



**INSTITUT  
DE PROSPECTIVE**  
CENTRALESUPÉLEC ALUMNI

# L'impact de l'**IA** sur les compétences et le métier des ingénieurs

**Note n°1**  
Septembre 2025



# SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>Résumé exécutif</b>	<b>7</b>
<b>1. Comment l'IA transforme les entreprises et les métiers industriels</b>	<b>8</b>
1.1 Des usages qui s'imposent partout	
1.2 Disruptions : quelques industries à la loupe	
- L'industrie automobile	
- L'industrie cinématographique	
- Les industries électriques	
- Les industries de défense	
<b>2. Une révolution des métiers</b>	<b>14</b>
2.1 L'ingénieur augmenté	
2.2 Design génératif : quand l'IA libère la créativité	
2.3 Développement logiciel : les assistants ne cessent de progresser	
2.4 Le pilotage des systèmes complexes s'automatise à grande vitesse	
2.5 Maintenance : l'IA prend la main	
2.6 L'émergence de nouvelles spécialités	
2.7 Réenchanter les métiers ?	
<b>3. Des compétences bousculées</b>	<b>26</b>
3.1 Les compétences dont l'importance diminue	
3.2 Les compétences qui restent essentielles	
3.3 Les compétences dont l'importance critique est amplifiée par l'IA	
3.4 Des compétences nouvelles pour l'ingénieur	
3.5 Vers l'ingénieur hybride	
3.6 Décider : l'IA et le modèle de responsabilité	
<b>4. Les enjeux de formation, dans les entreprises et dans les écoles</b>	<b>34</b>
4.1 Une question majeure, que l'on peut aborder de plusieurs façons	
4.2 Un impératif : adapter rapidement les systèmes de formation des ingénieurs	
4.3 Les enjeux transverses	
4.4 Les réponses de formation à ces enjeux transverses	
4.5 Le cas de la formation professionnelle	
4.6 Le cycle d'ingénieur	
<b>Dix messages en conclusion</b>	<b>40</b>
Aux entreprises, aux recruteurs, aux managers	
Aux ingénieurs	
Aux élèves et étudiants	
Aux écoles d'ingénieurs	
<b>Les auteurs</b>	<b>42</b>

# INTRODUCTION

## Les usages de l'IA se multiplient et prennent de l'ampleur.

Des outils grand public d'IA générative comme Claude, Midjourney ou ChatGPT sont utilisés couramment dans la vie professionnelle, parfois sans discernement. Parallèlement les entreprises déploient des IA spécialisées dans divers domaines : conception, simulation, CRM, maintenance prédictive, documentation technique et juridique...



**Dans l'industrie, cette évolution a commencé il y a plus de vingt ans** avec l'arrivée du *machine learning*. Elle est allée s'accroissant et prend depuis 2023 l'allure d'une révolution<sup>1</sup>. Des secteurs entiers réinventent leurs façons de concevoir, d'organiser la production, de gérer les hommes et les machines. Partout, l'IA est intégrée au travail. Dans certains secteurs comme la défense ou l'automobile elle devient une composante essentielle des produits et équipements.

**L'impact de ce développement sur le travail des ingénieurs reste aujourd'hui mal évalué.** Dans les grandes enquêtes de référence, comme la série *Future of Work* de McKinsey<sup>2</sup>, cette catégorie de professionnels est souvent noyée dans la masse. Les enquêtes envisagent le travail en général, ou les organisations, ou encore des usages professionnels indiscriminés<sup>3</sup>. Les quelques livres consacrés à l'impact de l'IA sur le travail ont le même caractère très général<sup>4</sup>. Une exception est l'ouvrage récent de Marie-Laure Cahier et Pierre Quesson, mais il ne traite que des métiers du conseil<sup>5</sup>.

**Or les ingénieurs sont aux premières loges de la révolution en cours :** l'expérience qu'ils en font, l'intelligence qu'ils en ont méritent d'être mises en valeur dans le débat public. Ils sont à la fois des utilisateurs, parfois experts, de systèmes d'IA, des prescripteurs, des managers, et certains d'entre eux sont engagés dans la conception ou l'entraînement de ces systèmes.

## Comment et en quoi l'IA affecte-t-elle leur travail, comment reconfigure-t-elle leurs compétences, que devient leur expertise et comment est-elle amenée à évoluer ?

Ces questions, la presse, les dirigeants, les écoles, les ingénieurs et les élèves ingénieurs se les posent, mais on les aborde souvent de façon simpliste. Les effets sur l'emploi, par exemple, sont potentiellement massifs sur certains profils particuliers (ingénieurs informaticiens, consultants juniors), mais si l'on considère les 1,25 million d'ingénieurs en activité en France, ce n'est pas le sujet majeur. À l'inverse, dans un secteur comme le BTP qui peine à recruter dans notre pays et qui, au niveau mondial, connaît un déficit de plusieurs millions d'ingénieurs, l'IA apparaît comme une ressource inespérée.

## La présente note vise à éclairer les évolutions et les questions telles qu'elles se posent aujourd'hui, en s'appuyant sur des expertises croisées :

celles des membres du groupe qui occupent des positions variées dans l'industrie, l'enseignement, la recherche, les GAFAM ou les startups, celles de la littérature spécialisée et des cas d'usage dont nous avons constitué une bibliothèque, mais aussi celles des premiers intéressés : les ingénieurs. Une enquête qualitative lancée auprès du réseau des alumni de CentraleSupélec nous a permis de réunir une quarantaine de témoignages d'ingénieurs aux expériences variées. Le format d'une cinquantaine de pages alloué à notre étude ne permettait pas une approche exhaustive, mais nous avons fait quelques plongées sectorielles afin de comprendre, au plus près des métiers, ce qui se joue aujourd'hui et se jouera demain.

## Nos travaux montrent que les compétences-clés, celles qui sont au fondement des identités professionnelles des ingénieurs dans leurs différentes spécialités sectorielles, ne sont pas menacées par l'essor rapide de l'IA.

Bien au contraire, elles peuvent se déployer plus librement : l'idée du « travail augmenté » chère à Luc Julia<sup>6</sup> n'est nulle part plus visible que dans les métiers d'ingénieurs.

## L'IA les libère des tâches bureaucratiques et leur permet de se concentrer sur l'essentiel.

C'est une révolution à bas bruit. Car dans des bureaux où les fonctions d'assistants et de secrétaires ont disparu au fil du temps, l'inflation des règles et normes, l'augmentation continue des flux d'échanges ont fini par parasiter le travail des ingénieurs.

**Mais elle bouscule aussi le cœur du métier.** La nature du travail change rapidement et la palette des compétences évolue : entre celles qu'il faudra acquérir et celles dont la pertinence s'efface rapidement, un grand remue-ménage est en cours, qui se joue à la fois à l'échelle individuelle, à celle des équipes, à celle des entreprises.

## L'objectif de cette note est de faire des hypothèses sur les évolutions à court et moyen terme.

Le long terme étudié par la prospective est hors de portée dans un domaine où chaque trimestre apporte son lot de percées et de ruptures. Mais dans cet environnement mouvant il est possible de trouver prise et d'accueillir le changement en étant préparé à en tirer le meilleur.

**La note comprend des recommandations**, afin de permettre aux décideurs (managers, DRH, recruteurs, acteurs de la formation professionnelle et continue, écoles, commission des titres d'ingénieurs, ministères) mais aussi aux ingénieurs eux-mêmes de mieux s'orienter et de construire des stratégies en prise sur cette évolution majeure.

1. Sur la perception immédiate d'une accélération foudroyante en 2023, voir *MIT Technology Review*, « The great acceleration: CIO Perspectives on Generative AI », 2023.

2. McKinsey, *A New Future Of Work: The Race to Deploy AI and Raise Skills in Europe and Beyond*, 2024.

3. Voir par exemple Magellan, *Baromètre IA : Usages pros et persos en France décryptés*, 2024.

# RÉSUMÉ EXÉCUTIF

**L'ingénieur n'est pas remplacé mais plutôt « augmenté » par l'IA, qui devient un collaborateur efficace et pertinent.**

- L'IA automatise un nombre croissant de tâches, en particulier celles qui sont répétitives, basées sur des règles bien définies, ou qui impliquent le traitement de grandes quantités de données ou de documentation.
- Elle peut agir comme un outil d'augmentation des capacités de l'ingénieur car elle fournit des analyses plus rapides, offre des simulations plus complexes, prédit plus précisément, et propose des analyses issues de données auparavant inexploitable.
- Sauf dans quelques segments — développeurs, consultants juniors — les spécialistes n'attendent pas un impact majeur sur l'emploi des ingénieurs. Dans un contexte de pénurie de talents et de compétition internationale, l'IA apparaît plutôt comme une ressource.

**L'évolution vers l'ingénieur augmenté s'accompagne d'un déplacement du rôle des ingénieurs. Dans certaines spécialités l'IA s'installe au centre des process et de la prise de décision.**

- Les ingénieurs devront apprendre à travailler avec des systèmes intelligents capables de prendre des décisions techniques, évaluer des risques ou optimiser des processus de manière autonome.
- Si cela atrophie certains espaces décisionnels des ingénieurs, cela amène aussi de nouvelles responsabilités : superviser des IA, interpréter leurs choix, garantir l'éthique et la transparence de leurs actions.

**La collaboration homme-machine transforme l'ingénieur en pilote d'écosystèmes hybrides. La diffusion massive de l'IA a un impact sur la responsabilité des ingénieurs.**

- Les ingénieurs sont en première ligne pour construire et entraîner les IA spécialisées qui vont façonner une partie du monde de demain.
- Prendre une décision, c'est de plus en plus s'appuyer sur un diagnostic et des choix établis avec le renfort d'une IA. Il convient donc de savoir avec qui – en l'occurrence avec quoi – on travaille, de connaître les forces, les limites, les biais cognitifs de ce nouveau collaborateur.

**Les compétences hybrides deviennent le nouveau standard.**

- La connaissance approfondie d'un domaine spécifique reste absolument fondamentale.
- Mais la maîtrise des principes et des usages de l'IA devient aussi essentielle que la connaissance des sciences dures.
- La pensée critique, la capacité d'analyse et de synthèse approfondies, le cadrage de problèmes ambigus, la



pensée systémique et l'intégration de solutions IA dans des contextes complexes deviennent des compétences clés. Une priorité est d'apprendre à distinguer la valeur ajoutée et les limites des nouveaux outils.

**L'ampleur des transformations des métiers et des compétences induites par l'IA rend impérative une adaptation profonde et rapide des systèmes de formation initiale et continue des ingénieurs.**

- Les métiers ne disparaîtront pas mais muteront profondément, exigeant des profils techniques, adaptables, dotés de solides compétences en analyse critique et en interaction avec l'IA.
- Les cursus traditionnels d'ingénierie, même les plus réputés, doivent être revus pour intégrer de manière transversale ou via des spécialisations dédiées les fondamentaux de l'intelligence artificielle, de la science des données, de la programmation et des compétences associées.
- L'élargissement du socle scientifique lié à l'IA amène de nouvelles compétences généralistes que tous les ingénieurs devront comprendre ou posséder à l'image du socle mathématiques enseigné en prépa : littérature / culture des données, ingénierie des prompts, gestion du cycle de vie des modèles d'IA, connaissance des principes de l'IA et du machine learning.



4. Tout récemment : Ethan Mollick, *Co-intelligence. Vivre et travailler avec l'IA*, First, mars 2025.

5. Marie-Laure Cahier et Pierre Quesson, *Travailler avec les IA génératives. Outil bureautique ou game-changer ? Enquête dans les métiers du conseil*, Presses des Mines, mai 2025.

6. Luc Julia, *L'intelligence artificielle n'existe pas*, First, 2019.

# 1. COMMENT L'IA TRANSFORME LES ENTREPRISES ET LES MÉTIERS INDUSTRIELS

Il y a une vingtaine d'années, l'IA qu'on appelait encore **machine learning (apprentissage automatique)** faisait son entrée dans différentes industries, à la faveur de la transformation numérique qui s'y amorçait. Ce mouvement s'est fortement accéléré il y a une dizaine d'années avec l'avènement de l'apprentissage profond à base de réseaux de neurones artificiels (on parle alors de **deep learning** ou **apprentissage profond**), puis depuis trois ans l'IA générative et les grands modèles généralistes à base de **transformers**.

Même si son déploiement est loin d'être achevé, l'IA est aujourd'hui opérationnelle dans la plupart des secteurs. Avant de zoomer sur quelques cas spécifiques, nous pouvons identifier des cas d'usages transverses à de nombreuses industries.

## 1.1 Des usages qui s'imposent partout

**Le premier usage transverse est l'automatisation des tâches chronophages ou répétitives.** Par exemple l'IA traite automatiquement les e-mails entrants grâce au traitement du langage naturel. Elle analyse des données financières ou clients à grande échelle, générant des rapports sans intervention humaine. Les *chatbots* répondent aux questions les plus fréquentes des clients 24/7. L'IA peut planifier des rendez-vous ou classer des documents.

**Le second est la gestion de projet.** L'IA facilite et améliore la gestion de projet en analysant les données pour prévoir les risques et retards potentiels. Elle aide à optimiser la répartition des ressources en fonction des priorités. Des assistants virtuels automatisent la planification et les rappels de tâches. L'IA permet aussi un suivi en temps réel des indicateurs de performance. Enfin, elle améliore la prise de décision grâce à des recommandations basées sur des données historiques<sup>1</sup>.

**Le troisième est le vaste ensemble des métiers de la conception.** Dans leur version industrielle où il s'agit de concevoir des produits ou systèmes, la conception générative explore automatiquement des milliers de solutions possibles à partir de critères définis<sup>2</sup>. Elle propose des designs innovants optimisés pour le coût, la performance ou l'impact environnemental. Les ingénieurs peuvent ainsi tester rapidement plusieurs options virtuelles. L'IA réduit les délais de prototypage en identifiant les formes les plus efficaces. Elle favorise aussi la créativité en suggérant des configurations inédites difficiles à concevoir manuellement. Dans les métiers de la conception logicielle, l'IA analyse les logs<sup>3</sup> et réduit ainsi les itérations, accélérant le cycle de développement<sup>4</sup>.

**Le quatrième est la simulation.** L'IA permet de simuler des comportements complexes dans des environnements

virtuels<sup>5</sup>. Elle est utilisée pour tester des scénarios sans risques réels, comme la conduite autonome ou les réactions à des crises. En modélisant des systèmes physiques ou humains, elle anticipe les résultats de décisions. Cela aide à optimiser les processus industriels ou logistiques. Enfin, la simulation par IA accélère l'innovation en validant des hypothèses avant les essais réels.

**Le cinquième est la maintenance prédictive.** L'IA analyse les données des machines pour identifier et classifier les risques de défaillance. Elle permet d'intervenir de manière optimale avant qu'une panne ne survienne, réduisant ainsi les arrêts de production et permettant d'optimiser la gestion du parc de machines, réduisant ainsi les coûts et augmentant la disponibilité opérationnelle<sup>6</sup>. Grâce à des capteurs et à l'apprentissage automatique, elle identifie des anomalies difficilement détectables, voire invisibles à l'œil humain. Cela optimise les coûts d'entretien et prolonge la durée de vie des équipements. Enfin, elle améliore la sécurité en anticipant les risques techniques.

**Le sixième est la cybersécurité.** L'IA la renforce en détectant automatiquement les comportements suspects sur les réseaux. Elle analyse en temps réel des volumes massifs de données pour identifier les menaces. Elle réagit plus vite qu'un humain en cas d'intrusion ou de virus. Grâce à l'apprentissage automatique, elle s'adapte aux nouvelles formes d'attaques. Enfin, l'IA peut automatiser la réponse.

**La simple existence de la technologie ne garantit pas son succès dans l'organisation qui la déploie.** Nous le verrons, plusieurs facteurs critiques conditionnent la réussite de l'implémentation de l'IA. Vouloir l'adopter sans se transformer en profondeur, c'est comme si les industriels du xix<sup>e</sup> siècle souhaitaient bénéficier des apports de l'électricité sans investir dans l'infrastructure électrique et former leur personnel au préalable.



## LES PRINCIPAUX MODÈLES D'IA



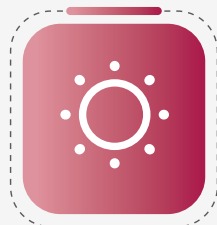
Ces modèles sont utilisés dans de nombreux métiers ; on pointera ici spécifiquement leurs usages en ingénierie. Point important : plus que des modèles isolés, ce sont des « *building blocks* » dont les différents étages forment une solution complète.

Les **réseaux de neurones profonds** (*deep neural networks*, DNNs) sont utilisés en ingénierie prédictive, en contrôle qualité, mais aussi dans la finance, pour classification, régression, séries temporelles.

Les **réseaux de neurones convolutifs** (*convolutional neural networks*, CNNs) sont utilisés pour le traitement d'image et de vidéos dans l'inspection visuelle, la vision industrielle (l'application de la vision par ordinateur aux domaines industriels de production et de recherche), la robotique.

Les **réseaux de neurones récurrents** (RNNs) permettent de traiter des données séquentielles (texte, séries temporelles, données issues de capteurs). Ils sont utilisés dans la maintenance prédictive, le contrôle de processus, la prévision de la demande.

Les **modèles de transformers** sont utilisés pour le traitement du langage naturel, la vision (reconnaissance d'image), mais aussi le traitement de séries temporelles. Ils sont au cœur des *chatbots* industriels, des outils de traitement



de la documentation technique, mais servent aussi à la détection d'anomalies. Un *transformer* est un modèle d'architecture de réseau neuronal qui transforme ou modifie une séquence d'entrée en séquence de sortie. Pour ce faire, le *transformer* utilise une représentation mathématique interne qui identifie les relations entre tous les composants de la séquence : on peut dire qu'il « apprend » le contexte. Les *transformers* sont notamment utilisés dans la conception des *large language models* (LLM), et ils ont été appliqués à un large éventail de tâches dans le domaine du machine learning et de l'IA. Le concept a été introduit en 2017 par des chercheurs de Google dans un article séminal<sup>1</sup>, qui a contribué au boom de l'IA.

Les **modèles de forêts aléatoires** (*random forest*) sont des algorithmes d'apprentissage automatique qui basés sur l'assemblage d'arbres de décision (d'où le terme *forest*). Ils sont utilisés pour des tâches de classification, de régression, ou même de détection d'anomalies et de défauts. Ils sont utilisés aussi par les ingénieurs pour

construire des modèles explicatifs — des modèles statistiques utilisés pour expliquer ou interpréter les relations entre différentes variables dans un système donné : ils visent à fournir des informations détaillées et des justifications sur la manière dont les décisions ou les prédictions sont faites, ce qui peut aider à optimiser les processus en comprenant les relations entre les paramètres et la sortie, à améliorer la maintenance préventive en identifiant les variables qui influencent la défaillance d'un équipement, et plus généralement à faciliter la prise de décision en fournissant des informations sur l'impact de chaque facteur dans un système.

Les **modèles de fusion de données** servent à intégrer et combiner des données provenant de différentes sources afin de produire une information plus précise, cohérente et complète.

Les **réseaux génératifs** sont utilisés dans la simulation (de défauts notamment), le prototypage, la détection d'anomalies. Les IA génératives grand public sont également utilisées par les ingénieurs.

L'**apprentissage par renforcement** (*reinforcement learning*) est utilisé en robotique et en automatique industrielle ; il permet d'optimiser les actions d'une machine (virtuelle ou physique) dans un environnement dynamique. On l'utilise aussi dans le contrôle de procédés.

1. Dorothea Adamantiadou et Loukas Tsironis, « Leveraging Artificial Intelligence in project management: a systematic review of applications, challenges, and future directions », *Computers*, 14(2), février 2025.

2. Leah Chong, I-Ping Lo, Jude Rayan, Steven Dow, Faez Ahmed and Ioanna Lykourantzou, *Prompting for Products: Investigating Design Space Exploration Strategies for Text-to-Image Generative Models*, Cambridge University Press, 2025.

3. Log : un document créé par un programme ou un système d'exploitation, qui constitue un historique des activités liées à l'utilisation de ce programme ou ce système.

4. Chandra Gnanasambandam, Martin Harrysson et Rikki Singh, « How an AI-enabled software product development life cycle will fuel innovation », McKinsey & Company, 10 février 2025.

5. Ruizhi Zhang, Shengfeng Zhu, Kan Wang, Ding She, Jean-Philippe Argaud, Bertrand Bouriquet, Qing Li et Helin Gong, « Artificial Intelligence in reactor physics: current status and future prospects », *Arxiv*, 2025.

6. Amin Ifra, « AI-Powered predictive maintenance in manufacturing », Alphabold, janvier 2025.

7. Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan Gomez, Łukasz Kaiser, et Illia Polosukhin, « Attention is all you need », 31<sup>st</sup> Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), décembre 2017.



## 1.2 Disruptions : quelques industries à la loupe

L'arrivée de l'IA prend dans certains secteurs un caractère profondément disruptif, comme le montrent nos deux premiers exemples, l'industrie du cinéma et celle de l'automobile, deux secteurs modifiés en profondeur dans leurs cycles de conception et de production. Mais ce sont aussi les produits eux-mêmes qui se transforment à grande vitesse. Le bouleversement se joue enfin dans le champ concurrentiel, avec l'émergence de nouveaux acteurs remettant en cause la domination d'entreprises qui pendant des décennies avaient pu s'appuyer sur des savoir-faire difficiles à acquérir.

### ➤ L'industrie automobile

La transformation a commencé dans les années 2000, quand l'informatisation des véhicules a permis les premiers systèmes d'assistance à la conduite (régulation automatique de distance, aide au maintien de voie). L'accélération des progrès en perception artificielle, l'amélioration, la miniaturisation et la banalisation des capteurs (caméras, radars, capteurs à ultrasons, scanners laser) ont ensuite permis l'avènement des systèmes avancés d'aide à la conduite. Ceux-ci équipent désormais toutes les gammes de véhicules, offrant des niveaux toujours plus élevés d'automatisation de la conduite, pour plus de sécurité et de confort : du parking automatisé à la conduite entièrement autonome à faible vitesse sur autoroute (automatisation dite de niveau « L3 »), homologuée sur quelques véhicules haut de gamme.

Les innovations permises par l'apprentissage profond modifient la façon de concevoir, construire, tester et opérer les véhicules. Le nombre et la complexité des capteurs embarqués, les ressources informatiques spécifiques aux modèles d'IA qui en analysent les signaux en temps réel, l'unification des fonctions de perception, de localisation, de prédiction et de contrôle, tout cela nécessite de revoir entièrement l'architecture électronique et informatique du véhicule. Les innombrables unités de contrôle dispersées dans la voiture ont cédé la place à un petit nombre de calculateurs et d'accélérateurs<sup>1</sup> puissants, centralisés, dédiés aussi bien aux aides à la conduite qu'aux fonctionnalités d'*infotainment* dans l'habitacle, elles-mêmes boostées à l'IA.

La vitesse des progrès en matière d'IA est sans commune mesure avec les temps longs présidant aux cycles de l'industrie automobile (quatre ans avant la production, plus de dix ans d'utilisation ensuite). Mettre à jour ces nouveaux composants logiciels après la mise sur route des véhicules est donc nécessaire et se fait souvent *over the air* (OTA). Classique dans le monde du logiciel sur ordinateur ou téléphone, cette maintenance à distance est une nouveauté radicale dans l'automobile.



L'IA embarquée pour assurer ces fonctions hautement critiques apporte aussi de nouveaux défis techniques en termes de validation et d'homologation. Un modèle d'IA n'est pas un logiciel classique : il implémente une fonction complexe apprise et non programmée, dont les performances en conditions réelles ne peuvent être prévues avec certitude. Elles dépendent des données d'entraînement, de la méthode d'apprentissage et de l'architecture du modèle. Des campagnes intensives de validation, en simulation, sur piste et sur route sont nécessaires pour évaluer empiriquement les performances dans le domaine d'opération visé, situations rares comprises, ainsi que dans des conditions hors de ce domaine.

L'IA commence à changer en profondeur la façon dont certains ingénieurs de l'automobile travaillent au quotidien. En occupant une place grandissante dans les fonctions du véhicule, l'IA modifie sa conception, sa production et sa maintenance.

Le développement de logiciels embarqués est un exemple emblématique de cette mutation. Avec la présence massive de code au sein de la voiture, l'ingénierie logicielle joue désormais un tel rôle que l'on parle de *software-designed vehicle* (SDV). La production de code en volume et complexité croissants, sous contraintes fortes de fiabilité et d'embarquabilité, s'appuie aujourd'hui sur de puissants assistants de code. Issus de la spécialisation de grands modèles de langage (LLM), ces outils permettent, *via* une interaction en langage naturel, d'écrire, modifier ou compléter du code, de produire de la documentation ou des tests unitaires, d'optimiser, transcoder ou débbuger, etc. Que ce soit *via* le recours à un *chatbot* généraliste ou l'utilisation d'assistants de code intégrés aux environnements de développement, le travail et la productivité des équipes logicielles ont changé de façon substantielle chez les équipementiers et les constructeurs.

1. Ces accélérateurs sont des unités matérielles spécialisées capables d'exécuter certains calculs beaucoup plus rapidement que les processeurs généralistes (CPU). Ce sont des GPU (Graphics Processing Unit), DSP (Digital Signal Processor), NPU (Neural Processing Unit) ou autres puces spécialisées qui traitent efficacement des tâches lourdes comme la vision par ordinateur (caméras, radars, lidar), l'intelligence artificielle embarquée (détection d'obstacles, reconnaissance de panneaux), ou encore les calculs nécessaires aux aides à la conduite.

2. Eve Morel, « Quel est l'état du marché du jeu vidéo en France et quelles sont ses perspectives d'avenir ? » Natixis, *Wealth & Beyond*, 2 octobre 2024.



**Mais la voiture reste un bien physique, composé d'innombrables pièces et systèmes.** Un système en apparence aussi banal qu'un phare est désormais constitué d'une matrice toujours plus dense de LED, contrôlées individuellement et dont il faut éviter l'échauffement sous peine de pertes de performance, le tout placé à l'intérieur d'un bloc plastique différent pour chaque constructeur et soumis à des variations drastiques de température en fonction des conditions.

**Le pilotage d'un phare embarque désormais de l'IA, et sa conception également.** Comme pour tout système multi-physique complexe, sa conception a longtemps consisté en des allers-retours entre les départements d'ingénierie et ceux de simulation pour tester la version courante du design. Les récents progrès du « design génératif » à base d'IA bouleversent ce paradigme. Des réseaux de neurones permettent désormais de prédire, avec une précision suffisante, et de façon rapide et différentiable relativement aux données d'entrée (géométries, conditions au bord et initiales), les quantités physiques d'intérêt à la place des solveurs classiques. Cela permet d'automatiser la boucle itérative de recherche et d'affinage du design. Non seulement la conception s'en trouve grandement accélérée mais elle peut en plus aboutir à des designs complètement nouveaux. Cela s'applique à la conception de radiateurs, de batteries, d'éléments de carrosserie, etc.

## ➤ L'industrie cinématographique

**Dans le monde bien différent de l'industrie cinématographique, la mutation a commencé dans les années 2000.**

La production d'un film est un processus lourd en termes organisationnels et techniques, conduit sous contraintes financières et temporelles très strictes. L'intégralité de cette chaîne, de la préproduction à la postproduction (et à la distribution) a entamé une mutation profonde avec le passage complet au numérique.

**L'avènement de l'apprentissage profond puis des modèles génératifs a accéléré cette mutation,** tant sur le front créatif que dans les étapes les plus techniques. La production et la post-production des images et des sons mobilisent désormais un outillage informatisé où l'IA joue un rôle majeur. Ces nouveaux outils s'invitent dès le tournage pour aider à contrôler en temps réel les trajectoires et les paramètres des caméras, contrôler l'éclairage, visualiser en temps réel l'insertion des éventuels éléments synthétiques.

**C'est en postproduction que l'apport de l'IA est le plus spectaculaire.** L'automatisation s'invite dans l'étalonnage, le montage, le design sonore et le bruitage, le remplacement de dialogue et le doublage. Dans les métiers de l'animation, lorsque tout ou partie du contenu est généré par ordinateur,

cela est fait avec un workflow dédié dont les étapes traditionnelles (modélisation, animation, rendu) bénéficient chaque jour davantage des avancées de l'IA générative.

**D'autres tâches sont automatisées, avec des gains massifs de temps et de qualité à la clé :** le *rotoscoping* (détourer et suivre avec précision un élément pour le modifier, l'effacer, le déplacer), l'*inpainting* (faire disparaître un élément indésirable), le *digital makeup* (modifier un visage), le *double numérique* d'un acteur, le *compositing* (combinaison d'éléments réels et virtuels dans une même scène).

**Certaines de ces tâches sont au cœur de l'industrie du jeu vidéo,** avec des enjeux techniques et commerciaux significatifs quand on sait que c'est désormais la première industrie culturelle mondiale, avec un chiffre d'affaires de 168 milliards d'euros en 2023, dont 6,1 milliards d'euros en France<sup>2</sup>).

## ➤ Les industries électriques

**Certaines applications de l'IA s'appliquent particulièrement bien à l'énergie : c'est le cas de la simulation des phénomènes complexes et de la maintenance prédictive.** La première s'applique à des environnements comme le cœur d'un réacteur nucléaire<sup>3</sup>, la dynamique des fluides (éoliennes ou hydraulique), ou la modélisation d'un réseau électrique. La maintenance prédictive s'est imposée pour les matériels très capitalistiques dans les réseaux ou la production : transformateurs, disjoncteurs, turbines, générateurs de vapeurs, condenseurs, éoliennes, barrages hydroélectriques, pompes, capteurs...

**Les métiers de l'ingénierie électrique peuvent se classer en quatre catégories : la production, les réseaux, le management de l'énergie et la relation client.** Tous ces métiers sont ou seront impactés par l'IA.

**Dans la production, l'IA permet l'analyse d'images pour la détection de fissures.** L'inspection d'infrastructures par drone génère de grandes quantités d'images. L'IA les analyse automatiquement et y détecte des défauts parfois millimétriques.

**On voit aussi se développer un diagnostic industriel assisté par IA.** Des systèmes comme ceux développés par Métroscope (issu d'EDF R&D) utilisent des algorithmes de *machine learning* pour analyser en continu les données des capteurs sur des équipements complexes comme le circuit secondaire des centrales nucléaires, pour anticiper des défaillances.

**Dans les réseaux, l'IA permet d'anticiper les aléas.** Le projet Windy d'Enedis utilise l'IA pour analyser les prévisions météo et les données du réseau afin d'anticiper les impacts des tempêtes (zones à risque, équipements vulnérables) et optimiser le travail des équipes d'intervention.

3. Yuan Yin, Vincent Le Guen, Jérémie Dona, Emmanuel de Bézenac, Ibrahim Ayed, Nicolas Thome, Patrick Gallinari, « Augmenting physical models with deep networks for complex dynamics forecasting », The Ninth International Conference on Learning Representations & *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2021 (publication du laboratoire SINCLAIR (pour « Saclay INdustrial Collaborative Laboratory for Artificial Intelligence Research »), laboratoire industriel commun en intelligence artificielle, créé en 2020 par EDF, Thales et TotalEnergies sur le site d'EDF Saclay).

### L'IA permet aussi une modélisation fine des pertes réseau.

Par exemple, Enedis utilise du *machine learning* pour analyser une multitude de données (flux, topologie, historique, etc.) et modéliser plus précisément les pertes techniques et non techniques sur le réseau de distribution, afin de mieux cibler les actions correctives.

**Dans le management de l'énergie, l'IA permet d'améliorer les prévisions complexes<sup>4</sup>.** La précision des prévisions essentielles (météo, consommation, production ENR intermittente, prix de marché) est améliorée par l'utilisation de *machine learning* et *deep learning* capables de capturer des relations non linéaires complexes.

**L'IA permettra aussi une optimisation du trading d'énergie.** Les optimisations mathématiques sont de plus en plus alimentées par des prévisions issues de l'IA (prix, volatilité) ou combinées à des approches d'apprentissage par renforcement.

**L'IA ans optimise aussi la relation client.** Elle permet déjà des interventions plus efficaces<sup>5</sup> : chez Enedis, 15 000 déplacements inutiles ont été évités en un an. Elle permettra bientôt de personnaliser l'analyse de consommation et le conseil. Les outils destinés aux clients s'appuieront sur l'analyse des données de consommation pour fournir une meilleure compréhension des usages, identifier des anomalies ou des potentiels d'économie, et proposer des conseils personnalisés allant au-delà de simples statistiques.

**Une gestion de projet boostée à l'IA pourrait rapidement être rentabilisée sur des programmes d'envergure comme les six réacteurs EPR2 français,** dont le coût total a été estimé par EDF à 67,4 milliards d'euros en 2023 (hors coûts de financement).

**L'IA est indispensable pour anticiper la décentralisation croissante du système électrique.** Elle pourra notamment quantifier la production renouvelable locale (solaire en toiture, éolienne isolée), mais aussi optimiser la charge et décharge des systèmes de stockage locaux, avec un intérêt croissant pour la gestion intelligente de la charge des véhicules électriques<sup>6</sup>.

**L'IA pourra améliorer la stabilité et la sécurité du réseau en temps réel.** RTE travaille sur Apogée<sup>7</sup>, un assistant intelligent pour les dispatchers (les agents qui pilotent le réseau au niveau régional et national). Cette IA permettra de hiérarchiser les informations et alertera sur les événements les plus pertinents à venir en termes de prise de décision.

**L'IA peut permettre le déblocage de capacité de transport d'énergie :** en combinant les capteurs d'états des lignes et les conditions météo, un modèle d'IA peut gérer dynamiquement les lignes (DLR - *Dynamic Line Rating*). L'Agence

Internationale de l'Energie souligne cette économie qui contribuera à mieux intégrer les renouvelables et à gérer la croissance de la demande<sup>8</sup>.

**L'usage de l'IA accroît la tension entre innovation et prudence.** La transition énergétique ou la recherche de rentabilité peuvent inciter à se tourner rapidement vers elle. La criticité des infrastructures et le cadre réglementaire incitent à la prudence, à privilégier des cycles de validation longs et à une adoption maîtrisée des nouvelles technologies. L'IA Act de l'Union européenne classe d'ailleurs les systèmes d'IA agissant sur les infrastructures critiques comme à haut risque.

## ➤ Les industries de défense

**L'IA est devenue une composante essentielle des équipements et systèmes de défense.** Elle est notamment utilisée dans les systèmes embarqués, qui renforcent l'intelligence et l'autonomie des équipements militaires. Elle est utilisée pour améliorer les systèmes de navigation et de communication des véhicules blindés, des sous-marins et des drones.

**L'intégration de l'IA vise à améliorer l'efficacité, la précision et la réactivité des systèmes d'armes.** Elle permet aussi une aide à la décision, en aidant à gérer la croissance exponentielle des informations issues des capteurs.

**Cette révolution dans les produits et services des industriels de la défense permet le développement de nouveaux équipements ou de nouvelles fonctionnalités.** Elle voit l'apparition d'acteurs spécialisés dans l'IA de défense (Preligens, Helsing), mais aussi, chez les grands industriels, le développement de compétences spécifiques au sein de départements dédiés.

**Un premier ensemble d'innovations est l'essor de la robotique et des systèmes d'armes autonomes ou semi-autonomes :** drones armés, missiles intelligents, robots.

**Les IA permettent aux drones de reconnaître des cibles, de naviguer de manière autonome et de prendre des décisions en temps réel.** Thales a développé le Neural Processor, un processeur embarqué capable d'analyser en temps réel les images capturées par le pod Talios (un système optronique d'identification et ciblage à longue portée utilisé pour la reconnaissance aérienne et le ciblage) qui équipe le Rafale. Cette IA permet une analyse 100 fois plus rapide qu'auparavant, facilitant ainsi une prise de décision plus rapide en mission.

**Les missiles intelligents sont capables d'ajuster leur trajectoire en vol selon les changements environnementaux ou tactiques.** Safran Electronics & Defense a ainsi introduit

4. Amandine Pierrot et Yannig Goude, « Short-term electricity load forecasting with generalized additive models », *Proceedings of ISAP Power*, 2011 ; Joseph de Villemarest et Olivier Wintenberger, « Stochastic online optimization using Kalman recursion », *Journal of Machine Learning Research*, 2021.

5. Enedis, Programme de R&D et d'Innovation, s. d.

6. EDF, « Comment fonctionne la technologie V2G ? », 18 décembre 2024.

ACE, un moteur cognitif avancé qui utilise des réseaux de neurones récurrents pour améliorer la détection, la classification et l'identification des cibles, tout en compensant les effets des conditions environnementales telles que la turbulence atmosphérique ou la faible luminosité.

**Les robots de reconnaissance, de neutralisation d'engins explosifs, ou de transport logistique** utilisent l'IA pour naviguer de manière autonome ou coopérative sur le terrain. Preligens, acquis par Safran en 2024, a développé des réseaux de neurones convolutifs capables d'identifier automatiquement des objets d'intérêt militaire (typiquement, des véhicules) à partir d'images satellites commerciales ou publiques.

**Un deuxième ensemble d'innovations concerne les systèmes de surveillance, de reconnaissance et de renseignement**, avec des IA d'analyse d'image et des modèles de fusion de données multisources. L'IA permet une analyse automatisée d'images satellites ou de vidéos de drones. Elle détecte des objets, identifie des comportements suspects et signale les menaces potentielles.

**L'IA est capable d'analyser d'énormes volumes de données en temps réel provenant de capteurs, de drones, de réseaux de communication et de sources de renseignement**, et donc de permettre de déceler des schémas et des menaces que les opérateurs humains pourraient manquer. L'IA permet d'ingérer des informations sur la position des troupes alliées ou ennemies, la topographie du terrain, les conditions météorologiques et la disponibilité des ressources. Elle peut alors proposer diverses options tactiques ou stratégiques, ou prédire les mouvements probables de l'adversaire en se fondant sur ses comportements passés.

**Troisième ensemble d'innovations, les domaines conjoints de la simulation et de l'entraînement**, où l'IA est un *game-changer* avec l'élaboration de scénarios dynamiques et d'opposants virtuels intelligents.

**L'IA enrichit les environnements virtuels réalistes** en transformant l'entraînement des forces afin de permettre une



préparation à des situations complexes et évolutives. Plutôt que de simples simulations statiques, l'IA génère des scénarios dynamiques qui évoluent en temps réel en fonction des actions des personnels en formation.

**Les opposants virtuels intelligents s'appuient sur des algorithmes d'IA afin de pouvoir évoluer de façon autonome et s'adapter en temps réel aux activités réalisées par les personnels en formation.** Ces CGF (*computer generated forces*) ne se contentent plus de suivre des scripts préprogrammés, mais s'adaptent et réagissent de manière réaliste. Ils peuvent simuler

des forces ennemies avec des doctrines tactiques variées, des capacités d'analyse de terrain et de renseignement, et même des comportements individuels inspirés de techniques de combat réelles.

**Enfin, des usages transverses de l'IA sont particulièrement utiles aux forces armées :** automatisation de la gestion des ressources, cybersécurité, maintenance prédictive.

**Le secteur de la défense, très intensif en technologie, est un de ceux où naissent les produits et services du futur**, comme l'illustre la liste des innovations, du GPS à Internet, surgies dans le cadre de la DARPA américaine. La révolution des produits et équipements qui se joue aujourd'hui pointe une évolution générale vers l'autonomie, les systèmes embarqués, l'automatisation de la gestion des équipements, ainsi que des systèmes d'aide à la décision qui peuvent dans certains cas ne mobiliser la décision humaine qu'en dernier ressort, et à titre exceptionnel.

**À ce titre les ingénieurs de la défense sont en pointe dans l'élaboration du monde de demain ; les IA qu'ils utilisent ou qu'ils intègrent aux objets et systèmes qu'ils conçoivent contribuent à façonner ce monde.** Il convient donc d'examiner de plus près la façon dont ces IA bousculent et réinventent le métier d'ingénieur.

7. RTE, Innover pour préparer le réseau du futur, s. d.

8. Oskar Kvarnström, Alessio Scanziani, Rena Kuwahata et Jacques Warichet, « Grid congestion is posing challenges for energy security and transitions », IEA, 25 mars 2025.

## 2. UNE RÉVOLUTION DES MÉTIERS

L'arrivée de l'IA est un *game changer* dans de nombreux métiers d'ingénieurs, notamment ceux liés au développement et à l'exploitation des systèmes complexes. Mais ses usages s'imposent partout : dans l'aide à la conception avec le design génératif, l'aide à la décision, la modélisation, sans oublier ainsi les tâches de support, comme la gestion de la documentation technique, où l'IA peut apporter une aide considérable.

Nous utiliserons ici le terme d'ingénieur tel qu'on l'emploie dans un contexte français. En France, le titre d'ingénieur est protégé par la loi et il est réservé à ceux qui ont obtenu un diplôme d'ingénieur délivré par une école habilitée par la Commission des titres d'ingénieur (CTI). En France, l'ingénieur est perçu comme l'équivalent d'un master scientifique appliqué, avec une formation managériale. Dans les pays anglophones, un *engineer* peut avoir un *bachelor* seulement. Au Royaume-Uni un technicien en maintenance (niveau BTS ou bac +3) sera appelé « *maintenance engineer* ». Aux États-Unis un *software engineer* peut n'avoir fait que trois ans d'études.

La CTI définit un ingénieur à travers les compétences qu'il est censé maîtriser à l'issue de sa formation, plutôt que par une définition purement théorique ou disciplinaire. Principales compétences :

- 1 **Mobiliser** un large spectre de connaissances scientifiques et techniques pour résoudre des problèmes complexes dans des contextes variés.
- 2 **Concevoir, dimensionner, mettre en œuvre et valider** des solutions techniques dans un cadre économique, social, éthique et environnemental.
- 3 **Manager** des projets, coordonner des équipes, gérer des ressources, piloter l'innovation.
- 4 **Communiquer** efficacement à l'oral et à l'écrit, en français comme en langues étrangères, et dans un environnement multiculturel.
- 5 **Agir** avec responsabilité, dans une logique de développement durable et de responsabilité sociétale.
- 6 **Se former** tout au long de la vie, faire preuve d'adaptabilité et d'autonomie.

La CTI publie ces critères dans ses documents de référentiel d'accréditation, notamment dans le document *Références et Orientations* (R&O), régulièrement mis à jour.



## INGÉNIEURS : DE QUI ET DE QUOI PARLE-T-ON ?



En 2024, la France comptait environ  
**1 250 000** ingénieurs,  
dont **1 137 000** en activité  
professionnelle, selon la 35<sup>e</sup> enquête  
annuelle de l'Observatoire des ingénieurs  
et scientifiques de France (IESF).



Le nombre de nouveaux  
diplômés en 2023 était de  
**46 500**

### Les grandes familles de métiers

#### 1. Ingénierie mécanique

Ingénieur en mécanique :  
conception de machines,  
moteurs, structures mécaniques.

Ingénieur en production  
industrielle : optimisation des  
procédés de fabrication.

Ingénieur en maintenance :  
fiabilisation des équipements  
industriels.

#### 2. Ingénierie électrique et électronique

Ingénieur électricien : réseaux  
électriques, systèmes de  
distribution, équipements.

Ingénieur en électronique :  
conception de circuits, systèmes  
embarqués, microélectronique.

Ingénieur en automatismes :  
systèmes de contrôle et  
d'automatisation industrielle.

Ingénieur en robotique :  
conception de robots pour  
l'industrie ou la recherche.

#### 3. Informatique, data, IA

Ingénieur logiciel :  
développement d'applications et  
de logiciels.

Ingénieur en cybersécurité :  
protection des systèmes  
informatiques.

Ingénieur systèmes & réseaux :  
architecture et gestion des  
infrastructures IT.

Ingénieur en data / IA : traitement  
de données massives et modèles  
d'intelligence artificielle.

#### 4. Ingénierie environnementale

Ingénieur en environnement :  
gestion des déchets, énergies  
renouvelables, qualité de l'air et  
de l'eau.

Ingénieur en traitement des eaux :  
purification et distribution.

Ingénieur en énergie : efficacité  
énergétique, énergies  
renouvelables.

#### 5. Génie civil et BTP

Ingénieur en génie civil :  
construction d'infrastructures  
(routes, ponts, bâtiments).

Ingénieur en structures : calcul  
de structures pour garantir la  
sécurité.

Ingénieur en géotechnique :  
étude des sols pour la  
construction.

#### 6. Aéronautique, spatial et transport

Ingénieur aéronautique :  
conception et maintenance des  
avions.

Ingénieur spatial : satellites,  
fusées, exploration spatiale.

Ingénieur automobile / ferroviaire :  
conception de véhicules ou trains.

#### 7. Génie chimique et procédés

Ingénieur chimiste : formulation  
de produits chimiques,  
pharmaceutiques.

Ingénieur procédés :  
transformation industrielle des  
matières premières.

#### 8. Ingénierie biomédicale / santé

Ingénieur biomédical : dispositifs  
médicaux, technologies pour les  
hôpitaux.

Ingénieur biotechnologies :  
recherche en biologie, génétique,  
pharmaceutique.

#### 9. Métiers communs à différents secteurs industriels

Ingénieur supply chain :  
optimisation de la chaîne  
d'approvisionnement (achats,  
production, transport,  
distribution)

Ingénieur en méthodes et  
procédés : amélioration de la  
performance industrielle.

Ingénieur en qualité : respect des  
normes qualité dans les processus  
logistiques et industriels.

Ingénieur commercial, parfois  
spécialisé dans les appels d'offre.  
dynamique. On l'utilise aussi dans  
le contrôle de procédés.



## 2.1 L'ingénieur augmenté

L'IA transforme l'ingénierie de deux façons. **Premièrement**, elle automatise un nombre croissant de tâches, en particulier celles qui sont répétitives, basées sur des règles bien définies, ou qui impliquent le traitement de grandes quantités de données ou de documentation.

**Deuxièmement**, elle peut agir comme un outil d'augmentation des capacités de l'ingénieur car elle fournit des analyses plus rapides, offre des simulations plus complexes, prédit plus précisément, et propose des analyses issues de données auparavant inexploitable.

L'ingénieur prendra alors de meilleures décisions, innovera plus rapidement en explorant plus de conceptions ou de modèles possibles, et se concentrera sur des problèmes plus complexes qui nécessitent créativité, jugement critique et expertise métier. L'ingénieur n'est pas remplacé, mais plutôt « augmenté » par l'IA, qui devient un collaborateur efficace et pertinent.

Un point sensible, cependant, est que l'IA est particulièrement performante dans des tâches d'exécution jusqu'ici confiées aux juniors (design partiel ou élémentaire, analyses rapports, prises de notes), ce qui pose à la fois une question d'insertion dans l'emploi, et d'acquisition des compétences.

## CHATBOTS INDUSTRIELS, DES PETITES MAINS AU SERVICE DES INGÉNIEURS

En milieu industriel (usine, raffinerie, centrale énergétique), les ingénieurs doivent souvent accéder rapidement à des spécifications techniques, vérifier l'historique des pannes et incidents, consulter les schémas P&ID (Piping and Instrumentation Diagram), ou encore identifier des paramètres de calibration pour des capteurs ou d'autres instruments.



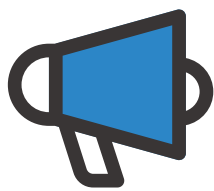
Ils peuvent désormais avoir recours à un chatbot industriel : un agent conversationnel spécialisé qui permet de trouver des données techniques en langage naturel, mais aussi de générer des rapports automatiquement, et enfin de fournir des analyses ou recommandations.

### Le chatbot est alimenté par :

- des données en temps réel (issues des systèmes SCADA, contrôle et d'acquisition de données, ou MES, Manufacturing Execution System)
- des données conservées dans l'historique de maintenance (CMMS) pour les pannes, incidents et interventions passées
- des référentiels techniques propres à l'entreprise (documentation interne), au secteur (normes), aux équipements utilisés (typiquement, le manuel d'entretien d'une machine-outil).

Ce type de *chatbot* est déjà en développement ou en usage dans des secteurs comme le nucléaire (chez EDF), l'énergie (Schneider Electric), ou la pétrochimie (TotalEnergies). Des modèles génériques sont également disponibles.





### **Notre première recommandation**

est donc de redéfinir les parcours d'intégration des ingénieurs juniors en entreprise afin de leur permettre de développer des compétences fondamentales à leur progression future. Les bénéfices de long terme de la formation des juniors ne doivent pas être sacrifiés aux avantages de court terme de tâches exécutées par des IA. Ces tâches sont des outils d'apprentissage et d'acculturation aux métiers de l'entreprise qui ont une valeur en soi, au-delà de leur valeur pratique pour la bonne marche du service.



## 2.2 Design génératif : quand l'IA libère la créativité

L'IA s'impose rapidement dans les tâches et métiers de la conception, modélisation, simulation, qui sont au cœur de l'ingénierie. Son premier impact est une facilitation (faire plus, faire mieux), mais cela amène une redéfinition en profondeur des manières de travailler.

Les métiers de la conception sont marqués par des méthodes et des exigences anciennes. Concevoir une pièce mécanique, un circuit électronique, un circuit de refroidissement, un nouveau matériau ou une molécule pour l'industrie pharmaceutique peut se résumer ainsi : explorer un très vaste espace de design multi-dimensionnel pour maximiser plusieurs propriétés désirables du produit final – son efficacité, sa fiabilité, sa faisabilité, le coût et l'empreinte carbone de sa fabrication, etc. Toutes ces propriétés dépendent de façon complexe, physique ou chimique en particulier, des multiples paramètres du design. La façon classique de mener de tels développements est la suivante : partant de designs déjà éprouvés, les ingénieurs explorent de nouvelles variantes potentiellement supérieures dont les propriétés sont prédites par simulation physique. S'il s'agit d'un élément de carrosserie ou de fuselage par exemple, un solveur à base d'éléments finis prédira pour le nouveau design et sur la base des équations idoines (mécanique des fluides, des milieux continus, thermique) les différentes quantités pertinentes (traînée, champs de vitesse, de pression ou de température, etc.). Plus rapide que la réalisation et le test de prototypes physiques, cette méthodologie n'en reste pas moins lente et par conséquent limitée. D'une part



la simulation physique peut s'avérer coûteuse et longue, d'autre part elle permet uniquement de qualifier un design, pas de déterminer la meilleure façon de le modifier.

**Le design génératif à base d'IA change radicalement la donne.** Il s'appuie sur l'entraînement supervisé ou par renforcement de modèles pouvant prédire directement les propriétés d'un design à partir de ses paramètres et des condi-



### UN EXEMPLE DE DESIGN GÉNÉRATIF : LA CONCEPTION DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES



Les ingénieurs chargés de la conception des réseaux et équipements électriques bénéficient d'outils de simulation et de conception assistée par ordinateur (CAO) augmentés par l'IA. La conception générative permet d'explorer automatiquement un grand nombre de variantes de design en fonction de contraintes spécifiées. Les simulations basées sur l'IA peuvent modéliser des systèmes complexes avec plus de précision et de rapidité. L'analyse de données massives issues de projets antérieurs ou de l'exploitation peut informer les nouvelles conceptions. L'IA est ainsi intégrée de plus en plus tôt dans le cycle de développement. Par exemple, RTE a lancé le projet ORIGAMI<sup>1</sup> pour les études de développement réseau, sous la forme d'un partenariat d'innovation. Ce projet permettra d'évaluer les apports de différentes formes d'IA (analyse sémantique, langage naturel, *deep learning*), et améliorera le processus très complexe de construction des hypothèses de production et consommation d'électricité dans les études à long terme.

1. RTE, Rapport de gestion 2021. Voir aussi EuroGroup Consulting, Projet ORIGAMI, s. d.

tions dans lesquelles il est plongé. La fonction ainsi encodée peut être rapide à calculer et dépend de façon différentiable de ceux parmi les paramètres du design qui sont continus (paramètres de forme et de dimension typiquement). Ce dernier point est clé : dans la mesure où le sens de variations des propriétés finales peut être mathématiquement relié aux variations de ces paramètres, l'exploration itérative du design devient automatisable. Non seulement les gains en rapidité sont importants, mais le champ de l'exploration est démultiplié avec un bien plus grand potentiel d'innovation. Bien sûr,

le test en conditions réelles reste indispensable *in fine* !.

**Le domaine du design génératif progresse rapidement, pour répondre aux besoins des chercheurs et des ingénieurs.** D'Autodesk, le grand éditeur de logiciels d'ingénierie, à des startups comme NeuralConcept, un nombre croissant d'acteurs développent des outils de design génératif, qu'ils adaptent à différentes industries (bâtiment et infrastructures, transports, énergie, mécanique, média et jeux, matériaux, chimie, médecine, etc.).



## LES DevOps ET LES AGENTS IA



**L'émergence des agents IA est en train de transformer le rôle des ingénieurs DevOps en automatisant de nombreuses tâches répétitives et en améliorant la fiabilité des processus.** Pour mémoire, le DevOps est une pratique technique visant à l'unification du développement logiciel (dev) et de l'administration des infrastructures informatiques (ops), notamment l'administration système. En quoi l'IA la transforme-t-elle ?

**Côté développement,** les agents IA peuvent analyser le code en continu, détecter les vulnérabilités de sécurité, proposer des corrections et même générer automatiquement des tests unitaires, réduisant ainsi le temps nécessaire à la mise en production. Des plateformes comme GitHub Copilot ou Amazon CodeWhisperer assistent directement les développeurs dans l'écriture de code et la résolution de bugs<sup>2</sup>. Cette automatisation permet aux DevOps de se concentrer sur la conception d'architectures évolutives et sur la qualité du *delivery*, plutôt que sur les tâches de maintenance ou de correction manuelle.

**Côté opérations,** les agents IA jouent un rôle crucial dans l'observabilité, la surveillance et la remédiation des incidents. Grâce au *machine learning* appliqué à l'APM (*application performance monitoring*), des solutions comme Datadog ou Dynatrace exploitent des modèles prédictifs pour anticiper les dégradations de performance et recommander des actions correctives en temps réel. Cela change la mission traditionnelle des ingénieurs DevOps : au lieu de réagir aux alertes, ils supervisent et valident les décisions prises par des systèmes intelligents, devenant davantage des orchestrateurs que des exécutants. À terme, cette intégration des agents IA dans le cycle DevOps ouvre la voie à une autonomisation partielle des pipelines CI/CD, où la résilience et l'optimisation sont assurées de manière continue et auto-adaptative.

Le travail des Ops évoluera vers la supervision et la gouvernance de ces agents, la définition de leurs objectifs et de leurs contraintes, et l'analyse de leurs performances pour affiner leurs capacités.

2. Pour un exemple : Beiqi Zhang, Peng Liang, Xiyu Zhou, Aakash Ahmad, Muhammad Waseem, « Practices and challenges of using GitHub Copilot: an empirical study », The 35<sup>th</sup> International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE), arXiv, mai 2023.



## 2.3 Développement logiciel : les assistants ne cessent de progresser

Des langues naturelles aux langages de programmation, il n'y a qu'un pas que les LLM ont commencé à franchir, de deux façons complémentaires : en se spécialisant pour comprendre et produire du code dans tous les langages et *frameworks*<sup>3</sup> ; et en maniant conjointement langage humain et informatique afin d'interagir naturellement avec l'utilisateur, et d'analyser ou produire de la documentation.

L'aide au développement logiciel est sans doute l'exemple le plus avancé de pénétration de l'IA générative dans les métiers de l'ingénieur. Les environnements de développement tels que VScode intègrent désormais une interface de dialogue permettant d'interagir avec plusieurs assistants de code. Ceux-ci peuvent être plus ou moins généralistes, et donc plus ou moins adaptés aux besoins précis du développeur. Dans tous les cas, l'assistance proposée couvre toutes les facettes du développement logiciel : accès contextuel à la documentation, complétion de code, revue de code et débogage, écriture de tests unitaires, écriture de documentation, réécriture, optimisation et portage de code, mis à jour et maintenance, profilage, recherche de vulnérabilités, gestion de versions, etc.

Les assistants de codes ne cessent de progresser, afin par exemple d'appréhender des projets complexes dans leur ensemble, ou de s'interfacer directement avec les outils d'exécution et ainsi automatiser tests et déploiement. Mais ils sont déjà indispensables à tout bon codeur.

Pour autant, les LLM ont leurs limites. Le code produit n'est pas toujours optimal ni exempt d'erreurs : il nécessite souvent une revue humaine. Les LLM peuvent avoir du mal avec des projets complexes ou qui nécessitent une connaissance métier spécifique. Ils manquent de mémoire de long terme : sur des projets très vastes, ils ne gardent pas toujours la cohérence de bout en bout. Enfin et surtout, hors cas triviaux, le sujet de la programmation n'est pas le langage utilisé mais la logique formelle qui est induite, ce qui n'est pas le sujet central d'une langue naturelle.

Cette assistance ne signifie donc pas que les compétences au cœur des différents métiers du logiciel deviennent facultatives voire inutiles : l'architecture logicielle, le pilotage des projets, la créativité et la responsabilité finale restent humains.

La rapidité et l'impact des progrès de l'IA dans le code requièrent des ingénieurs logiciels qu'ils comprennent bien les fondements, les capacités et les limites de ces outils, en plus des savoirs et des savoir-faire de leur métier. Concernant ces derniers, il s'avère que les assistants de code peuvent également se muer en excellents outils de formation et d'entraînement.

La pénétration de l'IA dans les métiers de l'informatique pourrait donc avoir un impact en termes d'emplois. La question est souvent posée quand on parle de l'IA. Qu'en est-il, plus largement, pour les métiers d'ingénieurs ?



3. Framework : un ensemble de composants logiciels réutilisables qui permettent de développer de nouvelles applications plus efficacement.

4. Un effet de bord de ces arbitrages est le retour en France de développeurs très expérimentés, ce qui complique encore davantage l'insertion professionnelle des jeunes diplômés.

5. Fleur Bouron, « "Ça m'évite de finir à 22 heures..." : comment l'IA bouscule le quotidien des jeunes consultants », *Les Echos*, 20 janvier 2025.

6. Violaine Cherrier, « Emploi des ingénieurs en 2024 : on fait le point », *Le Monde des grandes écoles et universités*, 110, 26 juin 2024. Marc Ferracci, ministre délégué à l'Industrie, s'inquiétait en novembre 2024 de la pénurie d'ingénieurs pour l'effort de réindustrialisation : « Nous avons du mal à recruter des ingénieurs, notamment dans les domaines de l'automobile et de la chimie. » (*Le Monde*, 18 novembre 2024).



## L'EMPLOI DES INGÉNIEURS : L'IA, MENACE OU RESSOURCE ?



**Certains métiers sont directement menacés par l'IA, qui pourrait faire disparaître des emplois.**

Dans l'informatique, non seulement l'IA remplace avantageusement l'humain pour coder, mais les grands acteurs spécialisés font aussi des arbitrages défavorables à l'emploi : un alumnus de 2003, ingénieur dans un des GAFAM, écrit à propos de ses perspectives personnelles : « Peut-être que je ne travaillerai plus du tout. Les entreprises de mon domaine d'activité doivent faire des investissements tellement colossaux dans l'IA (construction de datacenters à tour de bras) qu'elles doivent licencier massivement leurs ingénieurs<sup>4</sup>. »

**Une question sensible se pose aussi pour l'insertion dans l'emploi.**

C'est vrai, à nouveau, dans l'informatique, comme en témoigne un centralien diplômé en 1979 : « Je suis aussi inquiet de la menace qui pèse sur les stagiaires ou les apprentis dont on peut être très tenté de se passer quand on voit ce que l'on peut sous-traiter de manière assez fiable auprès d'un outil d'intelligence artificielle. » Mais aussi dans d'autres secteurs : comme nous le dit ce diplômé de 2022, ingénieur en R&D dans le secteur de l'énergie : « À un horizon de deux ou trois ans, je pense que l'on aura mis en place des solutions, outils ou agents nous permettant d'automatiser toutes les tâches à faible valeur ajoutée (relecture de dossier de compliance) ou répétitives (prise de notes de réunions). Afin de se concentrer sur les tâches à haute valeur ajoutée mais aussi de nous permettre d'étendre nos compétences en agissant comme un stagiaire (ou une armée de stagiaires). »

Le cas des consultants juniors a été récemment évoqué par la presse<sup>5</sup>, et pose doublement question quand on sait que le métier de consultant est, pour de nombreux ingénieurs, un poste de début de carrière, utile pour gagner en expérience.

**Mais hors informatique il faut renverser la perspective. La réalité est d'abord, dans tous les pays, une pénurie d'ingénieurs.**

En France où 48 000 ingénieurs sont diplômés chaque année, 10 000 ingénieurs supplémentaires sont nécessaires par an et à très court terme afin de combler la pénurie de compétences, selon la Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs (CDEFI). D'autres sources évoquent un déficit de 18 000 ingénieurs chaque année, dans un contexte marqué par l'effort de défense, la transition environnementale et l'ambition de réindustrialisation<sup>6</sup>.

**Cette pénurie se retrouve dans la plupart des pays industriels.**

L'Institut économique allemand (Institut der Deutschen Wirtschaft) a signalé en 2022 une pénurie de 320 000 spécialistes en sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STEM). L'Association des ingénieurs allemands (Verein Deutscher Ingenieure, VDI) évoquant le fonds spécial de 500 milliards d'euros pour les infrastructures et la neutralité climatique approuvé le 18 mars 2025 par le Bundestag, estime que ses chances de succès sont compromises par une pénurie de dizaines de milliers d'ingénieurs et de professionnels de l'informatique<sup>7</sup>.

**Un article de la Technology Review du MIT, publié en octobre 2024,**

**explore plus particulièrement les domaines relatifs aux infrastructures<sup>8</sup>.**

« Aux États-Unis, on estime que d'ici 2031, il manquera 33 % de nouveaux talents, avec des postes à pourvoir dans les domaines du génie logiciel, industriel, civil et électrique. » Le Japon, autre puissance industrielle, prévoit un déficit de plus de 700 000 ingénieurs d'ici 2030. « Compte tenu de la durée de la plupart des projets d'ingénierie (la réparation d'un gazoduc endommagé, par exemple, peut prendre des décennies), la demande d'ingénieurs qualifiés continuera de dépasser l'offre à moins que des mesures ne soient prises. »

**Dans les domaines touchés par la pénurie, et notamment dans ceux**

(construction, travaux publics, infrastructures, notamment) où l'inflation normative a le plus contribué à faire enfler la documentation technique et qui depuis longtemps peinent à recruter<sup>9</sup>, l'IA peut être une ressource à double titre : pour compléter les équipes en manque de bras (et de cerveaux), et pour redonner de l'attractivité aux métiers en les débureaucratisant et en effectuant les tâches les plus fastidieuses. Comme le note Julien Moutte, directeur technique chez Bentley Systems, dans la *Technology Review* : « Les ingénieurs doivent accomplir une quantité considérable de tâches fastidieuses et répétitives. Entre 30 % et 50 % de leur temps est consacré à la compression de modèles 3D au format PDF 2D. Si ce travail pouvait être effectué par des outils basés sur l'IA, ils pourraient récupérer la moitié de leur temps de travail et l'investir dans des tâches à plus forte valeur ajoutée. »

7. « Ingenieursverband: Zu wenige Fachkräfte für Infrastrukturpaket », N-TV, 18 mars 2025.

8. « Investing in AI to build next-generation infrastructure », MIT Technology Review, 21 octobre 2024.

9. Abdallah Khoury, directeur régional chez Vinci Energies, évoquait encore il y a quelques mois les difficultés persistantes rencontrées pour recruter des ingénieurs dans le secteur du BTP : « On sent, depuis l'épidémie de Covid-19, que la pénurie s'est aggravée. » (Le Monde, 13 novembre 2024).

## 2.4 Le pilotage des systèmes complexes s'automatise à grande vitesse

L'analyse statistique joue un rôle central dans le pilotage des systèmes complexes, car elle permet d'extraire des informations pertinentes à partir de grandes quantités de données. En identifiant des corrélations, des tendances et des anomalies, elle aide à comprendre le comportement global du système et à anticiper les évolutions. Elle permet aussi d'évaluer l'impact de différentes variables sur les performances, facilitant ainsi la prise de décision. Dans les environnements dynamiques, l'analyse statistique assistée par IA soutient la modélisation prédictive, l'optimisation des ressources et l'adaptation en temps réel. Elle constitue ainsi un outil clé pour améliorer la maîtrise, la robustesse et l'efficacité des systèmes complexes. Mais les méthodes évoluent en profondeur.

Le rôle traditionnel des ingénieurs statisticiens, habitués aux modèles paramétriques, aux analyses descriptives ou inférentielles classiques, se modifie avec l'arrivée de modèles *machine learning* / *deep learning* sur étagère. Il est important de noter que les statisticiens vont jouer un rôle clé pour éviter les écueils d'une utilisation « boîte noire » des modèles IA, pour comprendre ces nouveaux modèles, et inventer de nouvelles méthodes de *machine learning* ou *deep learning*. Aussi, on demande à ces ingénieurs des

compétences informatiques de plus en plus pointues pour mettre en œuvre leurs innovations. Pour illustrer cela, voici un exemple tiré lui aussi de l'industrie électrique.

**Le rôle des ingénieurs chargés de l'exploitation et du contrôle d'un système à grande échelle évolue ou va évoluer avec l'arrivée des systèmes développés à base d'IA.**

Ces ingénieurs étaient déjà confrontés à différents paradigmes de contrôle, systèmes automatisés en logique booléenne ou fondés sur des mécanismes de rétroaction. Ces systèmes, bien que fiables, dépendent souvent des informations remontées par les capteurs et du bon fonctionnement des commandes des actionneurs.

**L'arrivée des systèmes à base d'IA ajoute un paradigme supplémentaire, fondé sur l'hypothèse que l'IA peut fiabiliser le système.**

Par exemple, Schneider Electric développe une plateforme « One Digital Grid » pour améliorer la résilience, la fiabilité et l'efficacité des réseaux en intégrant des capacités prédictives et des capacités d'automatisation.

Mais l'IA n'est elle-même pas fiable à 100 %. Il faudra que les opérateurs soient formés aux types d'erreurs introduites par les IA. Cela suppose, pour les ingénieurs, de bien comprendre ces possibilités d'erreurs et de transmettre intelligemment cette compréhension aux opérateurs. Il y a ici un enjeu combiné de gestion des risques et de formation.

### UN EXEMPLE : L'ÉVOLUTION DE MODÈLES R&D DÉVELOPPÉS POUR LA PRÉVISION DE CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ



- en 1983, processus ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average), combinant autorégression (qui utilise la corrélation entre valeurs passées), l'intégration (qui rend la série stationnaire en supprimant les tendances) ; et la moyenne mobile (qui modélise les erreurs passées)
- en 1996, modèle paramétrique linéaire à base de série de Fourier et de polynômes
- en 2011, modèle additif à base de splines (de type GAM) avec une bibliothèque de type « apprentissage automatique » clé en main similaire à ceux proposés dans la bibliothèque scikit-learn
- en 2021, apprentissage automatique temps réel / en ligne / dynamique à base de filtres de Kalman.





**C'est notre deuxième recommandation :**

la mise en place d'outils IA dans des systèmes complexes doit comprendre une formation des opérateurs aux limites de ces outils et aux risques d'hallucination. Les ingénieurs impliqués dans la conception ou la mise en place de ces systèmes doivent s'impliquer activement dans cette formation.



## 2.5 Maintenance : l'IA prend la main

**L'IA accélère le passage de la maintenance préventive planifiée (interventions à intervalles fixes) à la maintenance prédictive (basée sur l'état réel des équipements).** Les SIA prennent le relais des systèmes experts utilisés jusqu'ici. L'Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne justifie ce passage par la montée de la numérisation qui augmente les volumes de données à traiter<sup>1</sup>. L'étape suivante est même la maintenance prescriptive où l'IA recommande des actions correctives optimales. Ces approches modifient nécessairement le quotidien de l'ingénieur maintenance : hier, l'ingénieur maintenance exécutait des plans de maintenance fixe, aujourd'hui il exécute ces plans mais doit aussi interpréter les diagnostics et pronostics générés par l'IA, machine par machine et parfois pièce par pièce<sup>2</sup>.

**L'ingénieur maintenance doit collaborer avec les systèmes d'IA et leurs créateurs.** Notamment, il doit être associé à la mise en place d'une infrastructure de collecte et de

gestion des données fiables. La maintenance souvent perçue comme un centre de coût évolue en se positionnant dans un rôle stratégique qui contribue directement à l'optimisation des opérations. Nous avons déjà mentionné plus haut le cas de Metroscope. TotalEnergies a également travaillé sur une unité de distillation. Plus de 800 variables ont été mesurées, fournissant des informations telles que le type de brut entrant, les pressions, les températures, les débits, les ouvertures de vannes et les mesures chimiques. Ces approches sont prometteuses et généralisables<sup>3</sup>.

**Des évolutions analogues affectent les fonctions d'ingénieur dans la gestion des stocks, la logistique, la supply chain.** L'IA permet une optimisation et une meilleure prédiction, ce qui déplace le rôle au quotidien de l'ingénieur et l'amène à collaborer à la fois avec les systèmes d'IA et les équipes (ou fournisseurs) qui les conçoivent. Il peut également être amené à jouer un rôle actif dans l'entraînement des IA.

## 2.6 L'émergence de nouvelles spécialités

### Ingénieur IA / Machine Learning

Ce rôle est central pour développer, entraîner, déployer, surveiller et maintenir les modèles d'IA spécifiquement adaptés aux défis d'un secteur donné (prévision, optimisation, diagnostic, etc.).

### Ingénieur prompt

L'art du prompt va devenir une compétence de base pour tous. Mais sur des questions complexes exigeant des réponses extrêmement fiables, c'est un métier en émergence, qui consiste à formuler des requêtes (prompts), précises, efficaces et parfois complexes pour obtenir les résultats souhaités (texte, code, analyse).

### Data scientist / analyst

Indispensable pour extraire de la valeur des énormes volumes de données générés par différents types de systèmes à grande échelle, notamment via des capteurs IoT, etc. Ce rôle implique la collecte, le nettoyage, l'analyse exploratoire, la modélisation statistique et la communication des analyses aux équipes métier.

### Il est important de noter la nature hybride de ces spécialités.

Un ingénieur qui se spécialise en IA et en maintenance comprendra d'autant plus les données qu'il faudra historiser, et à quelle fréquence, pour entraîner les modèles IA afin d'améliorer les objectifs opérationnels de maintenance.

### Ingénieur cybersécurité IA

La digitalisation et l'interconnexion accrues des systèmes, combinées à l'utilisation de l'IA, créent de nouvelles surfaces d'attaque. Ce spécialiste se concentre sur la protection des modèles d'IA, des données qu'ils utilisent et des systèmes sur lesquels ils opèrent contre les cybermenaces.

### Architecte Big Data / solutions IA

Responsable de la conception et de la mise en œuvre des infrastructures matérielles et logicielles (plateformes de données, pipelines ETL, environnements de calcul) capables de supporter le stockage, le traitement et le déploiement d'applications IA à grande échelle.

### Ingénieur éthique IA / auditeur d'algorithmes

Compte tenu des enjeux sociétaux et de la criticité de certains secteurs industriels, ce rôle émergent vise à garantir que les systèmes IA sont conçus et utilisés de manière responsable, équitable, transparente et non discriminatoire, en accord avec les valeurs éthiques et les réglementations.

## 2.7 Réenchanter les métiers ?

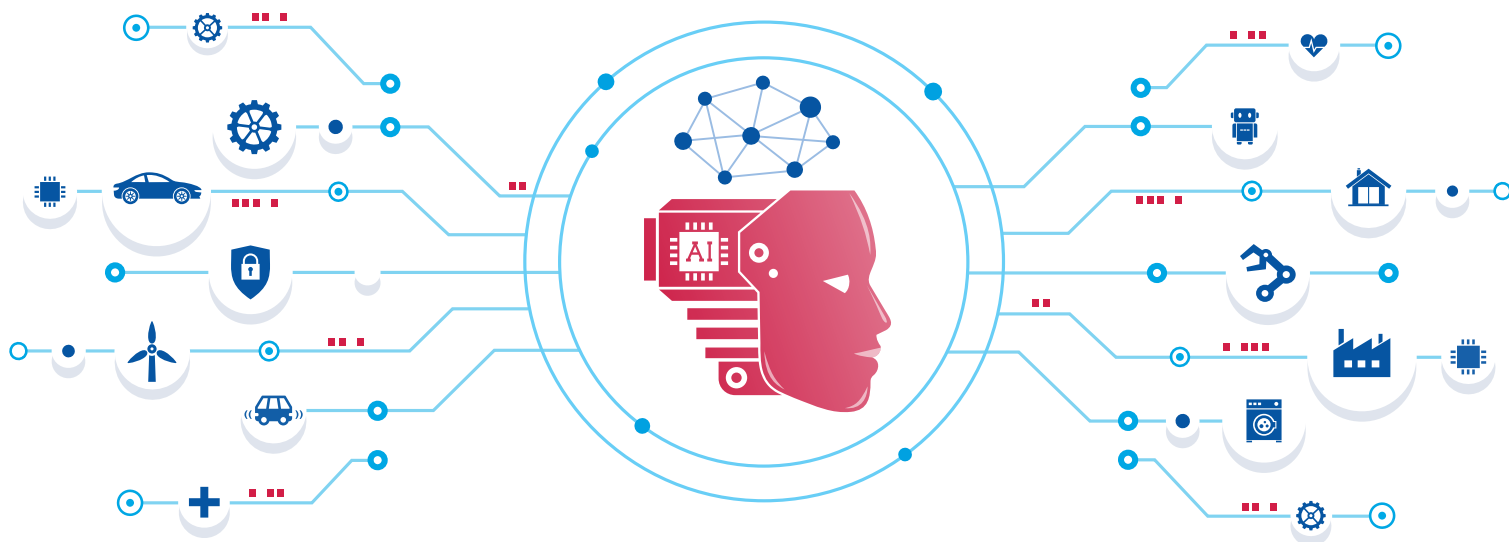
**L'arrivée de l'intelligence artificielle transforme profondément les métiers d'ingénieur, en y apportant une nouvelle dimension de créativité, d'efficacité et d'exploration.**

Grâce à l'IA, les ingénieurs peuvent se libérer de nombreuses tâches répétitives ou purement techniques pour se concentrer davantage sur la conception, la stratégie et l'innovation. Des outils d'IA générative permettent, par exemple, de proposer des solutions de design optimisées et inédites, ouvrant de nouvelles perspectives dans l'aéronautique, l'énergie ou l'architecture. En automatisant certaines analyses complexes, l'IA devient un partenaire qui enrichit le raisonnement humain, accélère les cycles de développement et stimule l'imagination. Cela contribue à redonner du sens et de l'attractivité à des métiers parfois perçus comme trop normés ou contraints.

**Mais cette évolution s'accompagne d'un déplacement du rôle des ingénieurs, particulièrement sensible dans certaines spécialités où l'IA s'installe au centre des process et de la prise de décision.** Les ingénieurs devront apprendre à travailler avec des systèmes intelligents capables de prendre des décisions techniques, d'évaluer des risques ou d'optimiser des processus de manière autonome.

Si à l'évidence cela atrophie certains espaces décisionnels des ingénieurs, cela amène aussi de nouvelles responsabilités : superviser des IA, interpréter leurs choix, ou encore garantir l'éthique et la transparence de leurs actions.

**Cette collaboration homme-machine transforme l'ingénieur en pilote d'écosystèmes hybrides,** où la maîtrise de l'intelligence artificielle devient aussi essentielle que la connaissance des sciences dures. Les métiers ne disparaîtront pas, mais ils muteront profondément, exigeant des profils à la fois techniques, adaptables et dotés de solides compétences en analyse critique et en interaction avec l'IA. C'est l'objet de la prochaine section.



1. EASA, *Artificial Intelligence Roadmap*, mai 2023.

2. Voir par exemple Mark Jackley, « Utilisation de l'IA dans la maintenance prédictive », Oracle, 23 décembre 2024.

3. Antoine Bertoncello, « Causal AI in the energy industry: lessons learned at TotalEnergies », *Causal AI*, 2022.

Voir aussi Amin Dhaou et al., « Causal and interpretable rules for time series analysis », *KDD*, 2021.

## 3. DES COMPÉTENCES BOUSCULÉES

**L'évolution des métiers induite par l'IA entraîne une transformation des compétences requises des ingénieurs.** Certaines compétences traditionnelles sont renforcées, d'autres perdent de leur importance relative, tandis que de nouvelles aptitudes deviennent cruciales.

### 3.1 Les compétences dont l'importance diminue

**Il est important de noter, qu'aucune compétence traditionnelle de l'ingénieur ne devient obsolète avec l'IA.** Nous parlons ici des compétences dont l'importance diminue ou dont le focus se déplace.

**La première est l'application routinière simple.** L'IA peut souvent appliquer des formules ou des procédures standardisées plus rapidement. Le rôle de l'ingénieur se concentre davantage en amont de la sollicitation de l'IA, sur la mise en place du problème comme la compréhension des principes sous-jacents, et en aval de la sollicitation de l'IA, sur la validation critique des résultats pour éviter les hallucinations des modèles.

**Savoir générer un code simple n'est plus aussi utile ; il faut néanmoins être capable d'être critique sur ce code.** En effet, les benchmarks montrent des limites claires sur certains problèmes : par exemple, le meilleur des modèles évalué par Vellum<sup>1</sup> au 17 avril 2025 sur le benchmark (SWE Bench) n'affiche qu'environ 70 % de bonnes réponses. On peut donc s'attendre à des biais dès que la complexité augmente ou que des aspects qualitatifs cruciaux entrent en jeu. Cependant, il faut noter que sur le même benchmark, deux versions similaires de modèles d'OpenAI passent de 49 % (o1) à 69 % (o3) de bonnes réponses en sept mois, il faudra donc remettre en question régulièrement les conclusions de ce rapport au regard des rapides améliorations des modèles. D'ailleurs, les géants de la tech américaine, Google et Microsoft, affirment déjà que 20 à 30 % de leur code est écrit avec l'aide d'une IA.

**L'IA rend moins cruciales les compétences de recherche d'information basique.** Les outils d'IA excellent dans la recherche rapide d'informations existantes. Le spécialiste du moteur de recherche Google<sup>2</sup> montre bien l'évolution de la recherche assistée par IA avec Lens pour la recherche par

image ou multiseach pour la recherche multimodale. On peut encore citer Gemini Deep Research with 2.5 Pro<sup>3</sup> qui est capable de faire une recherche internet, d'en sortir un rapport construit puis d'en générer un résumé audio. La compétence clé de l'ingénieur devient moins la recherche elle-même que l'évaluation critique de la pertinence, de la fiabilité et des biais potentiels de l'information.

**Par exemple, voici les nouvelles questions à se poser sur le résultat d'une IA générative qui va chercher l'information sur internet :** est-ce que ce qui est écrit est un résumé de ce qui a été trouvé ? Est-ce que ce qui est écrit est généré par l'IA elle-même par pure probabilité syntaxique ? Est-ce que ce qui est écrit est un plagiat d'un texte sur internet ou d'une œuvre connue ? En fonction de l'utilisation escomptée, l'ingénieur devra s'adapter.

**Le résumé de texte par IA peut être utilisé pour identifier rapidement des informations intéressantes dans plusieurs documents ;** mais sous réserve de vérifier l'information initiale dès que le texte souhaité est trouvé. Là aussi pour cette tâche précise, il existe des études qui évaluent la qualité des résumés de texte générés par les outils d'IA. La tâche de mesurer la qualité d'un résumé de texte n'est pas si simple, une étude de 2024 montre que le benchmark XSUM présentait des résumés moins cohérents que ce que des freelances pouvaient reproduire<sup>4</sup>. Il faut noter que le modèle Instruct GPT-3 Davinci présentait des performances équivalentes que celui des freelances. Alors qu'un autre modèle, GPT-3 Davinci, présentait des performances moins bonnes que celles des freelances.

**Calculs et simulations standardisés sont de moins en moins le domaine de l'ingénieur.** De nombreux calculs ou simulations répétitives peuvent être automatisés. L'ingénieur se concentre sur la définition correcte du problème, l'interprétation des résultats dans leur contexte et la gestion des cas complexes ou non standards que l'IA pourrait mal gérer.

1. Vellum, « LLM Leaderboard », 9 juillet 2025.

2. Google, « Optimiser la recherche Google grâce à l'IA générative », blog de Google, 10 mai 2023.

3. Présentation de Gemini Deep Research par Google, s. d.

4. Tianyi Zhang, Faisal Ladhak, Esin Durmus, Percy Liang, Kathleen McKeown, Tatsunori B. Hashimoto, « Benchmarking Large Language Models for News Summarization », *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 12(3), 2024.

L'ingénieur doit apprendre à découper son problème, sélectionner les meilleures IA, adresser les morceaux de son problème soit à ses collaborateurs, soit à lui-même ou soit aux IA sélectionnées puis recoller les morceaux en restant critique.

**La rédaction technique de base et la documentation standard sont aussi des compétences moins utiles.** Les IA génératives peuvent produire des ébauches de documentation ou de rapports. L'ingénieur supervise, affine, valide l'exactitude technique et assure la clarté pour le public cible. Par exemple, un ingénieur qui aura oublié de documenter son code pourra le soumettre à IA pour en récupérer la documentation, ensuite il devra soigneusement la corriger et la

compléter ; un ingénieur souhaitant traduire un code d'un langage à un autre pourra demander une documentation de l'ancien code dont il est moins spécialiste si la documentation n'avait pas été faite ; l'IA peut aussi l'aider à définir la structure de son document.

Mais les facilités induites par l'usage des IA génératives grand public peuvent amener des utilisateurs inattentifs à introduire des données confidentielles ou stratégiques dans ces modèles. C'est ce qui est arrivé en 2023 quand, à plusieurs reprises, des ingénieurs logiciels de Samsung ont divulgué des données sensibles en collant du code propriétaire dans ChatGPT.



### **D'où notre troisième recommandation,**

pour les ingénieurs : si les compétences

générales des IA génératives grand public (coder simplement, chercher des infos, faire un résumé, améliorer un texte en anglais) touchent des aspects peu stratégiques de leur métier, les textes et données auxquelles elles s'appliquent peuvent avoir un caractère confidentiel ou stratégique : il faut donc aussi savoir se passer de ces outils.





### 3.2 Les compétences qui restent essentielles

**Ces compétences sont les fondations essentielles de l'ingénieur. Le fait qu'une IA soit impliquée dans un processus ne change pas leur importance.**

**La première est le socle scientifique et technique.** Loin d'être rendus obsolètes par l'IA, les connaissances fondamentales et l'expertise métier sont essentielles. Pour commencer, il sera peut-être inutile d'envisager une IA pour résoudre certains problèmes. Lorsque l'IA est souhaitée pour simplifier la tâche, il est nécessaire de bien comprendre le domaine pour interagir efficacement avec elle. Les connaissances scientifiques, techniques et métiers permettent de formuler des requêtes pertinentes, de challenger et valider les propositions de l'IA, d'interpréter ses résultats dans le contexte opérationnel et de piloter l'innovation en hybridant les capacités de l'IA et la compréhension profonde du domaine.

**La capacité à apprendre et maîtriser des outils complexes reste vitale.** Il faut cependant noter qu'il y a désormais un spectre d'outils plus large et que certains outils de programmation deviennent incontournables – c'est le cas de Python avec ses nombreuses bibliothèques d'analyse de données ou de *machine learning*. Il sera important de comprendre la différence entre les différentes plateformes d'IA pour pouvoir les utiliser efficacement.

**La rigueur, la précision et la méthode restent des qualités indispensables, surtout face à des outils IA qui peuvent produire des erreurs subtiles.** Les ingénieurs doivent appliquer une méthodologie stricte dans la définition des problèmes, la préparation et la validation des données, la conception des tests, l'évaluation des performances et l'interprétation des résultats pour garantir la fiabilité et la sécurité.



**La capacité à mener des recherches et expérimentations reste fondamentale.** Les principes fondamentaux de la démarche scientifique et de l'expérimentation (formulation d'hypothèses, conception de tests, collecte de données, analyse des résultats) restent essentiels. Cependant, les méthodes de recherche et d'expérimentation s'adaptent pour intégrer l'IA comme outil de recherche. L'attribution du prix Nobel de physique à deux pionniers de réseaux de neurones artificiels, John Hopfield et Geoffrey Hinton, témoigne de l'importance de l'IA dans la recherche.

**La prise en compte des enjeux économiques et organisationnels.** Comprendre le contexte (économique, social, culturel, géopolitique) de l'entreprise reste essentiel et fait la qualité d'un bon ingénieur, pas seulement quand il occupe une fonction de manager. Par ailleurs, cette compréhension est nécessaire pour déployer l'IA de manière pertinente et rentable. Une étude du BCG montre que la plupart des sociétés diluent leurs efforts dans de multiples projets IA alors qu'il serait plus efficace de concentrer les compétences IA sur des projets prometteurs en matière de retour sur investissements<sup>1</sup>. Tout le problème est que personne ne sait démontrer quels sont les projets à fort ROI, parce qu'on en est au début de l'aventure et que l'on manque de recul. Il faut accepter de faire quelques paris et d'en perdre certains, plutôt que de se disperser.

**Le travail en contexte international et multiculturel reste important dans un monde globalisé et l'IA n'efface pas les compétences nécessaires à ce travail.** Elle peut parfois faciliter la communication notamment au travers d'outils de traduction performants qui égalent même les performances humaines<sup>2</sup>. Cependant, l'IA ne remplace pas la compréhension culturelle nécessaire à une collaboration internationale, à distance ou pas.

### 3.3 Les compétences dont l'importance critique est amplifiée par l'IA

**L'arrivée de l'IA renforce considérablement la nécessité de ces compétences.** Le rapport du LaborIA, laboratoire créé par l'INRIA et le ministère du Travail, pointe un certain nombre de considérations sociologiques complexes qui entrent en jeu dans la collaboration du travailleur avec les SIA (systèmes d'intelligence artificielle)<sup>3</sup>. Les compétences requises par les ingénieurs pour utiliser, participer à la création ou créer une IA sont souvent plus humaines et transversales.

**La première est la pensée critique, la capacité d'analyse et de synthèse approfondies.** Nous l'avons déjà vu précédemment, dans plusieurs cas les réponses de l'IA ne sont pas fiables à plus de 70-80 % : elles présentent des biais voire des hallucinations, ainsi qu'un déficit d'explicabilité qui est contraire aux principes modernes de la méthode scientifique. C'est pourquoi l'ingénieur doit développer des compétences proches de celles qu'un journaliste peut avoir pour croiser ses sources. Il doit comprendre les limites des SIA qui s'améliorent constamment et synthétiser des informations provenant de sources multiples (humaines et IA). L'entreprise

1. BCG AI RADAR, « From potential to profit: closing the AI impact gap », janvier 2025.

2. Popel, Tomkova, Tomek, Kaiser, Uszkoreit, Bojar & Žabokrtský, « Transforming machine translation: a deep learning system reaches news translation quality comparable to human professionals », *Nature Communications*, 2020.

3. LaborIA, « Étude des impacts de l'IA sur le travail », mai 2024 (créé par le ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités et Inria en 2021, le LaborIA est un programme de recherche-action centré sur l'analyse des impacts de l'Intelligence Artificielle (IA) sur le travail, l'emploi et les compétences).

4. Hays, IA, *quelles compétences et comment les développer ?*, s. d. (Hays est une entreprise spécialisée en RH)



Hays, spécialisée en conseil en ressources humaines, mentionne<sup>4</sup> bien la nécessité d'être capable d'analyser et d'interpréter les résultats lorsque l'on traite avec une IA. Il s'agit alors d'utiliser les compétences et les savoirs scientifiques et techniques de la formation initiale et de la montée en compétence de l'étape junior.

**La seconde est la résolution de problèmes complexes et mal définis. L'IA peut résoudre des problèmes définis,** mais le bon ingénieur excelle dans le cadrage de problèmes ambigus, la pensée systémique et l'intégration de solutions IA dans des contextes complexes. Pour cela il doit être capable de concevoir, tester et valider des systèmes complexes qui servent à la résolution de problèmes complexes et à contours larges. Dans sa résolution des problèmes, l'ingénieur devra décider avec qui interagir, inclure ou non l'IA, que ce soit dans une des étapes du cycle de création (conception, test ou validation) ou dans le système même qui répondra au problème.

**La troisième — nous y reviendrons en évoquant plus longuement le modèle de décision — est la capacité à prendre en compte des enjeux éthiques (dont environnementaux et sociétaux).** L'IA soulève des questions éthiques nouvelles et complexes (biais algorithmiques, manque de transparence, équité, responsabilité en cas d'erreur de l'IA, impact sur la vie privée lié à la collecte massive de données suivant les domaines abordés et le type d'IA) qui placent l'éthique au premier plan des préoccupations de l'ingénieur. Au cœur des enjeux éthiques, l'UNESCO<sup>5</sup> donne quatre valeurs fondamentales qui doivent contraindre les bases même des SIA : le respect, la protection et la promotion des droits de l'homme, des libertés fondamentales et de la dignité humaine ; le droit de vivre dans des sociétés pacifiques, justes et interconnectées ; le fait d'assurer la diversité et l'inclusion ; la protection de l'environnement et des écosystèmes florissants. De manière plus concrète, il s'agit aussi de revoir comment l'outil IA va interférer avec les enjeux de responsabilité sociétale du projet ou de l'entreprise.

**La quatrième est l'adaptabilité et l'apprentissage continu (formation tout au long de la vie).** Le rythme effréné de l'évolution de l'IA rend cette capacité absolument cruciale pour rester pertinent. Nous l'avons déjà mentionné plus haut en abordant les défis des ingénieurs R&D en statistiques qui doivent remettre en cause leurs méthodes dès qu'un nouveau modèle est développé. Le rapport de McKinsey sur la façon de libérer le potentiel de l'IA mentionne que 46 % des dirigeants identifient les lacunes en matière de compétences au sein de leurs effectifs comme un obstacle important à l'adoption de l'IA<sup>6</sup>. Cette statistique démontre l'importance de l'« upskilling », pour les dirigeants comme pour leurs effectifs.

**La cinquième est la communication, la collaboration et le travail en équipe (avec spécialistes, non-spécialistes et IA).** La capacité à travailler efficacement dans des équipes interdisciplinaires était déjà une compétence essentielle dans le bagage de l'ingénieur mais il faut ajouter à cela la nouvelle dimension clé de collaborer avec des SIA et des nouvelles équipes responsables de leurs créations (data scientists, éthiciens, ingénieurs prompt, etc.) D'ailleurs, une nouvelle science sociale émerge : « le travail en équipe homme-IA » ou « human-AI teaming (HAIT) » :

”

C'est un processus entre un ou plusieurs humains et un ou plusieurs systèmes d'IA (partiellement) autonomes, agissant comme membres d'une équipe aux capacités uniques et complémentaires, travaillant en interdépendance vers un objectif commun. Les rôles des membres de l'équipe s'adaptent dynamiquement tout au long de la collaboration, nécessitant coordination et communication mutuelle pour répondre aux exigences de chacun et de la tâche. Pour cela, un partage mutuel des intentions, une connaissance partagée de la situation et le développement de modèles mentaux communs sont nécessaires, ainsi qu'une confiance au sein de l'équipe<sup>7</sup>. »

**Last but not least, la créativité.** Alors que l'IA automatise le routinier, la capacité humaine à poser de nouvelles questions, à imaginer des solutions radicalement nouvelles et à faire preuve de jugement créatif peut gagner en valeur, à condition de ne pas développer une dépendance facile à l'IA. Une étude qualitative de l'OCDE sur l'impact de l'IA sur l'emploi note que « la réorganisation des emplois semble plus répandue que le déplacement des emplois [...] vers des tâches dans lesquelles les humains ont un avantage comparatif<sup>8</sup> ». Même lorsque l'IA est utilisée pour créer, en l'état actuel des technologies d'IA, la créativité humaine reste encore derrière le prompt ou le système d'IA qui sert à la création. C'est-à-dire que le remplacement d'un humain par une IA est moins probable que le remplacement d'un humain par un humain sachant s'adjoindre une IA comme assistant.

5. UNESCO, *Ethics of Artificial Intelligence*, s. d.

6. McKinsey & Company, *Superagency in the Workplace: Empowering People to Unlock AI's Full Potential*, 28 janvier 2025.

7. Sophie Berretta, Alina Tausch, Björn Gilles, Corinna Peifer et Annette Kluge, « Defining human-AI teaming the human-centered way: a scoping review and network analysis », *Frontiers in Artificial Intelligence*, 6, 2023.

8. Anna Milanez, « The impact of AI on the workplace: Evidence from OECD case studies of AI implementation », *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, 289, 2023.

### 3.4 Des compétences nouvelles pour l'ingénieur

**Avec la complexification des SIA, certaines compétences critiques deviennent centrales et peuvent être au cœur de nouveaux métiers.** Citons par exemple la collaboration homme-IA (*human-AI teaming*), ou les savoir-faire pour maîtriser l'hybridation de l'IA avec le socle scientifique.

**Les vraies compétences nouvelles sont à chercher dans l'élargissement du socle scientifique lié à l'IA.** Ce sont de nouvelles compétences généralistes que tous les ingénieurs devront comprendre ou posséder à l'image du socle mathématiques enseigné en classe préparatoire scientifique.

**La première est la littératie / culture des données.** Il s'agit de « la capacité d'identifier, de collecter, de traiter, d'analyser et d'interpréter des données afin de comprendre les phénomènes, les processus, les comportements qui les ont générées en sachant faire preuve d'esprit critique<sup>1</sup>. » Il s'agit d'une compétence essentielle puisque la première des conditions pour créer un SIA est d'arriver à lier une problématique d'entreprise avec un jeu de données qu'il faut avoir préférentiellement historisé au préalable.

**La seconde est l'ingénierie des prompts.** Elle consiste à concevoir, tester et affiner des instructions en langage naturel (prompts) pour guider efficacement les modèles d'IA générative (comme les grands modèles de langage) afin d'obtenir les résultats souhaités. Pour atteindre le niveau d'un logiciel complexe il faudra faire des prompts aussi formels et précis qu'un langage de programmation. Mais l'ingénie-

rie des prompts diffère fondamentalement de la programmation traditionnelle car il s'agit d'interagir avec un système probabiliste via le langage, nécessitant une compréhension de ses biais potentiels et de ses modes d'interprétation.

**La troisième est la gestion du cycle de vie des modèles d'IA.** Les ingénieurs ont toujours géré des cycles de vie de produits ou de systèmes. Le cycle de vie spécifique d'un modèle d'IA représente un ensemble de pratiques et d'outils nouveaux : collecte et préparation des données d'entraînement, entraînement, évaluation rigoureuse avec des métriques spécifiques, déploiement, surveillance continue de la performance et de la « dérive » du modèle, réentraînement périodique.

**La quatrième est la connaissance des principes de l'IA et du machine learning.** Il n'est pas forcément nécessaire que tous les ingénieurs deviennent des experts en codage d'algorithmes, mais une compréhension conceptuelle solide des différents types d'IA (symbolique, connexionniste) et des paradigmes d'apprentissage automatique (supervisé, non supervisé, par renforcement) est indispensable. Ils doivent comprendre comment ces modèles fonctionnent à un niveau de base, quelles sont leurs forces, leurs faiblesses, leurs domaines d'application typiques et, surtout, leurs limites intrinsèques. Parmi ces connaissances, il est nécessaire de comprendre les architectures spécifiques de l'apprentissage profond (réseaux de neurones convolutifs, récurrents, transformers, etc.). Ce sont des compétences techniques nouvelles pour la plupart des ingénieurs hors du champ de l'informatique pure.



## TROIS EXEMPLES D'INGÉNIERIE DES PROMPTS SELON IBM<sup>2</sup>



**Le prompt « zero-shot »** fournit au modèle d'apprentissage automatique une tâche pour laquelle il n'a pas été explicitement entraîné. Elle teste la capacité du modèle à produire des résultats pertinents sans s'appuyer sur des exemples antérieurs.

**Le prompt « few-shot »** ou l'apprentissage contextuel fournit au modèle quelques exemples de résultats (shots) pour l'aider à comprendre ce que le demandeur attend de lui. Le modèle d'apprentissage peut mieux comprendre le résultat souhaité s'il dispose d'un contexte sur lequel s'appuyer.

**Le prompt « chaîne de pensée »** ou « *chain-of-thought (CoT)* » ou « chaînes de raisonnement » est une technique avancée qui fournit un raisonnement étape par étape au modèle. Décomposer une tâche complexe en étapes intermédiaires aide le modèle à mieux comprendre le langage et à générer des résultats plus précis.

1. Article « Littératie des données », Wikipédia, s. d.

2. IBM, « Prompt engineering », s. d.

### 3.5 Vers l'ingénieur hybride

**La connaissance approfondie d'un domaine spécifique reste absolument fondamentale** – par exemple, la physique des systèmes électriques, le fonctionnement des réseaux, les caractéristiques des équipements, les contraintes opérationnelles. C'est cette expertise qui permet d'appliquer l'IA de manière pertinente, de poser les bonnes questions, de valider la plausibilité des résultats fournis par l'IA et d'intégrer les solutions dans le contexte opérationnel réel.

**L'analyse de ces évolutions met en lumière le fait que les compétences hybrides deviennent le nouveau standard.**

La valeur ajoutée ne réside plus uniquement dans l'expertise technique pointue dans un domaine, ni dans la maîtrise isolée des outils d'IA. Elle se trouve à l'intersection des deux.

**Le rôle de l'ingénieur est-il encore de résoudre des problèmes ?** L'IA va prendre une place croissante dans tout ce

qui est développement et mise en œuvre, recentrant les activités des ingénieurs sur l'identification de problèmes à résoudre, plus que sur leur résolution proprement dite. Les études d'ingénieurs traditionnelles apprennent à résoudre les problèmes, par opposition au travail de thèse où l'identification du problème et la façon (en principe originale) de le traiter constituent généra-

lement la priorité (et pas toujours la plus simple). L'ingénieur ne doit donc plus être réactif face à un problème qu'on lui soumet (surtout s'il s'agit d'appliquer des méthodologies pré-existantes), mais devenir de plus en plus imaginatif et proactif. C'est une compétence qui se travaille.

**L'ingénieur augmenté de demain doit être capable de comprendre les besoins et les contraintes du monde et de les « traduire » en problèmes solubles par l'IA, puis d'interpréter les solutions numériques proposées par l'IA pour les réappliquer de manière pertinente et sûre dans le monde.** L'IA seule, sans une compréhension profonde du domaine, risque de produire des résultats erronés ou inapplicables. Inversement, une ingénierie qui ignore le potentiel de l'IA et des données se priverait d'outils essentiels pour l'efficacité et l'innovation.

**L'IA manque de jugement.** Si elle excelle dans l'analyse de données et la proposition de solutions optimisées selon certains critères, elle manque de compréhension du contexte global, d'intelligence émotionnelle et de sens éthique. C'est là que les compétences humaines deviennent cruciales. Ces *soft skills*, loin d'être secondaires, deviennent des différentiateurs clés pour les ingénieurs et sont activement recherchés par les employeurs.



### 3.6 Décider : l'IA et le modèle de responsabilité

**Les ingénieurs prennent personnellement des décisions importantes, et ils contribuent à l'élaboration d'autres décisions au sommet de la hiérarchie managériale.** Cela leur confère une responsabilité particulière. La diffusion massive de l'IA amène donc à s'interroger sur son impact sur la responsabilité des ingénieurs, pour deux raisons au moins. La première est que l'IA informe les décisions des humains. Prendre une décision aujourd'hui, pour un ingénieur, c'est de plus en plus s'appuyer sur un diagnostic et des choix établis avec le renfort d'une IA. Il convient donc de savoir avec qui – en l'occurrence avec quoi – on travaille, de connaître les forces, les limites, les biais cognitifs de ce nouveau collaborateur. La seconde raison est que les ingénieurs sont en première ligne pour construire et entraîner les IA spécialisées qui vont façonner une partie du monde de demain. Ils sont alors en amont de systèmes de décision.

**À hauteur d'ingénieur trois questions au moins se posent.**

D'une part, quelle direction acceptons-nous que prenne l'IA : assister l'humain ou piloter l'humain ? D'autre part, comment l'IA affecte-t-elle le travail et pour qui ? Enfin, quelle est l'intention de ceux qui contrôlent ou diffusent l'IA ? Ces trois questions sont intimement liées et définissent sans doute un lien fort entre l'action des ingénieurs aujourd'hui et le modèle de société que nous partagerons demain.

**La première question touche à la direction prise par l'IA : assister ou piloter l'humain ?** Si on met de côté la conception d'un réseau de neurones (qui est du savoir partagé), il y a un double choix crucial dans l'entraînement d'une IA : d'une part la fonction d'objectif qui est optimisée à l'entraînement et d'autre part sur les données sur lesquelles on optimise cette fonction. La combinaison de ces deux choix est cruciale et relève globalement de l'empirisme. Ces choix vont décider du comportement de l'IA lorsqu'elle sera déployée, et donc des impacts que cette IA aura dans des systèmes de décision et *in fine* sur la vie des individus.

**L'éthique de l'IA est encore devant nous.** Les biais liés aux données sont couramment évoqués : par exemple à travers les taux d'erreurs de la reconnaissance faciale algorithmique, bien plus importants pour les femmes ou les personnes de couleur. Allant au-delà de ce biais simple, la mathématicienne américaine Cathy O'Neill, dans *Weapons of Maths Destruction*, s'est intéressée aux impacts sociétaux des biais liés à la fonction d'objectif : elle illustre son propos par divers exemples tirés d'expériences réelles aux Etats-Unis. Elle analyse l'application de l'IA à l'éducation pour évaluer des professeurs, comme l'utilisation de l'IA pour rendre des jugements de justice ou encore pour identifier des zones à risque de criminalité. Le biais de la fonction d'objectif joue directement sur les résultats : maximiser la sécurité ne correspond pas forcément à minimiser les erreurs judiciaires ou à minimiser la récidive. De même, évaluer un professeur sur les résultats de

sa classe aux examens n'est pas la même chose que de l'évaluer sur les progrès de sa classe : Cathy O'Neill décrit comment l'expérience montre que dans le premier cas il risque de se débarrasser des élèves en difficulté, alors que dans le second cas il va les aider. A travers ces exemples on voit que les ingénieurs qui écrivent les algorithmes d'IA ont un impact direct sur le fonctionnement de la cité, donc un rôle très politique. Ce rôle est renforcé par la position d'autorité que l'IA acquiert facilement. « Si c'est un algorithme c'est forcément vrai » ou « si c'est un algorithme alors c'est objectif » : pour être simples et intuitives, ces idées n'en sont pas moins fausses. L'algorithme apporte certes une réponse optimale à ce qu'on lui a demandé. Néanmoins non seulement il a été montré qu'il peut tricher ou halluciner, mais en outre ce qu'on lui a demandé peut ne pas être objectif.

**Si l'IA hallucine éventuellement, elle n'invente pas : elle est un formidable concert de perroquets stochastiques.** Donc à l'extrême son développement ubiquitaire poserait la

question de la continuation de la connaissance scientifique comme de l'art. À ce titre l'offensive des grandes plateformes contre les droits de propriété intellectuelle des auteurs, des journalistes et des artistes est particulièrement préoccupante.

**Il commence à exister des stratégies pour tenter de s'affranchir en partie des hallucinations ou des phénomènes de tricherie.** À partir du moment où on arrive à juger, à mettre une note sur un système d'IA, on peut lui accoler un autre système automatique dont l'objectif est de corriger automatiquement le premier système. Ainsi chez EDF, les systèmes de prévision de consommation d'électricité s'autocorrigent en partie. Néanmoins pour l'instant un prévisionniste humain reste présent pour corriger la prévision du système automatique, par exemple lorsqu'il y a un match de foot. Il en va de même dans les systèmes d'armes, en tous cas en Europe, où un humain doit rester au pilotage de la décision ultime. Si des effectifs d'ingénieurs peuvent être réduits avec l'IA, il ne



### **Ce point amène notre quatrième recommandation :**

dans les usages professionnels, mais aussi

les choix d'investissements, favoriser l'IA explicable (*Explainable AI*, XAI) : des systèmes capables de justifier leurs décisions de manière compréhensible pour les humains. Contrairement aux modèles dits « boîtes noires », l'IA explicable permet aux utilisateurs de comprendre comment une conclusion a été atteinte, en identifiant les critères ou les données qui ont permis d'obtenir le résultat. Cela favorise la confiance, la transparence et l'éthique, notamment dans des domaines sensibles comme la santé, la finance ou la justice. Elle aide aussi les experts à valider, corriger ou améliorer les modèles<sup>1</sup>.

semble pas pour le moment que les métiers puissent être complètement remplacés : l'œil critique d'un expert reste une boucle de rétroaction indispensable sur le système d'intelligence artificielle dans de nombreuses applications, et notamment celles à fort impact sociétal. On voit ainsi se dessiner différents rapports possibles entre IA et travail.

**Comment l'IA affecte-t-elle le travail et pour qui ?** Nous avons beaucoup parlé du travail des ingénieurs, mais ceux-ci font aussi travailler d'autres personnes et définissent le travail de ces personnes. Début 2023 la presse révélait qu'OpenAI faisait appel à des travailleurs payés sous le seuil mondial de pauvreté au Kenya pour entraîner ses algorithmes<sup>2</sup>. Ainsi la promesse de l'IA sur le travail fait écho à celle des débuts de la révolution industrielle : libérer l'homme du travail, mais peut-être pas tous les hommes. Les plus gros contingents de personnes travaillant à mettre en place l'IA ne sont pas les ingénieurs payés plusieurs centaines de milliers d'euros par an, mais les travailleurs du clic sous-payés qui préparent des données pour eux dans des conditions parfois déplorables. Pour paraphraser Orwell, on est tous égaux face à l'IA, mais certains le sont plus que d'autres.

**Lorsqu'on se rapproche de l'utilisateur de l'IA on peut faire quelques hypothèses sur la manière dont l'automatisation à base d'IA pourrait se répartir entre facilitation et remplacement.** Un certain nombre de tâches que l'anthropologue David Graeber désignait comme « *bullshit jobs* » peuvent sans aucun doute être remplacées, comme les comptes-rendus de réunion. D'autres peuvent être puissamment améliorées, comme le développement informatique ou l'analyse d'images médicales. Mais quels métiers sont alors concernés par la facilitation ou le remplacement ? Quelles sont les limites de ce que pourrait-être l'équivalent dans le monde de l'IA du Chaplin des *Temps Modernes*, entre ingénieur, opérateur ou rouage ?

**Quatre embranchements semblent se dessiner** entre les utilisateurs qui vont utiliser passivement des IA voire agir en fonction des ordres de ces IA, ceux qui vont piloter des IA pour faciliter ou accélérer leur travail, les travailleurs invisibles qui rendent possible l'IA, et les concepteurs qui vont écrire les algorithmes d'IA et donc décider de leur objectif et de leur méta-comportement (en distinguant, chez ces concepteurs, maître d'œuvre et maître d'ouvrage). Cet embranchement peut changer la nature d'un métier, mettre en jeu son existence, mais aussi la responsabilité et l'autonomie qui y est attachée.

**Si l'incertitude est grande quant à l'impact de l'IA sur le travail, quelques éléments semblent assez nets.** D'abord dans la logique des grands acteurs actuels de l'IA il n'y a aucun intérêt économique à remplacer les travaux à faible valeur ajoutée : des armées de travailleurs pauvres payés

2\$ par heure sont l'option de choix pour OpenAI. Ensuite celui qui ne fait qu'utiliser peut bien entendu augmenter sa capacité d'ingénieur, mais il peut aussi perdre en autonomie, en capacité d'imagination ou innovation. Parmi ces utilisateurs passifs ce sont ceux qui exercent des métiers considérés aujourd'hui à forte valeur ajoutée dont le remplacement est rentable : juriste, analyste financier, publicitaire, radiologue, etc. Quant à celui qui écrit l'algorithme, il écrit la « loi » ou en tout cas la manière dont les choses vont fonctionner pour tous les autres.

**Cela nous amène à la question des intentions et sous-jacents idéologiques.** L'outil est neutre, il n'a pas d'intention, tout dépend de comment on l'utilise... Néanmoins tout ressemble rapidement à un clou pour qui a un marteau : l'outil n'a pas de volonté propre mais il façonne l'imaginaire de celui qui l'utilise.

**Dans quel cadre d'intentions s'inscrit l'outil « intelligence artificielle » aujourd'hui ?** Cette question n'est pas superflète si l'on s'intéresse aux écrits et aux déclarations de ceux qui forgent depuis plus de vingt ans l'imaginaire et la pensée d'une grande partie des fabricants actuels des IA, *venture capitalists* ou *techbros* de la Silicon Valley. Pour le puissant Peter Thiel, ancien conseiller de Trump, mentor et financeur de JD Vance, investisseur essentiel de Meta ou de la plateforme d'IA de surveillance Palantir, l'objectif de la technologie est de détruire la démocratie analysée comme une ennemie de la (sa ?) liberté. Pour Curtis Yarvin, l'un de ces théoriciens les plus influents des mouvements libertariens en plein développement dans la Silicon Valley, aussi connu sous le pseudonyme de Mencius Moldbug, 100 millions d'individus sur terre ont une place et une utilité dans un monde où l'IA est largement développée : les autres ont vocation à être enfermés dans des camps ou des sous-sols avec des casques de réalité virtuelle en attendant la fin de leur passage sur terre<sup>3</sup>.

**Nous concluons donc cette section en insistant sur le rôle éducatif de l'ingénieur.** Nous, ingénieurs, pouvons apporter un éclairage essentiel à l'ensemble de la société dans cette nouvelle révolution technologique, notamment grâce aux connaissances informatiques ou mathématiques que nous avons eu la chance d'acquérir. Mais cet éclairage s'il est humaniste et démocratique, ne saurait être un accaparement du pouvoir comme l'ont fait un Elon Musk et ses jeunes ingénieurs du DOGE. En 2000 le juriste Lawrence Lessig écrivait un article fameux, « *Code is law*<sup>4</sup> », dans lequel il avertissait du risque que le code (informatique) ne devienne la loi de fait, en imposant les règles du code dans la réalité pratique : un tel mouvement pourrait conduire à la constitution d'une oligarchie de ceux qui écrivent le code, et donc la destruction de l'état de Droit. Les ingénieurs ont une responsabilité particulière pour éviter ce risque.

1. Voir notamment IBM, « Qu'est-ce que l'IA explicable ? », s. d.

2. Billy Perrigo, « OpenAI used Kenyan workers on less than \$2 per hour to make ChatGPT less toxic », *Time*, 18 janvier 2023.

3. « Se préparer à l'Empire : Curtis Yarvin, prophète des Lumières noires », *Le Grand Continent*, 21 janvier 2025.

4. Lawrence Lessig, « Code is law: on liberty in cyberspace », *Harvard Magazine*, janvier 2000.



## 4. LES ENJEUX DE FORMATION, DANS LES ENTREPRISES ET DANS LES ÉCOLES

### 4.1 Une question majeure, que l'on peut aborder de plusieurs façons

**La question de la formation est à la fois centrale et majeure.**

Notre enquête amène un certain nombre d'analyses et de recommandations, mais avant de les présenter nous mentionnerons ici trois perspectives qui permettent de les éclairer.

**La première perspective est donnée dans un rapport de l'OCDE, qui en fait un sujet de développement et de croissance économique dans le contexte de la transition environnementale.** L'organisation insiste sur l'urgence de combler le déficit de compétences IA<sup>1</sup>. Les pays développés ont tous un besoin accru de spécialistes de l'IA et de travailleurs maîtrisant l'IA.

**La note d'orientation associée au rapport de l'OCDE<sup>2</sup>** évoque la nécessité de mobiliser des efforts supplémentaires pour garantir que les programmes de formation soient bien adaptés à la préparation des adultes au futur monde du travail axé sur l'IA. Elle propose de développer un éventail plus large de formations pour promouvoir la maîtrise générale de l'IA car jusqu'ici surtout des contenus avancés existent. Elle suggère aussi d'inciter à la collaboration avec l'industrie et au développement de parcours d'apprentissage plus inclusifs ciblant d'une part, la maîtrise générale de l'IA, d'autre part, les compétences avancées en IA.

**Une deuxième perspective est celle des ingénieurs et des compétences sur lesquelles ils se sentent en défaut.** La présente étude s'est nourrie des témoignages de la communauté CentraleSupélec Alumni. Mais on peut aussi se référer à une étude déjà ancienne<sup>3</sup> de la Commission des titres d'ingénieur auprès des jeunes diplômés. Elle faisait apparaître des compétences jugées importantes par plus de la moitié des ingénieurs et, en même temps, auxquelles plus de la moitié des ingénieurs estimaient ne pas être suffisamment bien préparés. On est frappé aujourd'hui de l'imbrication entre ces besoins ressentis il y a neuf ans et les enjeux d'aujourd'hui avec l'IA.

Une troisième perspective enfin est offerte par les recommandations de la Commission Intelligence artificielle, qui vise à maintenir la France dans la course à l'IA. Ce rapport<sup>4</sup> de mars 2024 présente 25 recommandations résumées en six lignes d'action, qui visent à donner des moyens au secteur.

**La première ligne d'action citée concerne directement la formation** dont celle des ingénieurs : « lancer immédiatement un plan de sensibilisation et de formation de la nation ».

**La recommandation de « réorienter structurellement l'épargne vers l'innovation »** et créer, à court terme, un fonds France & IA de 10 milliards d'euros pour financer l'émergence de l'écosystème d'IA ouvre sur la possibilité de bénéficier directement de supports financiers pour la création de formations.

**La recommandation de « faire de la France un pôle majeur de la puissance de calcul »** ouvre sur la possibilité de se doter de calculateurs et de les utiliser pour les chercheurs participant aux formations. De notre point de vue, c'est un point majeur : sans puissance de calcul, aucun contrôle de l'IA car c'est le socle même de son développement depuis dix ans.

**La recommandation de « faciliter l'accès aux données »** va également dans le bon sens, sous réserve de respect de la RGPD ; elle ouvre l'opportunité d'utiliser les jeux de données pour illustrer les formations.

**La recommandation d'« assumer le principe d'une exception IA dans la recherche publique »** va elle aussi dans le bon sens puisqu'elle permettra de financer les enseignants-chercheurs en IA et de les maintenir dans le système d'enseignement public quand le privé leur fait des ponts d'or.

**Enfin, la recommandation de « promouvoir une gouvernance mondiale de l'IA »** aurait son intérêt, car elle permet d'illustrer une IA plus éthique lors des formations. Mais dans la situation géopolitique actuelle elle semble illusoire.

1. OECD, *Training Supply for the Green and AI Transitions: Equipping Workers with the Right Skills, Getting Skills Right*, OECD Publishing, 2024.

2. OECD, « Bridging the AI skills gap », *Policy Brief*, 24 avril 2025.

3. CTI, *La Vision des jeunes diplômés sur les compétences développées en formation*, 2016.

4. Commission Intelligence artificielle, *IA : Notre ambition pour la France*, mars 2024.

5. Frédéric Pascal, François Taadei, Marc de Falco et Émilie-Pauline Gallié, *IA et enseignement supérieur : formation, structuration et appropriation par la société*, rapport, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 10 juin 2025.



## LES COMPÉTENCES EN DÉFAUT SELON LES JEUNES INGÉNIEURS INTERROGÉS PAR LA CTI



**La première était la capacité à s'intégrer dans une organisation**, à l'animer et à la faire évoluer — une compétence humaine essentielle de collaboration servant aussi avec les SIA.

**La seconde était la prise en compte des enjeux industriels, économiques et professionnels** — compétence essentielle pour la littératie des données et, au-delà, pour la place de l'ingénieur dans un monde où l'IA a pris plus de place.

**La troisième était la capacité à opérer ses choix professionnels** et à s'insérer dans la vie professionnelle ; compétence là encore essentielle dans un monde en cours de transformation par les SIA.

**La quatrième enfin était l'aptitude à travailler en contexte international**, compétence nécessaire dans un monde globalisé alors que l'IA est sujet aux biais culturels et que les SIA comprennent moins les subtilités culturelles.



## IA ET ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : UN CADRE GÉNÉRAL



Frédéric Pascal (coauteur du présent rapport) a remis en juillet 2025 à la ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche un rapport sur l'IA et l'enseignement supérieur<sup>5</sup> qui dresse un cadre général pour réfléchir au cas particulier des écoles d'ingénieurs. Il comprend 26 recommandations. Quatre points en particulier ont retenu notre attention, pour penser l'insertion de l'IA dans les formations.

**En premier lieu, l'IA est « un accélérateur des transitions vers une société apprenante »** : elle rend évident les besoins de se former, mais joue aussi un rôle de facilitateur. Les établissements d'enseignement supérieur jouent un rôle central dans cette ambition, y compris dans le cadre de la formation tout au long de la vie.

**Le rapport pointe ici l'enjeu crucial de la formation des enseignants-chercheurs et des enseignants.** « L'usage de l'IA nécessite

*des apprentissages par la pratique (learning by doing), en complément des cours théoriques, la formation tout à distance, qui s'appuierait sur des supports de cours réalisés par quelques universités, n'est pas envisageable ».* Les auteurs appellent, au sein des établissements, « à favoriser la mutualisation et le développement de personnes ressources IA, parmi tous les acteurs des établissements ».

**Le rapport note ensuite l'importance de faire évoluer le contenu des enseignements et appelle les établissements à se saisir des possibilités offertes par la loi.** « L'article 7 de l'arrêté du 22 janvier 2014 fixant le cadre national des formations conduisant à la délivrance des diplômes nationaux de licence, de licence professionnelle et de master, permet de faire évoluer les parcours au sein des mentions de chaque formation en dehors des périodes d'accréditation pour ajuster les formations notamment aux évolutions technologiques et scien-

*tifiques. Ces modalités doivent être davantage connues dans les établissements ».*

**Enfin, comme la Commission Intelligence artificielle, les auteurs mettent l'accent sur l'importance des infrastructures.** « La mise en place d'outils d'IA de manière souveraine est inextricablement liée à la question des infrastructures, que ce soit par des déploiements propres ou via des contrats avec des acteurs privés. » (...) « L'offre de formation en IA cœur est développée mais il faut s'assurer qu'elle est attractive et répond aux besoins de la nation ». Par ailleurs un sujet de préoccupation est « la disponibilité des enseignants-chercheurs pour assurer ces formations, alors que beaucoup sont sollicités par le secteur privé qui offre des conditions financières de travail beaucoup plus avantageuses ».

## 4.2 Un impératif : adapter rapidement les systèmes de formation des ingénieurs

L'ampleur des transformations des métiers et des compétences induites par l'IA rend impérative une adaptation profonde et rapide des systèmes de formation des ingénieurs, tant initiale que continue.

Les cursus traditionnels d'ingénierie, même les plus réputés, doivent être revus pour intégrer de manière transversale ou via des spécialisations dédiées les fondamentaux de l'intelligence artificielle, de la science des données, de la programmation et des compétences associées. Il ne s'agit pas tant d'ajouter quelques cours dans des cursus déjà chargés que potentiellement de repenser la structure et la pédagogie pour préparer les futurs ingénieurs à travailler dans un environnement où l'IA est omniprésente. Cela passe par la formation méthodique à l'utilisation de l'IA générative à la fois d'un point de vue technique et éthique, et à une réflexion sur les transformations de chaque métier d'ingénieur dues à l'IA. Prenons l'exemple d'une révolution technologique antérieure : l'avènement de l'informatique et la démocratisation de l'ordinateur personnel. Elle a transformé le marché de l'emploi, détruit, crée, modifié de nombreux métiers. Quel est le constat aujourd'hui ? Tous les ingénieurs ne sont pas devenus informaticiens, mais ils ont tous un niveau minimal concernant l'utilisation des outils informatiques et ils développent des compétences spécifiques sur ce sujet en fonction de leur secteur d'activité. On pourrait partir du principe qu'il va se produire la même chose avec les outils d'IA, à une vitesse supérieure. Il faut donc gérer à la fois l'ampleur de la transformation et sa rapidité.

**En formation initiale, tous les élèves ingénieurs quelle que soit leur formation doivent apprendre rapidement comment fonctionnent les outils d'IA générative pour en être des utilisateurs intelligents.** Des modules de cours sous forme de projets et de MOOC peuvent permettre de comprendre comment un outil d'IA générative est conçu, comment on peut l'entraîner et comment on peut valider les résultats, dans un domaine qu'on maîtrise.

**Chaque formation, en fonction de sa spécialisation, doit s'interroger sur la manière dont les outils d'IA transforment les métiers d'ingénieur auxquelles elle forme.** Cela concerne toutes les phases du processus d'industrialisation (conception, production, gestion des opérations, gestion du cycle de vie) et tous les secteurs d'activité : en informatique, data, IA bien sûr, mais également comme nous l'avons vu en génie mécanique, génie civil, etc...

**Parallèlement, étant donnée la vitesse d'évolution de l'IA, la formation initiale ne peut plus suffire.** La formation tout au long de la vie devient une nécessité absolue pour que les ingénieurs en poste puissent maintenir leurs compétences à jour, acquérir de nouvelles expertises liées à l'IA et s'adapter aux évolutions de leur métier tout au long de leur carrière.



**Pour des ingénieurs déjà diplômés, il conviendra de libérer du temps** pour qu'ils puissent suivre des MOOC préalablement sélectionnés, ou des formations complémentaires sur l'IA et pour imaginer comment ces nouvelles compétences IA peuvent être utilisées dans leurs environnements opérationnels.

**Pour les étudiants, il faut s'assurer que leurs professeurs comprennent les transformations qu'apportent l'IA dans leur domaine ou qu'ils aient eu le temps de quantifier ces transformations.** Il faut à la fois explorer les possibilités offertes par les outils d'IA centrés données (numériques), centrés connaissances formelles (symbolique) et hybrides.

**Dans le cadre du cursus des classes préparatoires suivi d'une école d'ingénieurs, il serait utile d'introduire formellement un usage méthodique de l'IA dès les classes préparatoires** en l'associant avec des enseignements déjà existants — et en sachant que 80 % des lycéens l'utilisent déjà.

**Il faudra rester vigilant sur les points suivants qui constituent des freins à la formation des étudiants ou des ingénieurs en IA.**

**Le premier est le décalage des cursus.** Les progrès rapides de l'IA encouragent à améliorer les cursus de formation de manière dynamique à chaque innovation majeure

**Le second est l'expertise des formateurs.** Il faut encourager les interventions de vacataires issues de l'industrie avec une compétence hybride IA. De plus, il faudra s'assurer que les enseignants-chercheurs sont conscients des opportunités de l'IA pour leur domaine de recherche en encourageant les publications d'articles liées à l'IA.

**Le troisième est la scalabilité.** Il ne faut pas sous-estimer les défis logistiques et financiers pour former en masse. Cela demande une adhésion et une mobilisation de tous les dirigeants.

Le quatrième est l'approche pédagogique. Pour comprendre l'IA, il est nécessaire d'aller au-delà de la théorie en utilisant des exemples concrets via les jeux de données publiques par exemple. En particulier dans les écoles d'ingénieurs qui ne forment pas des ingénieurs cœur-IA, se concentrer sur l'ingénierie de l'IA.

### 4.3 Les enjeux transverses

Dans tous les domaines, les ingénieurs sont aujourd'hui confrontés aux mêmes questions, sur lesquelles ils ont besoin de développer des compétences.

**Comment utiliser efficacement les outils d'IA** générative comme accélérateur de performance pour des tâches plus ou moins élémentaires (génération de documents, de codes).

**Comment « piloter » les outils d'IA** : comment choisir un outil d'IA et comment valider les résultats fournis par une IA.

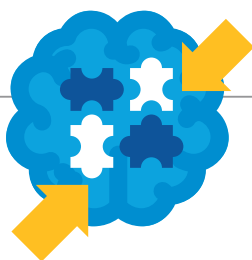
**Comment s'approprier les problématiques de responsabilité** et en devenir acteur.

**Comment appréhender, dans son propre domaine d'ingénierie, comment les outils d'IA** peuvent – ou pas – être source de changement radical.

**Comment spécifier, développer, créer de nouveaux outils d'IA** adaptés aux besoins de son domaine d'ingénierie.

**Comment prescrire des politiques de choix d'outils**, d'investissement dans les entreprises, comment redonner la main aux ingénieurs dans le management de l'IA - Notamment face aux DSI

**Ces questions appellent des réponses à la fois individuelles et collectives.** L'enjeu ici est de passer d'un apprentissage « sauvage », chacun dans son coin et avec des outils pas forcément maîtrisés ni autorisés, à une montée en compétence permettant de s'orienter. Cette montée en compétence peut se faire dans le cadre formel d'une formation, mais aussi sous la forme de séminaires entre collègues. Il est crucial pour les entreprises de reconnaître ce besoin et d'y affecter du temps (à tout le moins) et des moyens.



### 4.4 Les réponses de formation à ces enjeux transverses

Chacun de ces enjeux a son corollaire en termes de formation, que ce soit en formation initiale ou continue. Pour les domaines hors cœur-IA, dont le niveau d'expertise en Informatique, Data, IA est plus ou moins avancé, il s'agit de :

**Former les élèves et les ingénieurs à la génération efficace de prompts** pour des tâches transverses à tous les domaines d'ingénierie.

**Former les élèves et les ingénieurs aux problématiques de validation des résultats d'une IA.** Il faut pour tous un minimum de compréhension technique des outils, de leur usage, de ce qu'ils produisent. Il faut apprendre à ne pas se précipiter vers des architectures très compliquées, éviter de trop complexifier. A des niveaux d'expertise variables et qui peuvent nécessiter un travail d'équipe ou inter-service dans une entreprise, cela passe par la capacité à **1)** choisir les fonctions « objectif » ; **2)** choisir les bases d'apprentissage et entraîner les outils d'IA ; **3)** comprendre et exiger l'explicabilité des résultats ;

**4) vérifier la cohérence des résultats.** Cela requiert à la fois des compétences en modélisation, simulation et prédiction basées sur les données et des connaissances métiers spécifiques au domaine d'ingénierie, ou le cas échéant, la capacité à les mobiliser.

**Former les élèves et les ingénieurs aux problématiques d'éthique et de responsabilité afin qu'ils soient acteurs des choix politiques et sociétaux à venir.** Un monde professionnel partagé avec les SIA exige des compétences en éthique, de l'esprit critique, et des compétences juridiques (à commencer par le droit des données).

**Dans un domaine d'ingénierie donné, aider les élèves et les ingénieurs à être capable de distinguer la valeur ajoutée et les limites des outils d'IA.**

**Dans un domaine d'ingénierie donnée autre que cœur-IA, aider les élèves et ingénieurs à être capable de spécifier/développer/créer de nouveaux outils d'IA** en contribuant à plusieurs niveaux : création de nouveaux modèles, création de bases de données, structuration de la connaissance, spécification de besoins.

## 4.5 Le cas de la formation professionnelle

Il est important d'avoir une démarche agile et évolutive fondée sur une adaptation aux besoins de l'entreprise et une mise à jour en fonction des évolutions de la technologie. Une démarche de formation partant de ces besoins pourrait articuler différents éléments.

**Premier élément, une offre intra-entreprise de création/co-crédation de contenu dédié** pour les collaborateurs afin de répondre à des besoins spécifiques, avec des use-cases dans le domaine de l'entreprise.

**Deuxième élément, une offre de formation continue « sur étagère »**, évolutive en fonction des avancées de la technologie. Cela pourrait se traduire par une formation longue de type Mastère Spécialisé (1 année ou 400 heures), ou des Executive Certificates « Experts en IA » permettant une montée

en compétence significative, une réorientation de carrière, voire une création d'entreprise. Autre formule, une formation courte experte ou acculturation dans tous les domaines de l'IA afin de comprendre les enjeux, les limites, les risques, de comprendre les usages, les bonnes pratiques ; et, si intérêt, de démarrer une formation dans le but de continuer vers formations expertes. Ce type de démarche permet une montée en compétence forte en accord avec les besoins du marché et l'évolution des technologies. Elle permet aux entreprises d'éviter le « *shadow AI* » et de mieux contrôler les usages en interne. Elle ouvre sur la possibilité d'amorcer la transfo IA de l'entreprise en impliquant tous les services (RH, DAF, compliance), et pas seulement les profils R&D, ingénieurs ou data scientists).

**Enfin, il sera essentiel d'accompagner ces approches par la mise en place de dispositifs d'évaluation continue et de retours d'expérience**, afin d'ajuster les parcours et de garantir leur pertinence face aux mutations rapides de la technologie.

## 4.6 Le cycle d'ingénieur

L'évolution de la formation initiale dans le cycle ingénieur dans une école comme CentraleSupélec devra respecter plusieurs principes.

**Le premier est le développement de compétences transverses** : juridiques, éthiques, environnementales pour tous les domaines d'ingénierie. Il serait également pertinent d'intégrer dans chaque cursus des modules de réflexion critique sur les impacts sociétaux et déontologiques de l'IA, favorisant ainsi l'émergence de profils responsables, capables d'anticiper les évolutions et de s'engager dans une démarche éthique.

**Le second : le développement des compétences avancées (LLM)** pour la formation info/math.

**Le troisième est l'intégration de modules ou de cours d'IA dans les différents domaines d'ingénierie hors cœur-IA** (mécanique, chimie...). Ces savoirs fondamentaux vont voir leur importance se renforcer, mais ils seront aussi en prise avec des usages et des outils IA. Bien gérer l'articulation entre savoirs fondamentaux et SIA est d'ores et déjà une compétence-clé de l'ingénieur.

**Le quatrième est de connecter l'insertion de l'IA dans le cycle d'ingénieur aux usages et besoins en entreprise**, soit en mobilisant les alumni, soit en tirant parti de la formation continue. La mise en réseau des différents acteurs – enseignants, alumni, experts métiers – serait un levier essentiel pour garantir une adéquation constante entre savoirs théoriques et besoins opérationnels.

**Nous terminerons cette section avec des recommandations pour CentraleSupélec et les autres écoles d'ingénieurs.**







**Recommandation 5 :** pour insérer l'IA dans les formations, faire preuve d'agilité, de flexibilité et d'adaptabilité. L'IA évolue constamment, ses usages aussi, les besoins des étudiants et des entreprises également. Il est capital de se placer dans une dynamique d'apprentissage continu, en mettant l'accent sur l'agilité pédagogique et l'adaptabilité des programmes.

**Recommandation 6 :** conserver l'excellence et l'expertise scientifique. Avec l'intelligence humaine et les *soft skills*, c'est la dimension des compétences qui ressort renforcée de l'arrivée de l'IA. Il faut la préserver et la développer, aussi bien dans le corps des enseignants-chercheurs que chez les élèves.

**Recommandation 7 :** intégrer un volet sur l'IA responsable (éthique et bas carbone) dans les formations à l'IA dispensées dans les écoles d'ingénieurs.



# DIX MESSAGES EN CONCLUSION

## » AUX ENTREPRISES, AUX RECRUTEURS, AUX MANAGERS

**L'IA fait partie du jeu, il faut autoriser et valoriser ses usages, les encadrer, alerter sur les risques des usages clandestins ou discrets, bref acculturer et former dirigeants, managers et collaborateurs.** Et leur ouvrir des espaces pour discuter des transformations et des opportunités.

**Il est crucial de repenser l'insertion des juniors et leur rôle dans les équipes.** Certaines tâches des fonctions des stagiaires et des juniors sont désormais remplies par les IA. Mais le recrutement et la formation des jeunes reste un enjeu et les tâches qui disparaissent avaient une fonction d'acculturation aux réalités du métier, de l'entreprise, et plus généralement du travail.

**L'IA ne remplace pas les ingénieurs :** elle accélère certaines de leurs activités mais exige d'autant plus d'attention pour organiser, contrôler ou finaliser le travail. Les facilités induites par l'IA pourraient donner l'impression à certaines organisations qu'elles peuvent se passer d'ingénieurs, et donc marginaliser ceux-ci dans le fonctionnement et les processus de décision de l'entreprise. L'usage de l'IA demande au contraire un surcroît de rigueur scientifique et technique et une intelligence de ses manières de faire.

## » AUX INGÉNIEURS

**Votre métier se transforme sous vos yeux, mais il ne disparaît pas :** les besoins en ingénieurs sont toujours aussi criants, et les compétences fondamentales qui sont au cœur de votre métier ne cessent de prendre de la valeur.

**L'IA n'est pas qu'une compétence technique que vous pourriez apprivoiser seul comme on apprend parfois seul à coder.** Elle engage d'autres compétences, et pour monter en capacité vous avez tout à gagner à vous appuyer sur la force d'un collectif – vos collègues, les alumni de votre école – ou d'une institution : votre entreprise dans ses démarches de formation, une école, une université.

**Vous avez une responsabilité face à l'IA.** Par votre formation et vos compétences vous devez plus que quiconque savoir et comprendre ce qu'est et n'est pas une IA. Ensuite vous devez diffuser une analyse critique et rationnelle pour contribuer à la protection de la société face au risque de « mysticisme de l'IA » et face aux velléités d'usages contraires à l'État de droit démocratique.

## » AUX ÉLÈVES ET ÉTUDIANTS

**Ne lâchez pas la proie pour l'ombre.** Vous serez des IA natives et vous avez tout à gagner à vous projeter dans ces nouveaux usages et ces nouveaux savoir-faire. Mais les compétences fondamentales du métier d'ingénieur et la rigueur scientifique font toujours la différence — et même plus que jamais.

**Vous avez une mission.** L'IA peut prendre bien des directions, et au plan éthique elles n'ont pas toutes la même exigence. C'est la force de travail, dans la conception et l'entraînement des SIA, qui imposera les normes et la régulation de l'IA. Ce travail, de toute façon, sera fait par quelqu'un, et ce quelqu'un imposera ses normes. Vous avez une mission : prendre le contrôle sur ces sujets. À vous de jouer.

## » AUX ÉCOLES D'INGÉNIEURS

**L'IA doit entrer dans tous vos enseignements.** C'est une question de volonté et ce sera aussi, pendant quelques années, une question de moyens car les bons spécialistes s'arrachent. Assumez-le sans vous cacher : les enjeux sont immenses, pour vous, pour vos élèves, pour les industries qui les recruteront, pour le pays et pour l'Europe.

**Mais la révolution de l'IA vous impose aussi de conserver et développer vos points forts sur les compétences fondamentales et les savoirs scientifiques.** Et elle exige de former vos étudiants aux compétences qu'ils réclament depuis longtemps et dont l'IA accroît la nécessité.

# LES AUTEURS

## Yann Allieux

Data scientist, chef de projet AI au centre R&D d'EDF (programme d'optimisation de distribution d'électricité), intervenant à CentraleSupélec.

## Anne Barros

Directrice du département Génie Industriel et Opérations, directrice du laboratoire de Génie industriel, titulaire de la chaire « Risque et résilience des systèmes complexes », CentraleSupélec.

## Nicolas Bièvre

Ingénieur en apprentissage automatique chez Meta (classement des publicités, personnalisation, systèmes de recommandation).

## Matthieu Hug

Entrepreneur, fondateur en 2004 de RunMyProcesset en 2017 de Tilkal, une plateforme de traçabilité et de transparence des chaînes d'approvisionnement industrielles.

## Frédéric Pascal

Professeur au laboratoire L2S de CentraleSupélec, directeur de DataAI, l'Institut d'IA de Paris-Saclay, vice-président IA de l'Université Paris-Saclay.

## Patrick Pérez

Directeur général de Kyutai, laboratoire dédié à la recherche ouverte sur les grands modèles généralistes, ancien vice-président IA de Valeo.

## Victoria Saint Olive

Responsable sécurité des produits du groupe Thales, ancienne responsable de l'unité Cybersecrétité de la Thales Digital Factory.

## Richard Robert

*coordination éditoriale*

Directeur des études de l'Institut de prospective CentraleSupélec Alumni.



# FAIRE UN DON

## » En ligne

Rendez-vous sur [www.institut-pcsa.fr](http://www.institut-pcsa.fr), rubrique « Nous soutenir », ou scannez le QR code



## » Par courrier

Envoyez un chèque libellé à l'ordre de « Fonds de dotation IPCSA » à l'adresse suivante : IPCSA - 8, rue Jean Goujon 75008 PARIS

## » Nous contacter

**président**  
president@institut-pcsa.fr

**contact**  
contact@institut-pcsa.fr











## Un think tank au service de l'innovation et de l'anticipation des enjeux sociétaux

Composé d'anciens élèves de l'école, d'experts et de professionnels issus de divers secteurs, l'Institut se veut un lieu d'échange et de réflexion. À travers des études, des publications et des conférences, il vise à éclairer les décisions des acteurs économiques et politiques face aux principaux défis contemporains. L'Institut de Prospective CentraleSupélec Alumni s'engage à être un acteur clé dans le débat public, en proposant des solutions concrètes et des visions éclairées sur les enjeux de demain.

### Comité éditorial

- **Président** : Jean-Loïc Galle
- **Équipe** : Marc Darras, Valérie Ferreboeuf, Jérôme Souied, Hugues Lavandier, Matthieu Hug, Marina-Eve Hashim

### Comité scientifique

- Étienne Klein, Carmen Munoz, Paul-Henry Cournède

### Conseil d'administration

- **Président** : Jean-Joseph Henry
- **Administrateurs** : Guy Delcroix, Géraldine Fonty, Vincent Jolys

### Directeur des études

- Richard Robert

