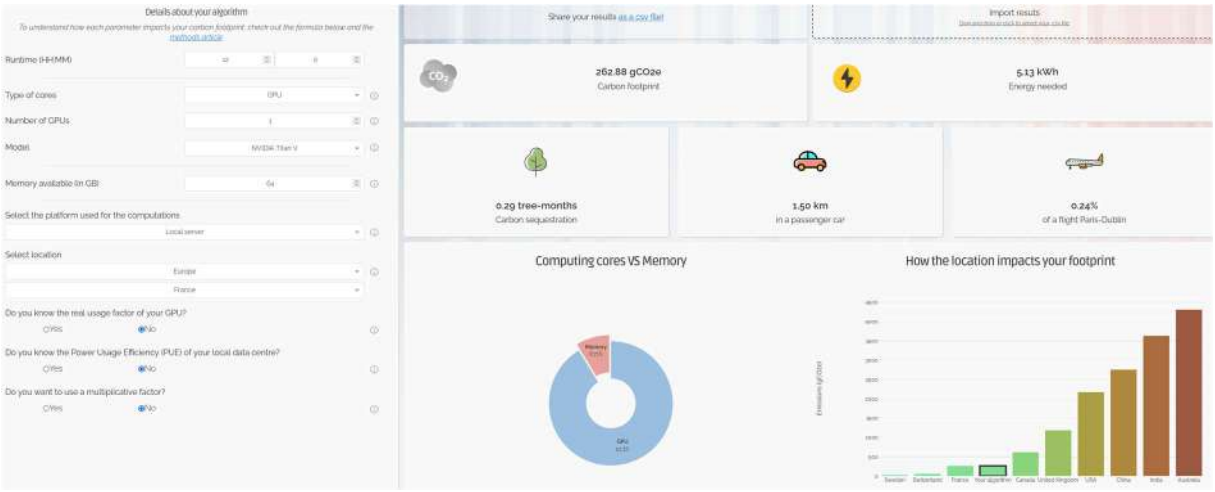
[229] Alexandra Sasha Luccioni et al., « *Stable Bias: Analyzing Societal Representations in Diffusion Models », Advances in Neural Information Processing Systems 36 (NeurIPS Datasets and Benchmarks)* (2023).

[230] oïc Lannelongue, Jason Grealey, et Michael Inouye, « Green Algorithms: Quantifying the Carbon Footprint of Computation », Advanced Science 8, no 14 (2021): 2100707, https://doi.org/10.1002/advs.202100707

[231] https://www.green-algorithms.org/

open source de façon à obtenir immédiatement une estimation d'énergie consommée et d'émissions de CO_2eq.

Figure 14 impression d'écran de l'outil « Green Algorithm »



Il est à noter qu'après avoir testé avec succès cette méthode de calcul lors de l'appel à projet « Démonstrateurs d'IA frugale pour la transition écologique des Territoires », **le pôle ministériel de l'aménagement du territoire et de la transition écologique (CGDD) a décidé de généraliser le recours à *« Green Algorithm »* dans les appels à projet sur l'IA.**

Annexe 6.3.2 **Mistral Large 2, première analyse du cycle de vie d'un grand modèle de langage**

Les méthodes d'analyse de cycle de vie (ACV) appliquées à l'IA sont suffisamment robustes pour évaluer l'impact environnemental des modèles et infrastructures numériques, à condition de disposer de données fiables sur l'ensemble de la chaîne de valeur. L'ACV repose sur deux normes internationales : l'ISO 14040 et l'ISO 14044. La première définit le cadre général, les principes et les étapes clés, tandis que la seconde précise les exigences méthodologiques, la qualité des données et les règles d'interprétation.

L'ACV mesure l'impact environnemental d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des ressources jusqu'à la fin de vie du matériel et des logiciels associés. S'agissant de l'IA, l'objectif est de quantifier le coût environnemental de l'IA, non seulement l'entraînement et l'inférence, mais aussi de l'infrastructure matérielle nécessaire à leur fonctionnement.

Une ACV appliquée à l'IA suit les quatre étapes définies par l'ISO. La première consiste à définir les objectifs et le périmètre, par exemple évaluer l'impact d'un modèle de langage ou comparer deux architectures de réseaux de neurones. La deuxième étape, l'inventaire, consiste à collecter l'ensemble des flux entrants et sortants liés au système étudié, incluant la consommation énergétique des GPU, le taux d'utilisation des serveurs, l'eau utilisée par les datacenters ou encore les matériaux nécessaires à la fabrication du matériel. La troisième étape, l'évaluation des impacts, traduit les données de l'inventaire en indicateurs environnementaux : émissions de CO_2, acidification, consommation d'eau, épuisement des ressources, etc. Enfin, l'interprétation permet d'identifier les principaux points critiques et de formuler des recommandations.

Comme indiqué plus haut, l'application de l'ACV à l'IA présente plusieurs spécificités. D'une part, l'énergie consommée durant l'entraînement des modèles peut varier fortement selon le matériel,

le mix énergétique local et l'efficacité du code. D'autre part, les impacts liés à la fabrication des puces et serveurs deviennent significatifs pour les très grands modèles. Les normes ISO permettent de structurer l'analyse et d'assurer la comparabilité entre études.

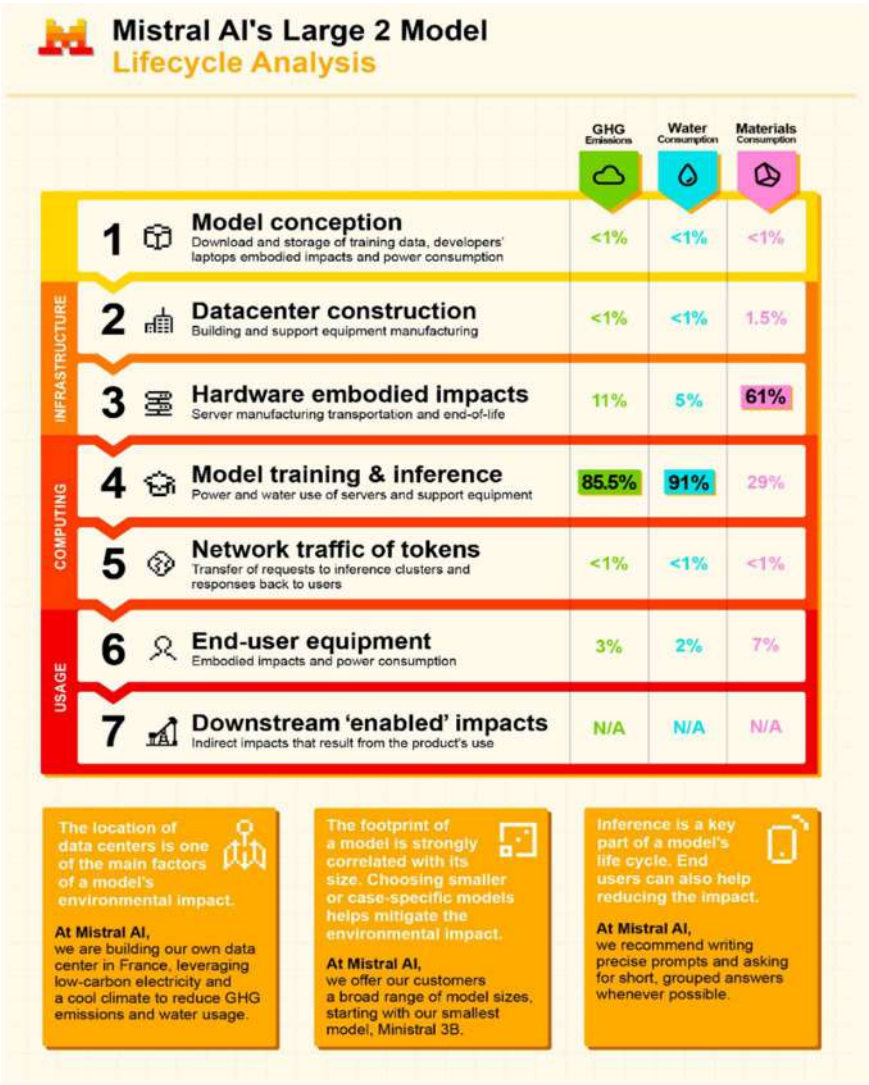
L'éditeur français Mistral AI a publié en juillet 2025 les résultats de l'analyse du cycle de vie (ACV) de son modèle Large 2. Cette étude a été menée en collaboration avec Carbone 4 et l'ADEME. Auditée par Resilio et Hubblo[232], elle quantifie l'impact environnemental du modèle Mistral Large 2 selon trois indicateurs : (1) émissions de gaz à effet de serre, (2° consommation d'eau, (3) épuisement des ressources abiotiques. En janvier 2025, après 18 mois d'utilisation, Large 2 a généré 20,4 $ktCo_2e$, consommé 281 000 m3 d'eau et généré 660 kg Sb eq (ressources minérales)[233]. Ces chiffres incluent non seulement la consommation électrique des GPU, mais aussi l'ensemble des infrastructures (CPU, refroidissement) et les émissions "en amont" liées à la fabrication des serveurs. **L'étude révèle une corrélation forte entre la taille du modèle et son empreinte environnementale, bien que non strictement linéaire en raison des optimisations techniques.**

À l'appui de ces résultats, Mistral AI propose sept étapes d'ACV standardisées et plaide pour une transparence accrue via la publication obligatoire d'impacts par requête (ex. : 1,14 g CO_2eq/400 tokens). Des recommandations pratiques émergent pour les acteurs : adoption de standards internationaux facilitant les comparaisons entre modèles, développement d'un système de notation environnementale, et adoption par les utilisateurs de stratégies d'efficacité telles que le choix de modèles adaptés au besoin plutôt que les plus puissants, ou le regroupement des requêtes pour minimiser les impacts marginaux.

[232] Mistral AI, *Our contribution to a global environnemental standard for AI*, juillet 2025, https://mistral.ai/news/our-contribution-to-a-global-environmental-standard-for-ai

[233] Unité de mesure de l'indicateur qui évalue la quantité de ressources minérales et métalliques retirées de la nature comme s'il s'agissait d'antimoine en masse.

Figure 15 Analyse du cycle de vie du modèle Mistral Large 2 (source : Mistral AI)



Source : Mistral AI

Annexe 6.3.3 **Le référentiel AFNOR sur l'IA frugale, méthode pour déployer une IA efficace et durable**

Le référentiel AFNOR Spec sur l'IA frugale[234] est le fruit d'un groupe de travail piloté par le CGDD et l'AFNOR qui a réuni 150 contributeurs, issus des entreprises, de la recherche, des associations et des administrations. Le CGDD propose une synthèse du référentiel en quatre pages sur le site internet du pôle ministériel[235]. Son élaboration s'inscrit dans le cadre de la stratégie nationale en IA, l'objectif étant de doter les acteurs publics et privés d'un document opérationnel permettant de réduire l'empreinte écologique de l'IA tout en garantissant la performance et la pertinence des solutions développées.

Le référentiel repose sur un postulat central : la frugalité n'est pas une contrainte mais une démarche de conception optimisée visant à ajuster la complexité des systèmes aux besoins réels des utilisateurs. Il affirme que la taille des modèles, le volume de données mobilisées et l'intensité

[234] https://www.afnor.org/actualites/intelligence-artificielle/referentiel-reduire-impact-environnemental-ia/

[235] https://greentechinnovation.fr/storage/2024/06/Referentiel-general-pour-IIA-frugale.pdf

des processus d'entraînement doivent être proportionnés à la valeur apportée. Contrairement à l'idée reçue selon laquelle réduire la consommation entraînerait une perte de performance, le document montre que l'on peut obtenir des systèmes efficaces en ciblant précisément les problématiques métier et en privilégiant des approches algorithmiques sobres. Il encourage à éviter systématiquement le recours à des modèles trop génériques, surdimensionnés ou entraînés sur des quantités gigantesques de données si des alternatives plus simples peuvent satisfaire le besoin.

Les grands principes mis en avant par le référentiel s'articulent autour de plusieurs axes majeurs : la pertinence, la proportionnalité, l'optimisation, la transparence et la mesure. La pertinence consiste à vérifier en amont si l'IA est réellement la solution adaptée et si un système algorithmique plus classique ne suffirait pas. La proportionnalité invite à choisir des modèles adaptés au cas d'usage, en évitant l'inflation de paramètres devenue courante dans le secteur. L'optimisation concerne autant les flux de données (*workflows)* que les architectures de modèles, en intégrant des pratiques comme le *pruning*, la quantification, la distillation, l'*early stopping*, le *transfer learning* ou encore l'utilisation de matériel à haute efficacité énergétique. La transparence exige que les choix techniques et leurs impacts soient documentés pour pouvoir être évalués. Enfin, la mesure implique l'utilisation d'indicateurs concrets tels que la consommation énergétique, les émissions CO_2eq, le temps d'entraînement, l'utilisation matérielle ou encore les coûts d'inférence.

La méthodologie proposée par l'AFNOR Spec s'articule en trois étapes. La première consiste en un diagnostic initial qui évalue la pertinence et la nécessité du recours à l'IA. La deuxième étape regroupe les bonnes pratiques destinées à réduire l'impact environnemental tout au long du développement. La troisième porte sur la vérification, qui permet d'attester que la démarche frugale a été suivie, même si le référentiel ne constitue pas une certification normative. Il propose ainsi un cadre cohérent pour concevoir des systèmes plus sobres, plus robustes et plus durables.

Ce référentiel présente un intérêt particulier pour les grandes organisations développant ou déployant des solutions d'IA, car il leur permet de structurer leurs processus internes et de répondre à plusieurs enjeux simultanés. D'un point de vue opérationnel, il aide à réduire les coûts d'entraînement, d'inférence et d'infrastructure, qui deviennent rapidement significatifs à grande échelle. D'un point de vue environnemental, il permet de mieux maîtriser les impacts énergétiques et les émissions associées. D'un point de vue stratégique, il facilite la conformité avec les cadres réglementaires émergents, notamment européens, qui s'orientent vers une obligation de transparence et de réduction des impacts. D'un point de vue organisationnel enfin, il fournit un langage commun aux équipes techniques, aux responsables QSE ou RSE, aux directions informatiques et aux décideurs, permettant de mobiliser l'ensemble de l'entreprise autour d'une gouvernance responsable de l'IA. En ce sens, le référentiel AFNOR Spec sur l'IA frugale constitue à la fois un outil pratique, un guide stratégique et une base pour faire évoluer les pratiques vers une IA réellement soutenable et alignée avec les objectifs de sobriété numérique.

En conclusion, l'IA repose sur une chaîne de valeur lourde, énergivore et consommatrice de ressources critiques. Si certains types d'IA demeurent sobres, comme les systèmes symboliques ou les modèles d'apprentissage automatique classiques, les grands modèles génératifs représentent aujourd'hui un défi environnemental majeur, tout particulièrement du fait de l'inférence. Malgré les progrès méthodologiques, la transparence reste insuffisante pour une qu'une évaluation complète et comparable des modèles soit possible. Pour répondre à ces enjeux, il devient indispensable d'adopter des standards internationaux, d'encourager la sobriété numérique, de privilégier les modèles adaptés plutôt que les plus puissants et de promouvoir des technologies et pratiques plus efficientes. Le soutenabilité du développement de l'IA impose une transformation collective des approches scientifiques, industrielles et réglementaires.

Bibliographie

Acemoglu, Daron. "The Simple Macroeconomics of AI." Economic Policy 39, no. 120 (octobre 2024) : 663-688

Aghion, Philippe, et Anne Bouveret, présidents. IA : notre ambition pour la France. Rapport de la Commission de l'intelligence artificielle remis au Premier ministre. Paris, mars 2024. https://www.info.gouv.fr/upload/media/content/0001/09/4d3cc456dd2f5b9d79ee75feea63b47f10d75158.pdf

André, Christophe, Peter Gal, and Matthias Schief. "Enhancing Productivity and Growth in an Ageing Society: Key Mechanisms and Policy Options." OECD Economics Department Working Papers No. 1807. Paris: OECD Publishing, 2024. https://doi.org/10.1787/605b0787-en

Arnon, Alex, et Kent Smetters. « The Projected Impact of Generative AI on Future Productivity Growth ». Penn Wharton Budget Model, 8 septembre 2025. https://budgetmodel.wharton.upenn.edu/issues/2025/9/8/projected-impact-of-generative-ai-on-future-productivity-growth

Berryhill, J., et al. "Hello, World: Artificial Intelligence and its Use in the Public Sector." OECD, November 21, 2019. https://oecd-opsi.org/publications/hello-world-ai/

Boavizta. **«** Numérique et environnement : Comment évaluer l'empreinte de la fabrication d'un serveur, au-delà des émissions de gaz à effet de serre ? ». *Blog Boavizta*, 2023. https://boavizta.org/blog/empreinte-de-la-fabrication-d-un-serveur

Bunel, Simon, Alex Clymo, Olivier Garnier et Riccardo Zago. « Réexamen de l'écart de performance de l'Europe vis-à-vis des États-Unis ». *Notes d'études Banque de France*, no 391, février 2025. https://www.banque-france.fr/system/files/2025-02/391_Reexamen_de_lecart_de_performance_de_lEurope_vis-a-vis_des_etats-unis.pdf

Cazzaniga, Mauro, Florence Jaumotte, Longji Li, Giovanni Melina, Augustus J. Panton, Carlo Pizzinelli, Emma J. Rockall, et Marina Mendes Tavares. *Gen-AI: Artificial Intelligence and the Future of Work.* IMF Staff Discussion Notes 2024/001, 14 janvier 2024. Washington, DC: International Monetary Fund. https://doi.org/10.5089/9798400262548.006

Cerutti, Eugenio M., Antonio I. Garcia Pascual, Yosuke Kido, Longji Li, Giovanni Melina, Marina Mendes Tavares, et Philippe Wingender. *The Global Impact of AI: Mind the Gap*. IMF Working Paper 25/076, 11 avril 2025. Washington, DC: International Monetary Fund. https://doi.org/10.5089/9798229008570.001

Challapally, Aditya, Chris Pease, Ramesh Raskar, et Pradyumna Chari. *The GenAI Divide: State of AI in Business 2025*. Cambridge, MA: MIT Media Lab/Project NANDA, juillet 2025. https://mlq.ai/media/quarterly_decks/v0.1_State_of_AI_in_Business_2025_Report.pdf

Chui, Michael, Eric Hazan, Roger Roberts, Alex Singla, Kate Smaje, Alex Sukharevsky, Lareina Yee, and Rodney Zemmel. *The Economic Potential of Generative AI: The Next Productivity Frontier*. New York: McKinsey Global Institute, June 2023

Conseil national de la productivité. *Un monde en mutation – Productivité, compétitivité et transition numérique*. 5e rapport annuel. France Stratégie, 14 avril 2025

Cour des comptes. L'intelligence artificielle dans les politiques publiques : l'exemple du ministère de l'Économie et des Finances. Observations définitives S2024-1165. Paris: Cour des comptes, octobre 2024. https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2024-10/20241022-S2024-1165-L-intelligence-artificielle-dans-les-poltiques-publiques-exemple-du-MEF.pdf

Cour des comptes. *La stratégie nationale pour l'intelligence artificielle : Consolider les succès de la politique publique de l'IA, élargir son champ*. Rapport public thématique, 19 novembre 2025. Paris : Cour des comptes. https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2025-11/20251119-synthese-Strat%C3%A9gie-nationale-IA.pdf

Cour des comptes. *France Travail et l'intelligence artificielle*. Paris : Cour des comptes, 2026. https://www.ccomptes.fr/fr/publications/france-travail-et-lintelligence-artificielle

De Vries, Alex. "The Growing Energy Footprint of Artificial Intelligence." *Joule 7*, no. 10 (2023): 2191–2194.

Dodge, Jesse, Maarten Sap, Ana Marasović, William Agnew, Gabriel Ilharco, Dirk Groeneveld, and Noah A. Smith. 2022. Measuring the Carbon Intensity of AI in Practice. Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2022.

Draghi, Mario. L'avenir de la compétitivité européenne : rapport de compétitivité pour l'Europe. Bruxelles : Commission européenne, 2024. https://commission.europa.eu/document/download/97e481fd-2dc3-412d-be4c-f152a8232961_fr

France Stratégie. « Comprendre le ralentissement de la productivité en France ». Note d'analyse, n° 38. Janvier 2016. https://www.strategie-plan.gouv.fr/files/files/Publications/2016/NA%2038/note_danalyse_ndeg38_web.pdfInternational

Energy Agency. *Energy and AI: Analysis and Forecast to 2035*. Paris: International Energy Agency, avril 2025. https://iea.blob.core.windows.net/assets/dd7c2387-2f60-4b60-8c5f-6563b6aa1e4c/EnergyandAI.pdf

Institut de l'Entreprise et McKinsey & Company. *L'IA et l'évolution des compétences en France*. Paris : Institut de l'Entreprise et McKinsey & Company, 2024

International Labour Organization. "*Generative AI and Jobs: A 2025 Update*." ILO Brief. Research Brief. Geneva: ILO, 2025. https://www.ilo.org/sites/default/files/2025-05/BRIEF_French_AI_and_Jobs_2025_19mai_2.pdf

International Energy Agency (IEA). *Electricity 2024: Analysis and Forecast to 2026*. Paris: IEA, janvier 2024. https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf

International Resource Panel (IRP). 2019. *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Wan*t. B. Oberle, S. Bringezu, S. Hatfield-Dodds et al., eds. Nairobi : United Nations Environment Programme (UNEP). https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/15879/1/unep_252_global_resource_outlook_2019_web.pdf.

International Telecommunication Union (ITU) et United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). *Global E-Waste Monitor 2024*. Geneva: ITU and UNITAR, 2024. https://globalewaste.org/publications/

Jacob, Benoit, Skirmantas Kligys, Bo Chen, Menglong Zhu, Matthew Tang, Andrew Howard, Hartwig Adam, and Dmitry Kalenichenko. « Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference. » *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018.

Lannelongue, Loïc, Jason Grealey, et Michael Inouye. « Green Algorithms: Quantifying the Carbon Footprint of Computation ». *Advanced Science* 8, no 14 (2021): 2100707. https://doi.org/10.1002/advs.202100707

Luccioni, Alexandra Sasha, Yacine Jernite, and Emma Strubell. *"Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?"* In *Proceedings of the 2024 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 1657–65. New York, NY: Association for Computing Machinery,

2024. https://doi.org/10.1145/3630106.3658542

Luccioni, Alexandra Sasha, Sylvain Viguier, et Anne-Laure Ligozat. « Estimating the Carbon Footprint of BLOOM, a 176B Parameter Language Model ». *Journal of Machine Learning Research* 24, no 253 (2023): 1-15

Luccioni, Alexandra Sasha, Christopher Akiki, Margaret Mitchell, et Yacine Jernite. « Stable Bias: Analyzing Societal Representations in Diffusion Models ». *Advances in Neural Information Processing Systems 36 (NeurIPS Datasets and Benchmarks)* (2023). arXiv:2303.11408

Menlo Ventures et Morning Consult. 2025: *The State of Consumer AI*. Menlo Park, CA: Menlo Ventures, 26 juin 2025. https://menlovc.com/perspective/2025-the-state-of-consumer-ai

Micikevicius, Paulius, Sharan Narang, Jonah Alben, et al. “Mixed Precision Training.” *International Conference on Learning Representations*, 2018

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *The Path to Becoming a Data-Driven Public Sector*. OECD Digital Government Studies. Paris: OECD Publishing, 2019. https://doi.org/10.1787/059814a7-en

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *State of Implementation of the OECD AI Principles: Insights from National AI Policies*. OECD Digital Economy Papers, no 311. Paris: OCDE, 2021. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/06/state-of-implementation-of-the-oecd-ai-principles_38a4a286/1cd40c44-en.pdf

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *Digital Government Review of Romania: Towards a Digitally Mature Government*. OECD Digital Government Studies. Paris : OCDE Publishing, 2023. https://doi.org/10.1787/68361e0d-en

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *The Digital Transformation of Norway’s Public Sector*. OECD Digital Government Studies. Paris : OCDE Publishing, 2024. https://doi.org/10.1787/1620e542-en

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *Perspectives de l'emploi de l'OCDE 2025 : Pouvons-nous surmonter la crise démographique ?*. Paris: Éditions OCDE, 2025. https://doi.org/10.1787/79445578-fr

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). *Études économiques de l'OCDE : Union européenne et zone euro 2025*. Paris: Éditions OCDE, 2025. https://doi.org/10.1787/aaeb464b-fr

Parteka, Aleksandra, et Aleksandra Kordalska. « Artificial Intelligence and Productivity: Global Evidence from AI Patent and Bibliometric Data ». *Technovation* 125 (2023): 102764. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102764

Patterson, David, Joseph Gonzalez, Quoc Le, Chen Liang, Lluis-Miquel Munguia, et Daniel Rothchild. *Carbon Emissions and Large Neural Network Training*. arXiv:2104.10350, 2021. https://arxiv.org/abs/2104.10350

Roder, Stéphane**.** *Guide pratique de l'intelligence artificielle dans l'entreprise : De la technologie à la transformation des organisations*. 2e édition. Paris : Eyrolles, 2023

Roder, Stéphane**.** *Guide pratique de l'intelligence artificielle dans l'entreprise*. 1re édition. Paris : Eyrolles, 2019

Roland Berger. *The Public Sector in the Age of Gen AI: How Will Jobs and Services Be Impacted?* Paris: Roland Berger GmbH, 2025

Roland Berger. *L'impact de l'IA générative sur l'emploi en France : une transition à anticiper pour*

les organisations publiques et privées. Paris, 22 novembre 2023. https://www.rolandberger.com/fr/Insights/Publications/L-impact-de-l-IA-g%C3%A9n%C3%A9rative-sur-l-emploi-en-France.html

Sanh, Victor, Lysandre Debut, Julien Chaumond, and Thomas Wolf. « DistilBERT, a Distilled Version of BERT: Smaller, Faster, Cheaper and Lighter. » arXiv:1910.01108, 2019.

Schwartz, Roy, Jesse Dodge, Noah A. Smith, et Oren Etzioni. "Green AI." arXiv preprint, arXiv:1907.10597, 2019. https://arxiv.org/abs/1907.10597

Singla, Alex, Alexander Sukharevsky, Bryce Hall, Lareina Yee, et Michael Chui. “The State of AI in 2025: Agents, Innovation, and Transformation.” McKinsey & Company, November 2025. https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai

Strubell, Emma, Ananya Ganesh, and Andrew McCallum. “Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP.” *In Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 3645–50. Florence, Italy: Association for Computational Linguistics, 2019. https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355

The Shift Project. *Intelligence artificielle, données, calculs : quelles infrastructures dans un monde décarboné ?*. Rapport final. Paris : The Shift Project, 1er octobre 2025. https://theshiftproject.org/app/uploads/2025/09/Synthese-RF-PIA-1.pdf

United Nations Environment Programme and International Resource Panel. 2019. *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27517

Villani, Cédric, Yann Bonnet, Marc Schoenauer, Charly Berthet, Anne-Charlotte Cornut, François Levin, et Bertrand Rondepierre. *Pour une intelligence artificielle significative : pour une stratégie française et européenne*. Rapport remis au Premier ministre, 28 mars 2018. Disponible en ligne : https://www.aiforhumanity.fr/pdfs/MissionVillani_Rapport_InnovationDemocratique.pdf.

Wang, Zecong, Jiaxi Cheng, Chen Cui, and Chenhao Yu. *Implementing BERT and Fine-Tuned RoBERTa to Detect AI-Generated News by ChatGPT*. 2023.



Site internet de l'IGEDD :
« Les rapports de l'inspection »