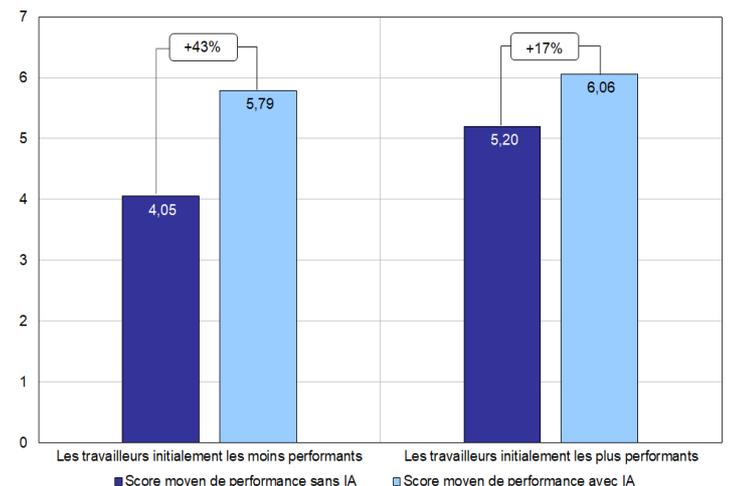


Les enjeux économiques de l'intelligence artificielle

Léo BESSON, Arthur DOZIAS, Clémence FAIVRE, Charlotte GALLEZOT,
Joceran GOUY-WAZ, Basile VIDALENC

- L'intelligence artificielle (IA) désigne l'ensemble des techniques permettant à des machines de simuler l'intelligence humaine. Son développement est une révolution technologique qui, à l'instar des révolutions technologiques précédentes, pourrait générer d'importants bouleversements économiques. Si les travaux de quantification des effets de l'IA sont encore exploratoires, ils permettent d'en appréhender les contours.
- Au niveau macroéconomique, il est trop tôt pour distinguer empiriquement un effet sur la croissance, mais de premières études microéconomiques suggèrent des effets positifs significatifs de certaines applications spécifiques de l'IA sur la productivité individuelle des travailleurs. À poste donné, ces gains touchent en particulier les travailleurs les moins productifs, entraînant un rattrapage vis-à-vis des plus productifs. En revanche, les effets de l'IA mesurés sur la productivité des entreprises sont pour le moment modestes. Ceci peut s'expliquer par une adoption encore limitée et inégale au sein des entreprises, plus forte pour les grandes entreprises et celles du numérique.
- Les effets théoriques de l'IA sur l'emploi sont incertains. À court terme, ils dépendront de la vitesse de déploiement de l'IA, de l'évolution de certains métiers vers des tâches qui lui sont complémentaires et de la réallocation de la main d'œuvre vers les métiers en croissance. Par ailleurs, les premières estimations empiriques s'accordent sur le fait que les tâches et métiers touchés par l'IA ne seraient pas les mêmes que ceux qui étaient concernés par les précédentes révolutions technologiques. L'IA concernerait davantage les professions qualifiées, du fait de sa capacité à prendre en charge des tâches abstraites et non-routinières, alors que les vagues précédentes de mécanisation et d'informatisation avaient respectivement concerné les emplois non qualifiés et les professions intermédiaires.
- Ces différents constats appellent à renforcer les formations en sciences dans l'enseignement primaire et secondaire et en IA dans l'enseignement supérieur, à cibler la formation continue sur les métiers en transformation, et à lever certains freins à la diffusion de l'intelligence artificielle notamment via une politique de concurrence adaptée à ses particularités.

Effet de l'IA sur la performance des consultants d'un cabinet de conseil en fonction de leur niveau initial



Source : Dell'Acqua F., McFowland E., Mollick E. R., Lifshitz-Assaf H., Kellogg K., Rajendran S., Kraye L., Candelon F., Lakhani K. R. (2023), "Navigating the Jagged Technological Frontier : Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality", Harvard Business School Technology & Operations Mgt. Unit Working Paper.
Note de lecture : Ce graphique compare l'effet de l'utilisation de l'IA sur les performances des travailleurs d'un cabinet de conseil international pour réaliser des tâches créatives (création, lancement et promotion de nouveaux produits), selon leur niveau initial de performance (sans utilisation de l'intelligence artificielle). L'axe des ordonnées indique les scores moyens sur une échelle de 0 à 10.

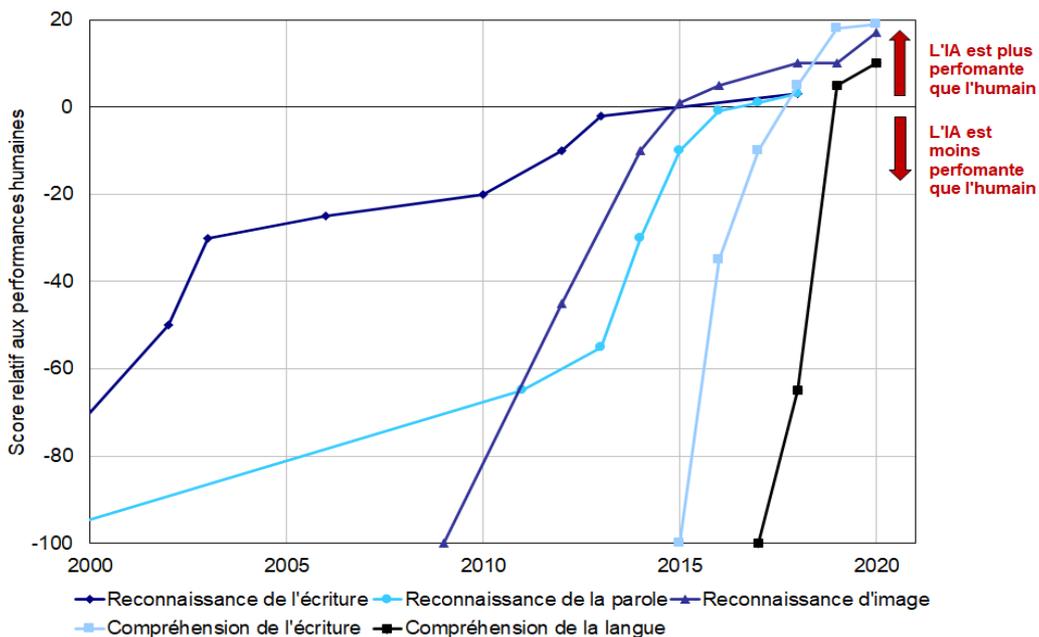
1. Un effet de l'intelligence artificielle sur la croissance encore peu visible

1.1 L'IA pourrait à terme augmenter la productivité

Depuis leur apparition dans les années 1950, les systèmes d'intelligence artificielle (IA) réalisent des tâches de plus en plus diversifiées, dont certaines à un niveau de performance comparable, voire supérieure, à un humain. Ces dix dernières années, les progrès de la recherche en IA et ceux des infrastructures de calcul informatique ont accéléré et permis l'émergence de différents types de modèles qui constituent des

avancées technologiques importantes, dont des modèles d'IA dits de fondation. Ce sont des modèles généralistes pouvant être ensuite spécialisés pour réaliser des tâches très variées, à l'instar des modèles GPT (*Generative pre-trained transformer*), connus du grand public à la suite du succès de ChatGPT. Les modèles de fondation dits génératifs sont notamment capables de générer du contenu textuel, visuel ou sonore en réponse à une demande (*prompt*).

Graphique 1 : Capacités de reconnaissance du langage et des images des systèmes d'IA



Source : Our World in Data, Kiela et al. (2021) - Dynabench: Rethinking benchmark in NLP.

Note de lecture : Les systèmes d'IA de reconnaissance d'image ont dépassé les performances humaines à partir de 2015. Les scores de performance sont normalisés avec une performance initiale de -100 et une performance humaine à 0.

L'IA pourrait entraîner d'importants gains de productivité et de croissance pour la production des biens et des services¹. Elle est considérée par l'OCDE comme une technologie à usage général (TUG)², c'est-à-dire susceptible d'avoir un impact significatif sur la société et le travail par son application à de nombreuses professions et secteurs de l'économie. Ces TUG incluent par exemple la machine à vapeur, l'électricité ou les technologies de l'information et de la communication (TIC). Leur développement se traduit par une croissance de la productivité globale étalée sur une longue période *via* des innovations de produit, de procédé ou d'organisation (e.g. production assistée par

ordinateur), après un délai lié au caractère progressif de leur adoption.

L'IA se distingue des vagues d'innovations précédentes en permettant aussi des gains de productivité dans la production d'idées³. Les modèles d'IA, en particulier ceux qui sont dits « de fondation », accélèrent le processus d'innovation car ils sont capables d'extraire des régularités dans des bases de données extrêmement volumineuses et complexes (*i.e.* texte, son, image). Par exemple, des modèles d'IA sont utilisés pour accélérer la découverte de nouveaux

(1) Rapport de la Commission de l'intelligence artificielle (mars 2024), « IA : notre ambition pour la France ».

(2) OECD (2023), "A blueprint for building national compute capacity for artificial intelligence", *OECD Digital Economy Papers*. Eloundou T., Manning S., Mishkin P., Rock D. (2023), "GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models", *OpenAI*.

(3) Cockburn I.M., Henderson R., Stern S. (2018), "The impact of artificial intelligence on innovation", *NBER*.

médicaments⁴. Ces modèles peuvent également accélérer le processus de recherche en facilitant la génération d'hypothèses de recherche⁵. Ainsi, les modèles d'IA pourraient changer la nature du processus d'innovation dans certains domaines et constituer « l'invention d'une méthode d'invention »⁶.

1.2 L'effet macroéconomique de l'IA reste pour l'heure limité et incertain

Les travaux empiriques existants n'ont pas mis en évidence un effet statistiquement significatif de l'IA sur la croissance. Cela peut avoir différentes explications :

- L'IA a encore relativement peu été intégrée dans les processus de production, avec de fortes différences entre secteurs (cf. Tableau 1). Avant le développement récent des modèles de fondation, l'adoption de technologies liées à l'IA semblait même avoir atteint un plafond⁷. Par ailleurs, le développement de l'IA est hétérogène au sein des entreprises, avec des bénéfices concentrés au sein d'entreprises ayant adopté précocement ces technologies⁸.
- Les bénéfices liés à l'IA n'excéderaient pas encore les coûts initiaux liés à son adoption. Comme pour les TUG l'ayant précédée, l'IA oblige à réorganiser les entreprises, à reconfigurer les modes de travail et les compétences, et à consentir des investissements complémentaires, ce qui implique des effets différés sur la productivité⁹. L'effet de l'IA suivrait donc une courbe en J à l'échelle macroéconomique¹⁰.

Plusieurs études exploratoires ont cherché à quantifier l'effet potentiel d'une adoption généralisée de l'IA sur le PIB. Avant la démocratisation des modèles de fondation, certaines études¹¹ estimaient qu'elle pourrait générer une activité mondiale supplémentaire d'environ 13 000 Md\$, soit une croissance moyenne supplémentaire du PIB d'environ 1,2 point par an entre 2018 et 2030. Selon une étude plus récente¹², l'IA générative, pourrait à elle seule augmenter la croissance annuelle de la productivité du travail aux États-Unis de presque 1,5 point sur une période de 10 ans après une adoption généralisée. À titre de comparaison, la croissance annuelle de la productivité du travail aux États-Unis était de 1,3 point sur la période 2005-2018, et 0,8 point sur la période 2010-2018. Ces estimations dépendent souvent d'hypothèses très fortes et prospectives (par exemple les chroniques d'investissements dans l'intelligence artificielle, et une adoption massive, relativement rapide et accompagnée de frictions limitées), ce qui fragilise leurs conclusions. En outre, les méthodologies retenues ne permettent pas toujours un bouclage macroéconomique complet car elles s'appuient sur une extrapolation de résultats microéconomiques.

Par ailleurs, certaines caractéristiques de l'IA pourraient avoir des effets ambigus sur l'innovation. D'une part, en facilitant l'imitation et la copie des produits et technologies (e.g. la rétro-ingénierie de produits et services existants), l'IA pourrait faciliter la diffusion technologique et accroître la concurrence, renforçant *in fine* les conditions d'une course à l'innovation¹³. D'autre part, cette facilité de copie pourrait désinciter à l'innovation en réduisant ses gains potentiels¹⁴.

(4) Mock M., Edavettal S., Langmead C., Russel A. (2023), "AI can help to speed up drug discovery - but only if we give it the right data", *Nature comment*.

(5) Van Noorden R., Perkel J.M. (2023), "AI and science: what 1,600 researchers think", *Nature*.

(6) Besiroglu T., Emery-Xu N., Thompson N. (2023), "Economic impact of AI-augmented R&D", *arXiv*.

(7) D'après l'enquête Qualitative State of AI 2023, la part des entreprises déclarant avoir adopté l'IA dans leurs processus stagnait depuis 2019.

(8) Corrado C., Criscuolo C., Haskel J., Jona-Lasinio C. (2021), "New evidence on intangibles, diffusion and productivity", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*.

(9) Venturini F. (2022), "Intelligent technologies and productivity spillovers: Evidence from the Fourth Industrial Revolution", *Journal of Economic Behavior and Organization*.

(10) Brynjolfsson E., Rock D., Syvero C. (2021), "The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies", *American Economic Journal: Macroeconomics, American Economic Association*.

(11) McKinsey&Company (2018), "Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy", *Discussion Paper*.

(12) Goldman Sachs (2023), "The potentially large effects of artificial intelligence on economic growth", *Global Economics Analyst*.

(13) Bloom N., Jones C. I., Van Reenen J., Webb M. (2017), "Are Ideas Getting Harder to Find?", *Stanford University manuscript*.

(14) Aghion P., Jones B. F., Jones C. I. (2017), "Artificial Intelligence and Economic Growth", *NBER Working Paper*.

Tableau 1 : Taux d'adoption de systèmes d'IA par un panel international d'entreprises en 2022, par secteur et type de modèles (en % des répondants dans chaque industrie)

		Industries					
		Toutes industries	Services aux entreprises, aux professionnels et services juridiques	Biens de consommation, de détail	Services financiers	Systèmes de soin, produits pharmaceutiques et médicaux	Hautes technologies, télécoms
Capacité en matière d'IA	Automatisation robotisée des processus	39	46	25	47	16	48
	Vision par ordinateur	34	32	33	24	32	37
	Compréhension du langage naturel sous format écrit	33	34	22	42	29	40
	Agents virtuels	33	30	40	33	14	43
	Apprentissage profond	30	37	36	22	18	45
	Graphe de connaissance	25	26	18	29	14	23
	Système de recommandation	25	23	32	30	16	34
	Jumeau numérique	24	31	25	18	16	24
	Compréhension du langage naturel sous format oral	23	22	11	30	12	29
	Robotique physique	20	19	24	14	11	15
	Apprentissage par renforcement	20	26	19	19	13	23
	Système de reconnaissance faciale	18	11	19	24	5	16
	Génération automatique de texte	18	12	20	20	5	24
	Apprentissage par transfert	16	16	7	17	9	22
	Réseaux antagonistes génératifs	11	8	13	13	5	15
	Transformateurs (ex: GPT-3)	11	11	11	12	6	15

Source : "Artificial Intelligence Index report 2023", Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence. Data based on McKinsey & Company Survey, 2022.

Note : Les données proviennent de réponses d'entreprises internationales issues de l'ensemble des régions, secteurs d'activité et catégories de taille.

2. Des effets positifs sur la productivité individuelle de certains travailleurs

2.1 Les preuves que l'IA améliore la productivité des entreprises sont encore rares

Si les premiers travaux empiriques menés sur données américaines montrent que les entreprises innovantes en matière d'IA sont plus productives que les autres¹⁵, les preuves d'une relation causale restent encore ténues¹⁶. L'adoption de l'IA semble avoir un effet modeste (non significatif statistiquement¹⁷) sur la productivité, qui peut s'expliquer par un décalage temporel des effets et par l'adoption conjointe de plusieurs technologies, empêchant une imputation spécifique à l'adoption de l'IA. Il y a également un biais de sélection dans la mesure où les entreprises les plus

grandes et les plus productives sont les plus susceptibles d'adopter l'IA¹⁸. Ces grandes entreprises disposent aussi de plus de ressources pour déployer les actifs complémentaires à l'IA, leur permettant d'en tirer tous les bénéfices¹⁹.

2.2 Au sein d'une profession, les gains de productivité semblent concentrés sur les travailleurs les moins productifs

Les premières études microéconomiques empiriques, qui portent sur des cas d'applications spécifiques, mettent en évidence des gains de productivité individuels importants liés à l'adoption et à l'utilisation

(15) Alderucci D., Branstetter L. G., Hovy E., Runge A., Ryskina M., Zolas N. (2020), "Quantifying the Impact of AI on Productivity and Labor Demand: Evidence from U.S. Census Microdata?", *Allied social science associations—ASSA 2020 annual meeting*.

(16) OECD (2023), *Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market*.

(17) Acemoglu D., Anderson G.W., Beede D.N., Buffington C., Childress E.E., Dinlersoz E., Foster L.S., Goldschlag N. Haltiwanger J.C., Kroff Z., Restrepo P., Zolas N. (2022), "Automation and the Workforce: A Firm-Level View from the 2019 Annual Business Survey", *NBER Working paper series*.

(18) Acemoglu D. *et al.* (2022), *op. cit.*

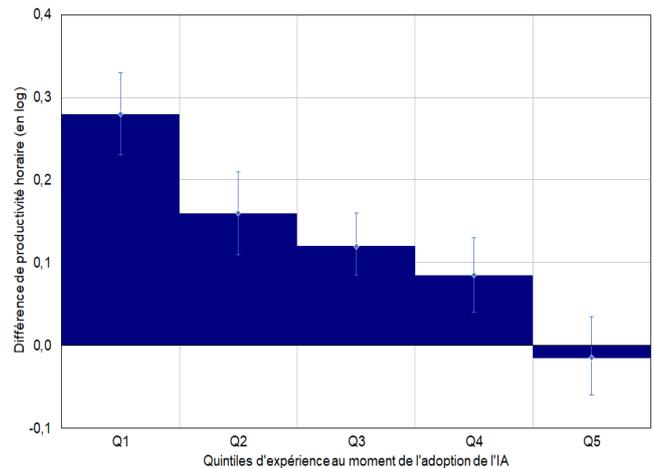
(19) Calvino, F., Fontanelli L. (2023), "A portrait of AI adopters across countries: Firm characteristics, assets' complementarities and productivity", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*.

de l'IA, et des modèles de fondation en particulier. Dans le domaine informatique par exemple, un assistant de programmation, qui fonctionne grâce à des technologies d'IA, permettrait un gain de productivité de 55 % pour la rédaction de code²⁰. Avec le développement des nouvelles générations de modèles d'IA, ce constat pourrait s'étendre à de nombreux autres secteurs²¹. Ainsi, pour des activités de rédaction basiques (e.g. demandes de subventions, rédactions de résumés), les professionnels utilisant un agent conversationnel se fondant sur l'IA bénéficieraient d'un gain moyen de productivité de 37 %²².

Au sein d'une même profession, ces gains semblent se concentrer sur les travailleurs les moins productifs, ce qui conduirait à une réduction des écarts de productivité entre travailleurs. Par exemple, l'introduction d'une technologie d'IA qui aide les chauffeurs de taxis à trouver des clients par la suggestion d'itinéraires accroît la productivité des chauffeurs les moins productifs, mais pas celle des plus productifs, réduisant l'écart de productivité entre ces deux groupes de 14 %²³. Au sein de la profession des conseillers clientèle, on constate un gain de productivité moyen de 14 % pour les conseillers ayant accès à des agents conversationnels, largement concentré sur les travailleurs les moins expérimentés. Le modèle d'IA ainsi utilisé permet de diffuser les connaissances tacites des travailleurs les plus expérimentés aux autres travailleurs, ce qui réduit les écarts de productivité dus au déficit initial

d'expérience des seconds par rapport aux premiers²⁴ (cf. Graphique 2). Cet effet de rattrapage est également à l'œuvre au sein de professions plus qualifiées : à titre d'exemple, l'utilisation de l'IA par des consultants d'un cabinet de conseil pour réaliser des tâches créatives augmente la productivité²⁵ des consultants les moins productifs de 43 %, et celle des plus productifs de 17 %²⁶ (cf. Graphique de couverture).

Graphique 2 : Effet de l'IA sur la productivité de conseillers clientèle américains en fonction de leur productivité initiale



Source : Brynjolfsson E., Li D., Raymond L. (2023), "Generative AI at Work", NBER working paper series.

Note de lecture : Les conseillers clientèle étudiés travaillent dans une entreprise spécialisée dans la vente de logiciels pour petites et moyennes entreprises aux États-Unis. La performance est définie comme le nombre de problèmes de clients résolus par heure, moyenné sur trois mois. Le quintile 5 regroupe les agents les plus productifs de chaque entreprise.

3. Un développement de l'IA touchant les métiers les plus qualifiés

3.1 L'effet de l'IA sur l'emploi n'est pas encore observable

Les estimations de l'effet agrégé de l'IA sur l'emploi sont peu nombreuses, mais suggèrent que cet effet reste pour l'heure limité, sans présager des évolutions

futures. L'OCDE²⁷ note que les études empiriques utilisant les variations d'exposition à l'IA entre pays ou entre marchés du travail locaux ne montrent pas de diminution statistiquement significative de l'emploi agrégé²⁸. De même, des enquêtes récentes auprès des travailleurs et des entreprises ou des études de

(20) Peng S., Kalliamvakou E., Cihon P., Demirer M. (2023), "The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot", *arXiv preprint*.

(21) Hang H., Chen Z. (2022), "How to Realize the full potentials of AI in digital economy?", *Journal of Digital Economy*.

(22) Noy S., Zhang W. (2023), "Experimental Evidence on the Productivity Effects of Generative Artificial Intelligence", *Science*.

(23) Kanazawa K., Kawaguchi D., Shigeoka H. Watanabe Y. (2022), "AI, Skill, and Productivity: The Case of Taxi Drivers", *NBER working paper series*.

(24) Brynjolfsson E., Li D., Raymond L. (2023), "Generative AI at Work", *NBER working paper series*.

(25) La productivité est ici mesurée comme la qualité des propositions des consultants, jugée par un panel de consultants et d'étudiants confirmés en école de commerce.

(26) Dell'Acqua F., McFowland E., Mollick E. R., Lifshitz-Assaf H., Kellogg K., Rajendran S., Kraye L., Candelon F., Lakhani K. R. (2023), "Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality", *Harvard Business School Technology & Operations Mgt. Unit Working Paper*.

(27) OECD (2023), *Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market*.

(28) Bien que l'emploi ne diminue pas au niveau agrégé, Acemoglu et al. (2022) montrent que les entreprises les plus exposées à l'intelligence artificielle ont tendance à moins embaucher dans les emplois ne nécessitant pas de compétences en IA et à changer les compétences demandées dans les offres restantes (Acemoglu D., Autor D., Hazell J., Restrepo P. (2022), "Artificial intelligence and jobs: Evidence from online vacancies", *Journal of Labor Economics*).

cas d'entreprises ayant adopté l'IA ne révèlent que peu de changements en matière d'emploi. Une étude suggère néanmoins que l'adoption de l'IA pourrait être associée à une augmentation de l'emploi et du chiffre d'affaires dans les secteurs où des entreprises ont adopté l'IA²⁹. Ces résultats n'ont qu'une faible portée

prédictive dans un contexte où l'adoption de l'IA est encore limitée³⁰, quoiqu'en hausse notable, et où ses effets sont encore trop faibles par rapport à la taille du marché du travail pour se voir sur les modèles d'emploi en dehors des embauches dans les métiers de développement de l'IA³¹ (cf. Encadré 1).

Encadré 1 : La main d'œuvre et les compétences dans le secteur de l'IA

La main d'œuvre dédiée à l'IA^a dans les pays de l'OCDE est encore relativement faible (0,34 % de l'emploi en 2019) mais elle croît rapidement : sa part dans l'emploi a presque triplé en moins d'une décennie^b. Aux États-Unis, les offres d'emploi liées à l'IA ont rapidement augmenté entre 2010 et 2018, avec une accélération autour de 2015-2016. En France, les offres d'emploi en ligne qui requièrent des compétences en IA représentent 0,35 % des offres postées en 2022. Le nombre total d'offres d'emploi en IA est en progression d'environ 45 % entre 2019 et 2022^c. Cela refléterait la structure des établissements dont les tâches sont adaptées à l'utilisation de l'IA, qui réduisent leurs embauches dans les postes non liés à l'IA^d. Ce phénomène a été associé à une diminution importante de l'embauche dans ces établissements, qui peuvent faire le choix de ne pas remplacer les départs à la retraite.

Les entreprises qui mettent en œuvre et diffusent des systèmes d'IA modifient les types de compétences demandées, à la fois sur les marges extensive (nouvelles compétences) et intensive (niveau plus élevé que précédemment sur une même compétence). À mesure que les entreprises investissent dans l'IA, elles auraient tendance à augmenter leurs effectifs plus spécialisés dans les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STEM)^e. Les travailleurs ayant ces compétences sont en effet particulièrement utiles pour l'analyse des données et l'informatique, qui reposent sur des savoirs scientifiques ou de la pensée critique. Certaines des compétences en IA sont consubstantielles à certaines professions (informaticiens, directeurs de technologie de l'information, *data scientists*, etc.)^f, mais dans les pays de l'OCDE, la demande de compétences en IA s'est diffusée à un ensemble plus large de professions, et ce plus rapidement que la demande d'une compétence moyenne entre 2012 et 2019. La forte demande de compétences spécialisées en IA passe notamment par la création de nouveaux emplois dans le domaine de l'IA lui-même^g. En conséquence et sans présumer des évolutions futures, bien que les travailleurs hautement qualifiés soient plus exposés à l'IA, une partie d'entre eux auraient pour l'instant eu – paradoxalement – de meilleures perspectives d'emploi depuis l'introduction de l'IA^h.

- a. D'après Green et Lamby (2023), la main-d'œuvre dédiée à l'IA est définie comme le sous-ensemble des travailleurs ayant des compétences en statistiques, en informatique et en apprentissage automatique, qui pourraient développer et maintenir activement des systèmes d'IA.
- b. Green A., Lamby L. (2023), "The supply, demand and characteristics of the AI workforce across OECD countries", *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*.
- c. Borgonovi F. et al. (2023), "Emerging trends in AI skill demand across 14 OECD countries", *OECD Artificial Intelligence Papers*.
- d. Acemoglu D. et al. (2020), "AI and jobs: evidence from online vacancies", *NBER Working Paper Series*.
- e. Babina T., Fedyk A., He A. X., Hodson J. (2022), "Firm Investments in Artificial Intelligence Technologies and Changes in Workforce Composition", *under review*.
- f. Manca F. (2023), "Six questions about the demand for artificial intelligence skills in labour markets", *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*.
- g. Milanez A. (2023), *op.cit.*
- h. OCDE (2023), *OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market*.

(29) Babina T., Fedyk A., He A., Hodson J. (2024), "Artificial intelligence, firm growth, and product innovation", *Journal of Financial Economics*.

(30) Les pistes évoquées par l'OCDE pour l'absence d'effet agrégé sont : la faiblesse de l'adoption globale de l'IA et des gains de productivité ; la préférence des entreprises pour l'ajustement de la demande de main-d'œuvre par l'attrition plutôt que par des licenciements ; le fait que les progrès de l'IA et de l'exposition à l'IA n'impliquent pas nécessairement l'automatisation ; et la création de nouvelles tâches et de nouveaux emplois.

(31) Acemoglu D. et al. (2022), *op. cit.*

3.2 L'effet de l'IA sur l'emploi agrégé à long terme s'inscrit dans le cadre théorique de la destruction créatrice

Selon le FMI³², 60 % des emplois des économies avancées pourraient présenter un degré élevé d'exposition à l'IA : 27 % des emplois lui seraient fortement complémentaires, et donc les plus à même de bénéficier de l'IA, tandis qu'elle pourrait se substituer à 33 % des emplois. D'après l'OIT³³, dans les pays développés, le nombre d'emplois ayant un potentiel d'amélioration par l'IA (13,4 %) est bien plus élevé que celui ayant un potentiel de remplacement par l'IA (5,1 %). Selon d'autres estimations, portant plus précisément sur l'arrivée des modèles de fondation, si 80 % des travailleurs américains pourraient voir au moins 10 % de leurs tâches remplacées, seulement 19 % d'entre eux pourraient voir cette part atteindre au moins 50 %, et feraient donc face à un risque important de substitution³⁴.

Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec précaution. En effet, l'approche adoptée ne prend en compte ni la courbe de progression de l'IA, ni l'évolution de ses coûts de développement pour les entreprises, alors que ces deux éléments déterminent largement les effets à long terme d'une technologie sur l'emploi³⁵. Ainsi, si 36 % des emplois américains (hors agriculture) ont au moins une de leurs tâches exposée à la vision par ordinateur³⁶ seulement 8 % au total (soit 23 % des emplois exposés) seraient susceptibles de voir cette tâche effectivement automatisée par leur entreprise³⁷. Cette faible part d'automatisation résulte de coûts d'adoption et de développement encore trop élevés pour qu'elle soit rentable.

À long terme, les effets de l'IA sur la demande de travail agrégée dépendront de mécanismes similaires à ceux qui furent observés lors des précédentes révolutions technologiques, en particulier de l'efficacité et des délais du mécanisme schumpétérien de « destruction créatrice ». Les nouvelles technologies à usage général détruisent des emplois dans certains secteurs pour en recréer dans d'autres, sur une durée qui s'étend sur plusieurs décennies³⁸. L'effet net sur l'emploi total dépend de l'équilibre entre deux forces opposées. D'une part, la demande de travail est réduite pour certaines tâches ou métiers (où le capital peut se substituer au facteur travail). D'autre part, les nouvelles technologies génèrent des gains de productivité (en substituant du travail par du capital plus efficace ou en améliorant le rendement du capital déjà utilisé) et des revenus qui amplifient la demande de travail. Cette dernière est également accrue par l'émergence de nouvelles tâches ou métiers, où le facteur travail garde un avantage comparatif, notamment en complémentarité des nouvelles technologies.

À très long terme, une fois que l'emploi et les salaires se sont ajustés dans les différents secteurs, l'IA n'a pas de raison de peser significativement sur l'offre de travail ni sur le chômage d'équilibre si ce n'est de façon indirecte. Certaines études³⁹, suggèrent par exemple que l'IA permettrait d'améliorer les conseils aux demandeurs d'emploi éloignés du marché du travail, ce qui pourrait contribuer à diminuer le chômage d'équilibre et à augmenter la productivité. Au total, l'effet sur l'emploi agrégé est incertain et évolutif, dépendant de la vitesse d'ajustement des salaires relatifs et des travailleurs entre les anciens et les nouveaux emplois, et l'ampleur de chacun des effets varie au fil du temps – suivant probablement une courbe en J⁴⁰.

(32) Cazzaniga M. *et al.* (2024), "Gen-AI : Artificial Intelligence and the Future of Work", *IMF Staff Discussion Note*.

(33) Gmyrek P., Berg J., Bescond D. (2023), "Generative AI and jobs: A global analysis of potential effects on job quantity and quality", *ILO Working Paper* 96.

(34) Eloundou T. *et al.* (2023), *op.cit.*

(35) Comme le montre l'exemple de l'ordinateur développé dans Nordhaus W. (2007), "Two Centuries of Productivity Growth in Computing", *The Journal of Economic History*.

(36) Branche de l'intelligence artificielle dont le principal but est de permettre à une machine d'analyser et de traiter une ou plusieurs images ou vidéos prises par un système d'acquisition.

(37) Svanberg B. *et al.* (2024), "Beyond AI Exposure: Which Tasks are Cost-Effective to Automate with Computer Vision?", *MIT Working Paper*.

(38) Sur la base des données de l'enquête britannique auprès des employeurs, Hunt *et al.* (2022) constatent cependant que, au sein des entreprises celles qui utilisent l'IA ont des taux de création et de destruction d'emplois plus élevés (Hunt W., Sarkar S., Warhurst C. (2022), "Measuring the impact of AI on jobs at the organization level: Lessons from a survey of UK business leaders", *Research Policy*).

(39) Belot M., Kircher P., Muller P. (2022), "Do the Long-Term Unemployed Benefit from Automated Occupational Advice during Online Job Search?", *IZA Discussion Papers*.

(40) L'effet négatif domine dans un premier temps avant d'être réduit, voire surpassé, par l'addition des différents effets positifs qui nécessitent une réallocation de la main d'œuvre.

3.3 Contrairement aux précédentes révolutions technologiques, l'IA pourrait affecter davantage les métiers les plus qualifiés

Les précédentes révolutions technologiques du XX^{ème} siècle ont été à l'origine d'un progrès technique biaisé en faveur des travailleurs les plus qualifiés⁴¹, qui a pu accroître les inégalités économiques. La mécanisation⁴² au début du XX^{ème} siècle, puis la robotisation à la fin du siècle⁴³, ont ainsi été défavorables aux travailleurs manuels non qualifiés, tandis que les techniciens qualifiés de l'industrie et les professions d'encadrement en ont bénéficié. L'informatisation a quant à elle conduit à une polarisation du marché du travail, en pénalisant particulièrement les travailleurs moyennement qualifiés employés à des tâches cognitives routinières, et en bénéficiant aux travailleurs les plus qualifiés, pour lesquels la demande a fortement augmenté⁴⁴, alors que les travailleurs non qualifiés exerçant des tâches manuelles non-routinières ont été peu touchés⁴⁵.

À la différence de ces premières révolutions, l'adoption de l'IA menacerait davantage les professions les plus qualifiées (diplômés du supérieur avec des salaires élevés), en se substituant à certains travailleurs hautement qualifiés pour réaliser des tâches qui requièrent des compétences avancées⁴⁶ (cf. Graphique 3). En effet, l'IA est capable de prendre en charge des tâches cognitives abstraites et non-routinières, et donc d'élargir le périmètre des tâches substituables (e.g. traduction, élaboration de

diagnostics)⁴⁷. Ces professions pourraient toutefois dans le même temps être les plus susceptibles de tirer profit des gains de productivité permis par l'adoption de l'IA. D'une part, elles concentrent la majorité des emplois les plus complémentaires à l'IA. D'autre part, les travailleurs les plus qualifiés ont une plus grande capacité que les autres à effectuer des mobilités pour passer d'un emploi menacé à un emploi en croissance. Des professions peu qualifiées seraient également touchées, mais dans une moindre mesure.

Parmi les professions qualifiées, toutes ne devraient pas être touchées dans les mêmes proportions. Par exemple, les entreprises pourraient davantage diminuer leurs effectifs dans les professions axées sur l'écriture et la programmation, plus exposées au risque de remplacement par les modèles génératifs⁴⁸. Au-delà d'effets attendus différents selon le niveau de qualification, l'OCDE suggère que les travailleurs plus âgés ont plus tendance à être mentionnés par les employeurs comme pouvant être défavorablement concernés par le développement de l'IA⁴⁹. Ces travailleurs auraient tendance à être plus sceptiques à l'égard des technologies de l'IA, ce qui les rendrait moins enclins à s'adapter au changement et à s'engager dans des programmes de formation. Enfin, l'approche sectorielle révèle que les industries de traitement de l'information présentent une exposition élevée de leurs tâches aux modèles de fondation, tandis que l'industrie manufacturière et l'agriculture présentent une exposition bien plus faible⁵⁰.

(41) Acemoglu D. (2000), "Technical Change, Inequality and The Labor Market", *Journal of Economic Literature* : le progrès technique biaisé conduit à une augmentation de la productivité relative de la catégorie des travailleurs les plus qualifiés par rapport aux autres catégories de travailleurs, et donc à un accroissement de la demande de travail qualifié, car les technologies développées sont complémentaires avec ce dernier et plutôt substituables avec le travail non ou moyennement qualifié (en fonction des vagues d'innovations).

(42) Frey C., Osborne M. (2017), "The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?", *Technological Forecasting & Social Change*.

(43) Acemoglu D., Restrepo P. (2020), "Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets", *Journal of Political Economy*.

(44) Goldin C., Katz L. (2007), "The Race between Education and Technology: the Evolution of U.S. Educational Wage Differentials, 1890 to 2005", *NBER Working Paper Series*.

(45) Maarten G., Manning A., Salomons A. (2009), "Job Polarization in Europe", *The American Economic Review*.

(46) Ce résultat est illustré par plusieurs études dont Brynjolfsson E., Mitchell T., Rock D. (2018), "What Can Machines Learn and What Does It Mean for Occupations and the Economy?", *AEA Papers and Proceedings* ; Webb M. (2020), "The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market", *Stanford University Series Papers* ; Felten E., Raj M., Seamans R. (2019), "The effect of artificial intelligence on human labor: An ability-based approach", *Academy of Management Annual Meeting Proceedings* ; Xiang H., Reshef O., Zhou L. (2023), "The Short-Term Effects of Generative Artificial Intelligence on Employment: Evidence from an Online Labor Market", *Cesifo Working Papers*.

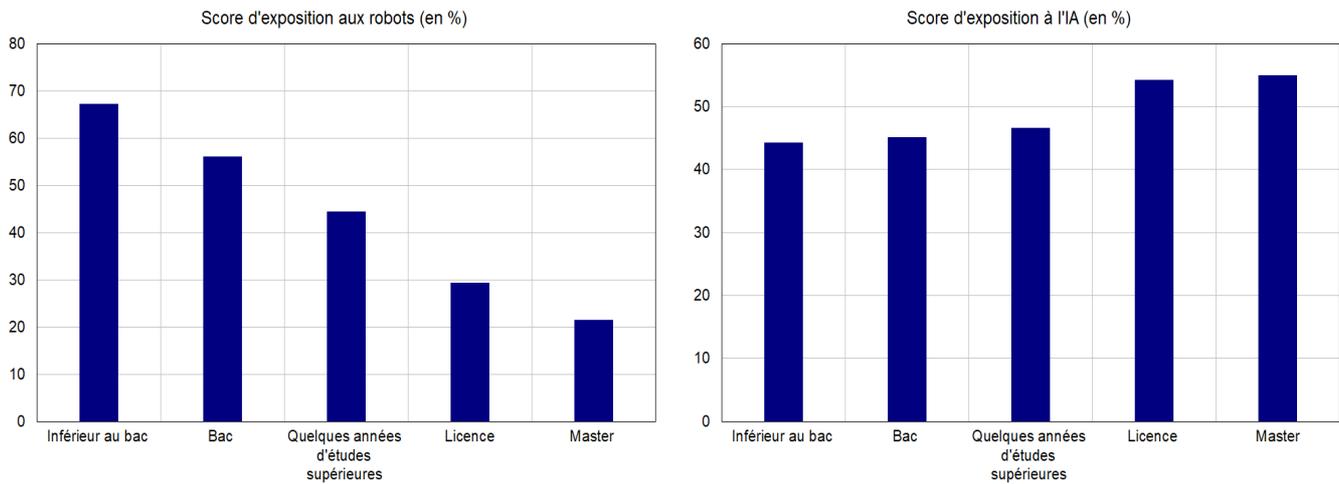
(47) Dell'Acqua F. *et al.* (2023), *op.cit.* : les auteurs parlent de « frontière technologique déchetée » ("jagged technological frontier") par l'IA, qui élargit les possibilités d'automatisation de manière non linéaire par rapport au degré de complexité des tâches.

(48) Eloundou T. *et al.* (2023), *op.cit.*

(49) Milanez A. (2023), "The impact of AI on the workplace: Evidence from OECD case studies of AI implementation", *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*.

(50) Eloundou T. *et al.* (2023), *op.cit.*

Graphique 3 : Scores d'exposition aux robots et à l'IA en fonction du niveau de diplôme aux États-Unis



Source : Webb, M. (2020), "The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market", *Stanford University Series Papers*.

Note de lecture : Le score d'exposition d'une profession à une technologie exprime l'intensité de l'activité de brevetage dans la technologie qui concerne les tâches de cette profession, appréhendées à travers la classification O*NET, fondée sur les offres d'emploi américaines. Les scores sont pondérés par l'emploi au sein de chaque catégorie de diplômes aux États-Unis en 2010.

Encadré 2 : Utilisation de l'IA et bien-être au travail

En modifiant la nature des tâches effectuées par les travailleurs, l'IA peut avoir des effets directs sur leur satisfaction ou sur leur sentiment de dignité et de fierté dans leur travail^a.

D'après de premières enquêtes^b, les salariés et les entreprises des secteurs manufacturier et financier interrogés ont une perception positive de l'effet de l'IA sur leurs conditions de travail. En considérant l'ensemble des indicateurs portant sur les conditions de travail (satisfaction au travail, santé physique, santé mentale, équité dans les pratiques de management), les utilisateurs de l'IA sont quatre fois plus susceptibles de dire que l'IA a amélioré leurs performances et leurs conditions de travail que de dire qu'elle les a détériorées. Il apparaît que l'IA permettrait aux travailleurs de se concentrer sur les tâches qu'ils préfèrent, notamment celles qui impliquent un contact avec les clients ou de la créativité.

Toutefois, d'autres études^c viennent nuancer ce constat : certains travailleurs exposés à l'IA seraient devenus moins satisfaits de leur vie et de leur travail, et plus préoccupés par la sécurité de leur emploi et par leur situation économique personnelle. Dans le secteur de la finance et dans l'industrie manufacturière, de nombreux salariés pensent que l'IA pourrait exercer une pression à la baisse sur les salaires dans les 10 ans à venir^d. Les personnes craignant que l'IA ne réduise les salaires dans leur secteur sont deux fois plus nombreuses que celles qui espèrent une augmentation. Aucun effet significatif de l'IA n'a cependant été trouvé sur la santé mentale, l'anxiété ou la dépression des travailleurs.

- Bankins S., Formosa P., Griep Y., Richards D. (2022), "AI Decision Making with Dignity? Contrasting Workers' Justice Perceptions of Human and AI Decision Making in a Human Resource Management Context", *Information Systems Frontiers*.
- Lane M., Williams M., Broecke S. (2023), "The impact of AI on the workplace: Main findings from the OECD AI surveys of employers and workers", *OECD Social, Employment and Migration Working Papers* ; Milanez A. (2023), *op. cit.*
- Giuntella O., König J., Stella L. (2023), "Artificial Intelligence and Workers' Well-Being", *IZA Discussion Papers 16485, Institute of Labor Economics (IZA)*.
- Lane M. *et al.* (2023), *op. cit.*

4. Un potentiel qui dépendra des mesures affectant le déploiement de l'IA et des politiques de formation, initiale et continue

4.1 Les politiques de formation, initiale et continue, joueront un rôle essentiel pour accompagner l'adoption de l'IA

Les pouvoirs publics ont un rôle à jouer dans la diffusion de l'IA dans la société et dans l'accompagnement de ses effets pour en optimiser le potentiel économique.

Une part importante des activités de formation à l'IA pourrait avoir lieu lors de la formation initiale. L'enseignement primaire et secondaire doit en effet permettre l'acquisition des connaissances de base en mathématiques et en informatique utiles à la compréhension de l'IA en vue de son utilisation⁵¹, tandis que les compétences spécialisées en matière d'IA nécessitent un enseignement professionnel et supérieur. Au-delà des compétences en science des données, des compétences techniques pour la gestion du calcul informatique et des données sont requises pour le développement et le déploiement des modèles d'IA. Par ailleurs, les formations associant l'IA et d'autres disciplines (e.g. santé, droit.) sont nécessaires pour appliquer des techniques d'IA dans divers champs scientifiques et industriels et accompagner la réorganisation des processus de production permettant d'en tirer pleinement les bénéfices. Enfin, le développement de compétences socio-comportementales (e.g. capacité à collaborer, esprit critique, capacité d'adaptation) dans le cadre scolaire est nécessaire pour tirer profit des gains de productivité associés à l'adoption de l'IA.

L'effet de l'IA sur l'emploi dépendra également de l'adaptation des politiques de formation continue aux

nouveaux besoins, afin de faciliter des réallocations de main d'œuvre. Cela concerne des personnes dont l'emploi serait modifié voire menacé par ce choc technologique, mais aussi celles qui peuvent acquérir de nouvelles compétences dans les métiers créés par ce choc. Les politiques de formation peuvent faciliter les mobilités professionnelles des travailleurs exposés au risque de substitution vers les secteurs plus complémentaires⁵².

Enfin, au-delà du besoin d'augmenter le temps dédié à la formation professionnelle, consubstantiel à l'adoption de nouvelles technologies⁵³, le mode de formation pourrait lui-même évoluer dans la pratique, en se fondant davantage sur des situations de travail, ce qui paraît particulièrement approprié pour l'utilisation de l'IA⁵⁴.

4.2 Les effets de l'IA sur la croissance dépendront des politiques de concurrence

Le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC) fournit un exemple de nouvelle technologie dont la diffusion et le potentiel de gains de productivité ont pu être bridés par une situation concurrentielle relativement concentrée. Historiquement, les TIC ont principalement profité à un nombre restreint d'entreprises dites « superstars » qui ont pu développer des plateformes numériques structurantes⁵⁵ ainsi qu'accumuler du capital, des données et attirer les meilleurs talents. Ces éléments ont pu constituer d'importantes barrières à l'entrée limitant l'accès des autres entreprises à la technologie et à l'innovation⁵⁶.

(51) Conditionné par une meilleure appropriation des outils par les enseignants, OCDE (2019), Résultats de TALIS 2018, France.

(52) Benhamou S., Janin L. (2018), « Intelligence artificielle et travail », *Rapport de France Stratégie*.

(53) Draca M., Sadun R., Van Reenen R. J. (2006), "Productivity and ICT: a Review of the evidence", *LSE CEP*.

(54) Benhamou S. (2022), *op. cit.*

(55) Panfili M. (2019), « Plateformes numériques et concurrence », *Trésor-Éco*, n° 250.

(56) Aghion P., Antonin C., Bunel S. (2019), "Artificial Intelligence, Growth and Employment: The Role of Policy", *Economie et Statistique / Economics and Statistics*.

De même, l'IA risque de contribuer à l'augmentation de la concentration industrielle⁵⁷ et à l'essor d'entreprises déjà « superstars », souvent non européennes⁵⁸. Les modèles d'IA les plus performants sont actuellement majoritairement développés par plusieurs grandes entreprises du numérique ou en partenariat avec elles⁵⁹. Ces grandes entreprises disposent en effet d'une avance conséquente en ce qui concerne l'accès aux ressources nécessaires au développement de ces modèles d'IA (e.g. capacités de calcul, données, main d'œuvre qualifiée), et tirent parti de leur intégration verticale tout au long de la chaîne de valeur. Ces ressources peuvent constituer des barrières à l'entrée, limitant en particulier la diffusion de la technologie et les gains économiques associés, qui seraient alors captés par ces seules grandes entreprises.

Face à ces risques, la mobilisation des outils de la politique de la concurrence (e.g. abus de position dominante, contrôle des concentrations) aura dès lors un rôle essentiel pour anticiper, identifier, et résoudre au meilleur moment les problèmes concurrentiels, comportementaux ou structurels, qui risquent d'apparaître⁶⁰. Toutefois, le caractère émergent et évolutif du marché, ainsi que les gains économiques pour le consommateur associés aux effets de réseaux et aux économies d'échelle, complexifient l'analyse coût-bénéfice. Les pouvoirs publics devront ainsi faire face à un arbitrage entre les gains immédiats pour les consommateurs et une dynamique d'innovation à long terme.

(57) Babina T., Fedyk A., He A., Hodson J. (2024), *op. cit.*

(58) Autor D., Dorn D., Katz L. F., Patterson C., Van Reenen J. (2020), "The Fall of the Labor Share and the Rise of Superstar Firms", *The Quarterly Journal of Economics*.

(59) Bommasani R., Soylu D., Liao T., Creel K., Liang P. (2023), "Ecosystem graphs: the social footprint of foundation models", *arXiv - CS - Computers and Society*.

(60) Rapport de la Commission de l'intelligence artificielle (mars 2024), « IA : notre ambition pour la France ».

Éditeur :

Ministère de l'Économie,
des Finances
et de la Souveraineté
industrielle et numérique
Direction générale du Trésor
139, rue de Bercy
75575 Paris CEDEX 12

**Directeur de la
Publication :**

Dorothee Rouzet

Rédacteur en chef :

Jean-Luc Schneider
(01 44 87 18 51)
tresor-eco@dgtresor.gouv.fr

Mise en page :

Maryse Dos Santos
ISSN 1777-8050
eISSN 2417-9620

Derniers numéros parus**Mars 2024**

- N° 340 La conduite de la politique monétaire en zone euro et aux États-Unis
Bastien Alvarez, Benjamin Cabot, Colette Debever, Raphaël Lee, Paul Mainguet, Ivan Salin
- N° 339 Perspectives mondiales au printemps 2024, une croissance modérée et inégale
Les bureaux de la DG Trésor en charge des prévisions internationales
- N° 338 Le marché unique européen, un vecteur d'intégration économique et commerciale
Samuel Adjutor, Antoine Bena, Simon Ganem

<https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/tags/Tresor-Eco>



Direction générale du Trésor



@DGTresor

Pour s'abonner à *Trésor-Éco* : bit.ly/Trésor-Eco

Ce document a été élaboré sous la responsabilité de la direction générale du Trésor et ne reflète pas nécessairement la position du ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique.