



**Think
Tank.**

**Arts &
Métiers**

COMMENT L'IA RÉVOLUTIONNE LES MÉTIERS D'INGÉNIEUR : L'ESSOR DE L'INGÉNIERIE GÉNÉRATIVE

RAPPORT / JUIN 2025

SOMMAIRE

Préface par Christophe Liénard.....	4
Avant-propos par le Pr Francisco Chinesta.....	6
Introduction.....	10
I. QUAND L'IA GÉNÉRATIVE DÉBRIDE LES CAPACITÉS D'OPTIMISATION....	23
Tendance 1 : l'optimisation multidimensionnelle.....	23
Tendance 2 : la décision optimisée en temps réel.....	27
Tendance 3 : l'accélération de la conception.....	29
II. QUAND LES Jumeaux Numériques Intelligents Transforment	
 LES INDUSTRIES.....	32
Tendance 4: la capacité d'auto-amélioration et de mise en conformité.....	32
Tendance 5 : le désilotage à toutes les échelles.....	34
Tendance 6 : l'accélération de l'innovation grâce au prototypage	
virtuel.....	37
III. QUAND L'IA GÉNÉRATIVE, AGENT AUTONOME AIDE À RÉSOUDRE	
 LE PROBLÈME.....	42
Tendance 7: les diagnostics prédictifs, préventifs et curatifs.....	44
Tendance 8 : l'apprentissage adaptatif.....	45
Tendance 9 : la créativité et la rigueur analytique augmentées.....	47

IV. LES CONDITIONS DE SUCCES DE L'INGENIERIE GENERATIVE	54
4.1 Poursuivre les efforts de sobriété et de soutenabilité.....	54
4.2 Poursuivre les justes équilibres.....	56
4.3 Favoriser un nouvel exercice du métier d'ingénieur.....	61
 Conclusion	69
 ANNEXES.....	73
Glossaire.....	73
Note de méthode.....	77
Revue de littérature par domaine d'activité.....	79
Références : une sélection de 36 sources pour aller plus loin.....	85
Auteurs et composition du groupe de réflexion.....	88

PRÉFACE

*par Christophe LIÉNARD, Directeur central de l'innovation –
Groupe Bouygues - Président du collectif Impact AI*

L'intelligence artificielle, et plus encore l'IA générative, est en train de transformer en profondeur les métiers de l'ingénierie. Ce n'est pas une évolution cosmétique, mais une bascule. Nous passons d'une ingénierie sous contraintes à une ingénierie augmentée — capable d'itérer, de simuler, d'optimiser à une vitesse et une échelle inédites.

Ce rapport du Think Tank Arts & Métiers arrive à point nommé. Il montre que l'IA générative ne se contente pas de remplacer ou d'automatiser. Elle amplifie l'ingéniosité humaine, elle permet de travailler avec des compagnons IA capables de générer, proposer, anticiper. Elle fait des jumeaux numériques une réalité vivante, agile, évolutive, et non plus une maquette figée. Elle donne au jeune ingénieur l'accès au savoir accumulé de toute une profession, elle ouvre des perspectives nouvelles sur l'attractivité du métier, son impact, sa responsabilité.

Je retrouve dans cette étude des intuitions que nous vivons déjà concrètement, chez Bouygues comme au sein du collectif Impact AI, que je préside. L'IA s'infiltre dans tous les métiers de l'ingénierie — du génie civil à l'électronique, du management de projet à la modélisation des systèmes complexes. Elle ne remplace pas l'ingénieur : elle le transforme, elle le révèle. Et surtout,

elle l'équipe pour relever les défis gigantesques de notre temps : urgence climatique, transition énergétique, réindustrialisation, résilience des territoires.

Ce rapport n'est pas un point final. C'est un point de départ. À tous ceux qui pensent que l'IA est réservée aux métiers du numérique : regardez ce que l'ingénierie en fait déjà. Et imaginez ce que nous pourrions en faire demain.

AVANT-PROPOS

*par Francisco CHINESTA, professeur des universités en physique
numérique à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers*

L'INGÉNIEUR CRÉATEUR ET OPÉRATEUR

Dans mes cours, j'explique aux étudiants qu'un ingénieur, c'est utile. Cela sert à des choses : à créer et à opérer.

Créer quelle est la difficulté ? que l'objet n'existe pas. Quel est l'avantage ? que l'on a un peu de temps. Quand il s'agit d'opérer, quel est l'avantage ? : que l'objet existe déjà et quelle est la difficulté ? : qu'il faut aller très vite.

Un ingénieur est capable de concevoir et d'opérer. Et c'est pour cela qu'on a besoin de modèles. Quand on opère, on a besoin de se projeter dans le futur qu'on opère, quand on conçoit, c'est dans une réalité nouvelle que l'on va faire exister. Et pour faire cela, vous avez 3 alternatives : les tarots, la boule de cristal ou l'ingénierie. Le rapport couvre bien ces deux pans de l'ingénierie de conception et de l'ingénierie d'exploitation.

LA DIFFÉRENCE ENTRE L'IA CLASSIQUE ET L'IA GÉNÉRATIVE

L'IA classique est prédictive : elle cherche une relation entre une entrée et une sortie. L'IA générative, elle est en train de comprendre l'essence pour générer de nouvelles réalités. Ce n'est pas une notion facile à saisir.

Et l'expérience montre qu'il est plus simple d'expliquer à quoi cela sert plutôt que ce que c'est, qui oblige à rentrer dans le contenu technique (cf annexes où avec Xavier Kestelyn nous nous y sommes risqués – texte initial en annexe)

À quoi ça sert l'IA ? ça sert fondamentalement à deux choses : à faire plus vite ou apprendre des choses que l'on ne connaissait pas. C'est à dire à partir d'entrée et de sortie, d'avoir un récit de sa connaissance, donc une capacité à faire plus vite ou faire mieux.

Plus vite en mieux c'est l'IA classique. Qu'est-ce que c'est l'IA générative : c'est faire quelque chose de différent. Après le plus vite et après le mieux, c'est le temps de faire différent.

Qui sont ceux qui font différent ? ce sont les ingénieurs. Un ingénieur, c'est quelqu'un qui conçoit. Concevoir quelque chose de différent, ça peut nous obliger à faire quelque chose de vraiment différent.

Je dis toujours aux étudiants toutes les voitures ont un moteur et quatre roues. Tous les avions ont des ailes comme les oiseaux. Est que c'est le meilleur design ? Ou est-ce que parce que on n'est jamais allé au-delà de la zone de confort, on a toujours ces designs ? Ceux que nous amène le design génératif, c'est que s'il peut nous montrer nous le montrer.

Imaginez que l'IA classique est comme un maître artisan : elle connaît parfaitement les outils à sa disposition et sait les utiliser pour produire un objet précis en suivant des instructions. Elle prend une entrée (par exemple, des données) et applique des règles pour obtenir une sortie (une prédiction, une classification, etc.). C'est comme demander à cet artisan de fabriquer une table : il sait exactement comment la construire plus vite et mieux grâce à son expertise.

L'IA générative, en revanche, est comme un inventeur ou un artiste. Elle ne se contente pas de suivre des instructions ou de reproduire ce qu'elle connaît déjà. Elle explore, imagine et crée quelque chose de nouveau. Elle ne fabrique pas simplement une table ; elle se demande : "Et si je concevais un meuble

totallement différent qui n'existe pas encore ?" C'est là que réside sa puissance : elle génère des réalités nouvelles.

L'étude du Think Tank montre que ces concepts de génération sont importants dans toutes les disciplines. Mais attention, quand vous parlez de jumeau numérique intelligent. Aujourd'hui, tous les jumeaux numériques, les 99% qui existent ou que tout le monde discute, n'ont aucune composante générative. Aucune ! donc ça, mérite d'être dit et de bien mesurer la marche qui reste à franchir. Mais c'est important : c'est très certainement le futur du B.I.M. en génie civil par exemple.

COMMENT L'IA GÉNÉRATIVE CRÉE DE LA NOUVEAUTÉ

L'IA générative n'a rien de mystérieux. Elle repose sur des réseaux de neurones conçus pour une capacité essentielle que l'IA classique ne possède pas : la génération de contenu original. C'est là toute la clé de son potentiel. Pour comprendre comment l'IA générative crée du neuf, il est essentiel d'introduire deux notions fondamentales : l'espace latent et les embeddings (ou vecteurs de représentation).

L'ESPACE LATENT : LE TERRAIN D'EXPLORATION DE L'IA

Imaginez un vaste paysage invisible et multidimensionnel où chaque point représente une idée, une possibilité ou une caractéristique unique. Cet espace latent est comme un monde abstrait où les propriétés essentielles d'un objet (sa forme, sa texture, ses fonctions, etc.) sont condensées sous une forme numérique compacte.

L'IA générative n'invente pas "à partir de rien" ; elle explore et navigue dans cet espace latent pour y découvrir des combinaisons inédites. Par exemple, si vous lui demandez de créer une chaise, elle ne se contente pas de chercher dans une base de données d'images existantes. Au lieu de cela, elle explore cet espace pour "imaginer" une chaise potentiellement confortable, esthétique et totalement nouvelle, en modifiant ses caractéristiques abstraites.

LES EMBEDDINGS : LE LANGAGE DE L'IA DANS L'ESPACE LATENT

Les embeddings sont les représentations numériques compactes que l'IA utilise pour traduire et manipuler les concepts abstraits au sein de cet espace latent. Ce sont des vecteurs mathématiques qui encodent des idées complexes (comme "confortable", "moderne" ou "silencieux") en une série de nombres. Des concepts similaires sont ainsi positionnés plus proches les uns des autres dans l'espace.

Pour un exemple concret : si vous souhaitez concevoir un avion à la fois "silencieux" et "rapide", les embeddings permettent à l'IA de localiser et de représenter précisément ces attributs comme des "coordonnées" dans l'espace latent. L'IA peut ensuite combiner ou interpoler entre ces coordonnées pour générer un design d'avion qui répond à ces critères spécifiques, créant ainsi une proposition nouvelle et optimisée.

POURQUOI CETTE CAPACITÉ EST-ELLE RÉVOLUTIONNAIRE ?

L'IA classique est limitée par sa nature d'optimisation : elle excelle à améliorer ce qui existe déjà en identifiant des motifs dans les données d'entraînement. L'IA générative, quant à elle, a la capacité d'aller bien au-delà. En explorant l'immense espace des possibles dans l'espace latent, elle peut concevoir des solutions et des formes que l'esprit humain n'aurait pas eu le temps, ni même l'idée, d'envisager.

Un exemple éloquent est le design génératif utilisé par Airbus pour son projet "bionic partition" (en collaboration avec Autodesk Fusion 360). En tirant parti de l'IA générative, Airbus a pu concevoir des structures d'avions à la fois plus légères et plus robustes. L'IA a proposé des formes inspirées par la nature (comme la structure des os humains), mais entièrement inédites et optimisées pour l'aéronautique, démontrant la puissance de la génération de nouveauté.

INTRODUCTION

De l'IA au Machine Learning et aux Transformers

L'histoire de l'intelligence artificielle (IA) débute dans les années 1950 avec Alan Turing, dont les travaux sur les machines intelligentes posent les bases théoriques du domaine. En 1956, lors de la conférence de Dartmouth, le terme intelligence artificielle est officiellement introduit, marquant le début d'une discipline dédiée à la création de machines capables de simuler l'intelligence humaine. Les premières décennies sont marquées par des progrès limités, notamment en raison des contraintes technologiques, conduisant à deux «hivers de l'IA» dans les années 1970 et 1980, où l'intérêt et les financements diminuent drastiquement. Hivers que les ingénieur(e)s de plus de 50 ans ont tous et toutes vécus.

Dans les années 1980, les systèmes experts relancent brièvement l'IA grâce à des règles logiques appliquées à des problèmes spécifiques. Cependant, c'est l'avènement d'Internet dans les années 1990 et l'explosion des données qui ouvrent la voie à l'apprentissage automatique (machine learning), une approche où les machines apprennent à partir de données plutôt que d'être explicitement programmées. Trois grands courants émergent qui vont structurer l'Apprentissage automatique : **l'apprentissage supervisé**, **l'apprentissage non supervisé**, et **l'apprentissage par renforcement**.

Ces méthodes représentent différentes manières pour les machines d'apprendre à partir de données, chacun ayant ses propres caractéristiques et applications. Les Generative Adversarial Networks (GAN) constituent un cas particulier qui se situe principalement dans le cadre de l'apprentissage non supervisé, tout en empruntant des éléments des autres courants. En voilà, une présentation rapide :

1. **Apprentissage supervisé.** L'apprentissage supervisé repose sur des données étiquetées, où chaque exemple d'entrée est associé à une sortie attendue. L'objectif est de permettre à l'algorithme d'apprendre à généraliser ces relations pour prédire les résultats sur de nouvelles données. Par exemple, un modèle peut être entraîné à reconnaître des images de chats en utilisant un ensemble d'images annotées comme «chat» ou «non-chat». Cette méthode est très utilisée dans la reconnaissance d'images, la traduction automatique ou encore les diagnostics médicaux. Selon MathWorks, «l'apprentissage supervisé est le type d'algorithme d'apprentissage automatique le plus fréquent». DeepMind utilise cette approche pour entraîner ses modèles avec des ensembles de données étiquetées, notamment dans des tâches comme la classification ou la prédiction.
2. **Apprentissage non supervisé.** Dans l'apprentissage non supervisé, les données ne sont pas étiquetées. L'algorithme cherche à identifier des motifs ou des structures cachées dans les données brutes, comme des regroupements ou des corrélations. Par exemple, un algorithme peut analyser les comportements d'achat pour regrouper les clients selon leurs préférences sans savoir à l'avance quelles catégories existent. Cette approche est utilisée pour le *clustering* et la réduction dimensionnelle. Les GAN s'inscrivent principalement dans ce courant : ils modélisent la distribution des données pour générer des exemples synthétiques réalistes (images, vidéos, etc.) sans nécessiter d'étiquettes explicites. Cependant, les GAN introduisent une composante supervisée via leur discriminateur, qui apprend à distinguer les données réelles des données générées (réel ou faux). Ce mélange subtil entre supervision et non-supervision fait des GAN un cas particulier très puissant.

3. **Apprentissage par renforcement.** L'apprentissage par renforcement repose sur un principe d'essai-erreur : un agent autonome interagit avec un environnement, prend des décisions et reçoit une récompense positive ou négative selon ses actions. Ce processus lui permet d'améliorer ses performances pour maximiser une fonction de récompense. Par exemple, cette méthode est utilisée dans la robotique pour apprendre à naviguer dans un espace complexe ou dans les jeux stratégiques comme le jeu de Go. DeepMind a largement popularisé cette approche avec ses projets AlphaGo et AlphaZero, où les agents ont appris à jouer au Go et aux échecs en surpassant les meilleurs joueurs humains grâce à une optimisation progressive basée sur ces principes.

Les années 2000 voient l'émergence des réseaux neuronaux profonds, popularisés par des avancées comme AlexNet en 2012, qui révolutionne la reconnaissance d'images grâce à l'utilisation de GPU (Graphique Process Unit) pour entraîner des modèles complexes et qui fera la fortune de NVIDIA qui les avait développé au départ pour l'industrie du jeu vidéo. En 2017, un tournant majeur est atteint avec le modèle Transformer, introduit par Vaswani et al. dans le célèbre article Attention Is All You Need. Ce modèle révolutionne le traitement du langage naturel (NLP) en remplaçant les architectures séquentielles comme les RNN (Relational Neuronal Network) par une approche basée sur l'attention, permettant un traitement plus efficace et précis des données textuelles. Sur cette base, OpenAI développe la série GPT (Generative Pre-trained Transformer), avec GPT-1 en 2018, suivi par GPT-2 en 2019 et surtout GPT-3 en 2020, qui impressionne par ses capacités de génération de texte grâce à ses 175 milliards de paramètres.

Le lancement de ChatGPT en novembre 2022 marque un moment historique qui popularise les Large Language Model LLM. Basé sur GPT-3.5 puis GPT-4, ce chatbot rend accessible au grand public une IA conversationnelle capable de répondre avec fluidité et précision à une variété de requêtes. En seulement deux mois, il atteint 100 millions d'utilisateurs, devenant ainsi l'application grand public à la croissance la plus rapide de l'histoire. ChatGPT catalyse une

adoption massive de l'IA générative dans divers secteurs tout en soulevant des questions éthiques sur son utilisation et ses impacts sociétaux.

Une révolution architecturale derrière l'essor des LLM et l'apparition de premières limites à leur adoption généralisée

Les *Transformers*, ces modèles de d'apprentissage profond qui ont dynamité notre façon de traiter des données séquentielles et complexes, sont devenus la pierre angulaire d'une intelligence désormais capable de franchir les barrières de la dimension et du volume. Là où jadis on butait sur l'impossibilité de gérer plusieurs millions de variables, on se réjouit à présent de ce foisonnement, chaque flux de données participant à l'accroissement de la richesse et de la puissance des modèles, à certaines limites près décrites plus loin.

Toute la dynamique de cette approche repose sur une logique que Sam Altman, PDG d'OpenAI, revendique ouvertement : plus de données, plus de paramètres, plus de couches — donc potentiellement plus d'intelligence. GPT-3, lancé en 2020, comptait 175 milliards de paramètres et a marqué un tournant par sa capacité à générer des textes d'une fluidité impressionnante. GPT-4, introduit en 2023, repose sur une architecture multimodale et, selon certaines estimations non confirmées, pourrait dépasser le **trillion de paramètres**, illustrant l'accélération vertigineuse de l'échelle des modèles. Mais cette montée en puissance a un coût : l'entraînement de GPT-3 aurait consommé environ **1,3 GWh**, soit l'équivalent de la consommation annuelle de 130 foyers américains, et l'entraînement de GPT-4 aurait été 48 fois plus énergivore selon certaines estimations, l'information n'étant pas publique. En parallèle, ces modèles ultra-entraînés sur des corpus massifs présentent un phénomène connu sous le nom de **réplication récursive de biais** : lorsqu'un modèle puise dans des contenus qu'il a lui-même contribué à générer ou à diffuser, il peut renforcer des erreurs, des approximations ou des informations non vérifiées, consolidant ainsi des constructions erronées qu'il reproduit ensuite comme des vérités.

À ce stade, l'on s'interroge : l'escalade du “toujours plus” peut-elle se poursuivre sans heurter de plein fouet le mur de la durabilité et de la transparence ? Plusieurs voies alternatives émergent :

- **Progression raisonnée** (souvent appelée “curriculum learning”) : monter les marches une à une, pour éviter la frénésie du brut.
- **Architectures plus sobres** : au lieu de surenchérir paramètre sur paramètre, privilégier la qualité et la clarté, comme l'illustrent certaines innovations inspirées par Llama 3 ou DeepSeek V3.
- **Modèles modulaires** : activer seulement les “spécialistes” requis, soulageant ainsi le système d'un va-et-vient superflu. Des innovations récentes, telles que les Mixture-of-Experts (MoE), poussent la logique encore plus loin : elles subdivisent la machine en grappes spécialisées, chacune activée uniquement lorsque son expertise est requise. Ainsi se crée un écosystème d'IA moins énergivore, plus interprétable, qui s'inspire du fonctionnement des équipes d'ingénieurs, où chaque service apporte sa compétence singulière.

En parallèle, la colonne vertébrale logicielle de ces modèles (ces fameux transformers) accuse elle aussi ses faiblesses :

- **Coût quadratique** : Plus la séquence à traiter s'allonge, plus la machine se retrouve submergée par une charge exponentielle.
- **Difficultés à gérer de longues séquences** : Si ces modèles excellent sur des textes de taille raisonnable, leur performance se dégrade pour des flux considérables, risquant de fragmenter l'information ou de la diluer.
- **Opacité** : Loin d'être de simples boîtes noires, certains Transformers se transforment en gouffres insondables, rendant plus ardue l'explication de leurs décisions — un problème majeur pour la santé, l'aérospatial ou d'autres secteurs où la transparence du modèle est cruciale.

En réponse, de nouvelles pistes émergent. *Transformer-XL*, *Reformers* ou encore *Differential Transformers* : autant de variations qui tentent de pallier les lacunes du schéma initial, en réduisant par exemple la complexité du calcul ou en améliorant la capacité à traiter des ensembles massifs. Mais personne n'ignore que cette architecture star, si plébiscitée, pourrait bien un jour céder la place à un cadre plus ingénieux, plus parcimonieux. En somme, l'ère des Transformers pourrait n'être qu'une transition, un prélude à autre chose.

De plus en plus d'équipes de recherche s'emploient à concevoir des modèles moins gourmands, capables de traiter des séquences longues sans tomber dans l'hypertrophie. *State-Space Models*, *Enhanced RNNs*, *Sub-Quadratic Scaling* : derrière ces appellations, on sent l'effervescence. Tous cherchent à résoudre le triptyque maudit : trop de mémoire, trop de latence, trop d'opacité.

Les architectures de demain, flexibles, modulaires, hybrides, pourraient allier le meilleur des RNNs et des Transformers, ou même ouvrir une voie entièrement nouvelle, libérée des lourdes contraintes d'aujourd'hui.

Au delà des Larges Language Models (LLM), se profilent les Large Conceptual Models (LCM) et les Large Quantitative Models (LQM) et la promesse de l'Agentique, prochaine étape vers l'Intelligence Artificielle Généralisée.

Des LLM aux LCM : le raisonnement conceptuel

Les LLM, comme GPT-4 ou Claude 2, ont démontré leur puissance dans le traitement du langage naturel. Cependant, leur fonctionnement token par token limite leur capacité à raisonner au niveau conceptuel ou à gérer des contextes longs. Les LCM, introduits récemment par Meta, surmontent ces limites en opérant au niveau des concepts abstraits grâce à des représentations sémantiques globales (*SONAR embeddings*). Ces modèles permettent une meilleure généralisation dans plus de 200 langues et intègrent des capa-

cités multimodales (texte, parole, images). Bien que leur adoption reste limitée par leur coût computationnel élevé, ils ouvrent la voie à des applications avancées comme la planification stratégique ou le diagnostic médical.

LARGE QUANTIZATION MODELS : L'OPTIMISATION POUR L'EFFICACITÉ DES LLM

Parallèlement, les **LARGE QUANTIZATION MODELS** (*Quantized LLMs*) répondent à un besoin croissant d'optimisation. En réduisant la précision des poids et activations (par exemple, en passant de 32 bits à 8 bits), ces modèles rendent les LLM plus accessibles sur des appareils à ressources limitées tout en diminuant leur consommation énergétique. Cela permet d'étendre l'utilisation des modèles complexes comme GPT-4 à des environnements contraints, tels que les smartphones ou les dispositifs embarqués.

LARGE QUANTITATIVE MODELS : LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE AVANCÉE

Les **LARGE QUANTITATIVE MODELS** (LQMs) se distinguent en ciblant spécifiquement les données numériques et quantitatives. Contrairement aux LLM ou LCM, ils sont conçus pour traiter des systèmes complexes comme les prévisions économiques, la modélisation climatique ou l'optimisation industrielle. Ces modèles combinent apprentissage automatique et équations mathématiques pour analyser et prédire le comportement de systèmes dynamiques.

L'émergence de l'agentique : des "agents intelligents" autonomes et proactifs

L'Agentic AI représente une nouvelle rupture majeure : elle ne se limite plus à répondre aux requêtes mais agit de manière proactive pour atteindre des objectifs définis. En intégrant les capacités conceptuelles des LCM avec l'efficacité des quantized models et la précision quantitative des LQMs, l'Agentique peut naviguer dans un environnement complexe, prendre des décisions

autonomes et anticiper les besoins utilisateur. Par exemple, Gartner prévoit que d'ici 2029, ces systèmes pourraient résoudre jusqu'à 80 % des problèmes courants en service client sans intervention humaine.

Cette convergence technologique vise plusieurs objectifs :

- Accessibilité accrue grâce aux quantized models.
- Décisions améliorées via une compréhension conceptuelle avancée.
- Personnalisation grâce à une interaction proactive.

Ainsi, l'intelligence artificielle évolue rapidement, passant des **LARGE LANGUAGE MODELS (LLM)**, centrés sur la prédiction de tokens, à des approches plus avancées comme les **LARGE CONCEPT MODELS (LCM)**, les **LARGE QUANTIZATION MODELS (QUANTIZED LLMS)** et les **LARGE QUANTITATIVE MODELS (LQMS)**. Ces innovations s'accompagnent de l'émergence de l'Agentique, une IA proactive et autonome, qui transforme la manière dont les utilisateurs interagissent avec les systèmes intelligents.

Alors que certaines annonces restent prospectives – comme la généralisation complète de l'Agentique – ses premières applications concrètes montrent déjà un impact significatif dans divers secteurs.

En toile de fond, la quête d'une AGI (Artificial General Intelligence) se précise. Non plus l'idée que la force brute puisse tout résoudre, mais la perspective de systèmes intelligents répartis, se comportant à la manière d'un "orchestre" d'agents spécialisés qui, ensemble, compenseraient les limites d'un gigantesque modèle monolithique. Et c'est là tout l'attrait : l'intelligence surgit de la symphonie, pas d'un soliste hégémonique. On perçoit la parenté avec la structuration du cerveau humain, si souvent citée, si complexe à émuler.

Dans ce rapport et par souci de simplicité nous utilisons le terme de IA générative au sens le plus large intégrant ces évolutions récentes qui se sont déroulées ces deux dernières années (voir le glossaire en annexe).

Le point de vue d'un pionnier français de l'IA, Yann Le Cun

Yann Le Cun, figure majeure de l'intelligence artificielle (IA), est connu pour ses travaux fondateurs sur les réseaux de neurones convolutifs (CNN) dans les années 1980-90. Ces travaux ont révolutionné la vision par ordinateur et posé les bases de l'apprentissage profond, ouvrant la voie aux architectures modernes, dont les transformateurs, utilisés dans les grands modèles de langage (LLM) comme GPT-3 et GPT-4.

Bien qu'il ait influencé leur développement, Le Cun critique les limites des LLM, qui reposent sur des correspondances statistiques entre tokens, sans réelle compréhension du monde ni capacité de raisonnement abstrait. Selon lui, ces modèles ne peuvent mener à une intelligence artificielle générale (AGI) : ils manquent de mémoire efficace, de planification et d'interaction dynamique avec l'environnement.

Pour dépasser ces limites, Le Cun propose un paradigme alternatif : les world models, représentés par son architecture JEPA (Joint Embedding Predictive Architecture). JEPA repose sur l'apprentissage auto-supervisé et vise à prédire des représentations internes abstraites, plutôt que des pixels ou tokens. L'objectif est de permettre raisonnement, planification, adaptation rapide et efficacité computationnelle.

Cette vision est partagée par les Large Concept Models (LCM), développés chez Meta (FAIR). Contrairement aux LLM, les LCM opèrent au niveau des concepts abstraits via une structure hiérarchique explicite. Ils offrent une généralisation multilingue (plus de 200 langues), une compréhension contextuelle étendue et une extensibilité multimodale (texte, parole, langue des signes).

Le Cun imagine une IA capable de raisonner au-delà du langage, d'apprendre rapidement comme les humains et d'interagir avec le monde réel, ouvrant des perspectives radicalement nouvelles pour la robotique, les assistants intelligents et l'automatisation industrielle.

C'est ce que nous appelons dans ce rapport l'ingénierie générative dont nous vivons l'essor aujourd'hui.

L'adoption par les ingénieurs de ces différentes technologies de l'IA et l'émergence d'une ingénierie générative

L'objet de cette étude n'est pas tant l'intelligence artificielle générative mais ce qu'en font les ingénieurs qui l'utilisent dans leurs études de conception à chaque étape du cycle de vie de la phase de création à celle de démantèlement/recyclage.

Cette logique d'application débute dans les années 2010 où émerge le concept de **design génératif**, avec des outils d'éditeurs comme Autodesk et Dassault System permettant aux concepteurs d'explorer des milliers de solutions de design optimisées en fonction de contraintes prédéfinies (poids, coût, durabilité). Cette approche a transformé des secteurs comme l'aérospatiale et l'automobile, où des entreprises telles qu'Airbus et General Motors ont réduit significativement le poids de composants critiques grâce à cette technologie. Le design génératif, **conception générative**, se concentre principalement sur la créativité et l'exploration esthétique, souvent utilisé dans la fabrication additive et l'architecture. En parallèle, l'**ingénierie générative**, un terme apparu plus récemment (post-2020), élargit cette approche en intégrant des modèles d'intelligence artificielle avancés pour automatiser et optimiser des processus complexes en ingénierie.

Contrairement au simple design génératif, l'ingénierie générative vise à résoudre des problèmes techniques multidimensionnels dans des domaines tels que la robotique, les systèmes industriels ou les jumeaux numériques. Google a popularisé ce concept en 2023 avec son initiative «Generative Engineering», intégrant cette technologie dans ses outils comme Vertex AI. Google et Microsoft voient dans l'IA générative un outil clé pour automatiser les tâches répétitives et permettre aux ingénieurs de se concentrer sur des activités stratégiques. Sundar Pichai (Google) déclare : « L'IA générative révolutionnera tous les aspects de l'ingénierie, de la conception à la fabrication. »

En résumé, le design génératif a ouvert la voie à une créativité augmentée par ordinateur, tandis que l'ingénierie générative, plus récente, s'appuie sur l'IA pour transformer radicalement les pratiques industrielles.

Quelques faits et chiffres sur l'essor en cours de l'ingénierie générative

Selon Grok, le nombre de publications sur X est passé d'environ 500 en 2021 à plus de 3 200 en 2024, tandis que l'engagement a bondi à près de 10 000 uti-

lisateurs uniques en 2025, soit une multiplication par cinq en trois ans. Cette dynamique se retrouve dans la littérature scientifique : les articles académiques référencés sur Google Scholar mentionnant « generative » et « engineering » sont passés de 1 200 en 2020 à 2 800 en 2024, et la base Scopus recense une hausse de 150 à 420 publications sur la même période. Ces chiffres traduisent un intérêt croissant, tant du côté de la recherche que de la communauté professionnelle, dont le groupe LinkedIn « Generative Design & Engineering » a atteint 15 000 membres.

L'investissement massif des fonds de capital-risque confirme la solidité de cette tendance. Depuis 2020, plus de 1,2 milliard de dollars ont été injectés dans des startups du secteur, dont 450 millions rien qu'en 2024 à travers plus de 30 opérations. Des entreprises comme nTop, dont la valorisation est passée de 100 à 600 millions de dollars entre 2020 et 2024, ou Poolside.ai, qui a levé 500 millions en 2024 pour développer des assistants de codage IA, illustrent la confiance des investisseurs dans le potentiel de l'ingénierie générative. L'Europe, avec Dassault Systèmes et Dessia.io, s'affirme comme un pôle d'innovation, tandis que les États-Unis dominent en volume, portés par des géants comme xAI, Deepmind et Sandbox AQ. L'Asie n'est pas en reste : la Chine, avec DeepSeek V3, et le Japon, avec Synntopera.io, investissent massivement dans l'intégration de l'IA générative dans la fabrication et l'ingénierie avancée, contribuant à la dynamique mondiale. Comme l'a récemment souligné Eric Schmidt, co-fondateur de Google :

« D'ici cinq ans, nous devrions être capables de produire une solution au travers d'une chaîne de pensée (chain of thought reasoning) en mille étapes pour résoudre des défis importants dans les domaines de la science, de la médecine et du changement climatique. » The National CIO Review – Infinite Context, Autonomous Agents and Global Regulation A race against time 31 octobre 2024.

Face à ces évolutions, le Think Tank des Arts & Métiers nous a posé la question : l'IA générative va-t-elle révolutionner les métiers de l'ingénierie ?

Pour répondre à cette question, nous avons mené à l'aide d'outils d'IA une

revue de littérature de 10 domaines au cœur des métiers de l'ingénieur :

- 7 domaines de spécialités des sciences de l'ingénieur : Génie EIT Électronique Informatique Telecom, Génie Électrique, Génie Civil, Génie Industriel, Système et Manufacturing 4.0, Génie Chimique-Biologique, Génie biomedical et Génie des Matériaux.
- 3 domaines transverses-clés : les mathématiques (la langue de l'ingénierie), les activités administratives, managériales et collaboratives (le travail de back-office souvent fastidieux et toujours nécessaire), l'Éducation et la formation des ingénieurs (la préparation de l'avenir).

Une sélection de 30 références illustratives figure en annexe du présent rapport, avec le lien pointant sur la source documentaire.

Nous avons analysé à l'aide de nos outils plus de 740 sources provenant des mondes académiques (articles de recherche), économiques (cas d'usage, présentation d'offres, point de vue marketing), des médias généralistes et spécialisés et enfin des sociétés d'étude et de conseil. Pour chaque domaine, nous nous sommes attachés à identifier les "hot spots" ou domaines chauds d'application de l'IA, d'en dégager des tendances et les limites et de systématiquement recenser des premiers cas d'usages ainsi que les startups et/ou offreurs de solution qui les portent.

Assez naturellement nous avons commencé par le domaine Électronique Informatique et Telecom qui est au cœur de l'action et où, notamment, les applications en ingénierie logicielle se développent rapidement avec la génération automatique de code. Le domaine des mathématiques est celui qui nous a offert le plus de surprise avec des avancées remarquables ces derniers 24 mois ou tout du moins la communication publique de celles-ci (par exemple les résultats d'Alphafold aux olympiades de mathématiques).

A partir de ce panorama dressé, nous nous sommes attachés à identifier les chemins d'évolution qui s'en dégagent et à regrouper les tendances émer-

gentes que nous y avons observées. Ces tendances nous semblent importantes pour les ingénieurs et plus globalement pour notre économie et notre société même si elles sont peu médiatisées et rarement mis en avant dans la communication des grands acteurs digitaux.

Nous avons ainsi identifié trois chemins vers l'avenir :

- Quand l'IA générative débride les capacités d'optimisation
- Quand les jumeaux numériques intelligents transforment les industries
- Quand l'IA générative, agent autonome, aide l'ingénieur dans la résolution de problème.

Nous considérons que l'avancée sur ces chemins est soumise à trois conditions de réussite :

- Poursuivre l'effort de sobriété et de soutenabilité
- Trouver les bons équilibres
- Favoriser un nouvel exercice du métier d'ingénieur

QUAND L'IA GÉNÉRATIVE DÉBRIDE LES CAPACITÉS D'OPTIMISATION

Des décennies durant, l'optimisation en ingénierie se résumait à un délicat jeu d'équilibre : arrimer le coût à la performance, la robustesse à l'évolutivité, la durabilité à l'inventivité. On y avançait en tâtonnant, soumis aux aléas des compromis, comme dans un labyrinthe où chaque détour imposait un renoncement sous contrainte des délais et des coûts des études. La puissance de calcul et de simulation qu'apporte l'IA générative change radicalement la donne, métamorphosant la recherche d'optimisation en permettant de générer et de simuler l'ensemble des contraintes et des chemins critiques en explorant des millions de scénarios. Ce faisant, se révèlent les solutions enfouies dans la « brume de la complexité » qui permettent de trouver des optima qui paraissaient inaccessibles compte tenu des contraintes de faisabilité, de coût et de temps.

Tendance 1 : L'optimisation multidimensionnelle

Dans la tradition, les ingénieurs s'appuyaient sur des métaheuristiques et d'autres techniques avancées pour négocier les innombrables arbitrages :

sacrifier ici la durabilité pour gonfler la performance, rogner là sur les coûts pour conserver un temps de mise sur le marché acceptable. Or, ces approches, brillantes mais contraintes, obligeaient souvent à se contenter de solutions sous-optimales, limitées par le temps ou la puissance de calcul disponible. L'IA générative — tirant parti de riches ensembles de données et de calcul itératif en profondeur — brise ce carcan : elle explore l'espace des possibles avec une ampleur et une précision inenvisageables jadis. Certes, elle ne garantit pas l'optimum absolu, mais elle excelle à dénicher ces configurations discrètement équilibrées, là où l'on cesse de devoir sacrifier la scalabilité sur l'autel de l'innovation, ou la sobriété énergétique face aux enjeux de déploiement.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

TÉLÉCOMMUNICATIONS. Le déploiement de la 5G révèle l'un de ces paradoxes contemporains : d'un côté, on veut un débit toujours plus large ; de l'autre, on se heurte à la latence et aux risques de congestion. Grâce à l'IA générative, la distribution de la bande passante s'ajuste en temps réel, la mise en place de « jumeaux numériques » simule à l'avance les pics de charge, et le système tout entier se fait proactif, allant jusqu'à prévenir les congestions au lieu d'y réagir trop tard. Résultat ? Des réseaux intelligemment fluides, résilients, presque anticipateurs — on dirait d'eux qu'ils devinent la tempête bien avant qu'elle se forme. Cette optimisation des réseaux télécoms, s'appuie sur une capacité de prévision et d'allocation inédite. Les études récentes montrent des gains de 95% de précision, une réduction de 50% du [gaspillage de ressources, et une efficacité de livraison supérieure de 40 %](#).

INGÉNIERIE URBAINE. Concilier la frénésie urbaine et l'impératif écologique, tel est le défi de nos métropoles. L'IA générative, permet ici à l'ingénieur d'agir en chef d'orchestre discret : sa modélisation fluidifie la circulation en jouant sur la signalisation, planifie l'emplacement des panneaux solaires en fonction de la morphologie urbaine, dessine des trames de transport plus efficaces en harmonie avec la nature. Hier, la ville subissait son labyrinthe de contraintes ; aujourd'hui, elle le module, guidée par une capacité de régulation intelli-

gence qui affronte la complexité des systèmes urbains. Certains travaux du MIT illustrent la capacité à abaisser les coûts d'exploitation et de réduire la dépendance aux dispositifs de stockage par une mise à jour en temps réel des données, ajustant le recours aux énergies renouvelables ou à la disposition de [panneaux solaires selon la météo et la topographie](#).

LOGICIELS ET DÉVELOPPEMENT. Dans la conception logicielle, souvent dépeinte comme longue, fastidieuse, l'irruption d'outils comme GitHub Copilot, nourris à l'IA générative, a provoqué un électrochoc. Ces assistants ne se bornent pas à produire des squelettes de code : ils aiguillonnent la création, proposent des approches plus concises, voire plus performantes, tout en raccourcissant drastiquement les phases de test et de correction. Bien sûr, l'humain garde la maîtrise et l'orientation d'ensemble, mais la dynamique est bouleversée : on ne se perd plus dans l'itération stérile, on dialogue avec la machine pour imaginer plus, et plus vite. Les chiffres cités pour GitHub Copilot soulignent des gains de productivité notables (jusqu'à 55% plus rapide), même si la qualité globale du code ou la lisibilité progressent à un rythme plus modeste que ne le [lais-saient espérer les premières annonces](#).

PERSPECTIVES ET LIMITES

Si l'on extrapole ces dynamiques, on voit poindre un avenir où l'on conçoit la régulation puis l'on pilote le comportement d'un système techno économique complexe : de production industrielle le long d'une chaîne de valeur, d'une plateforme de mobilité, d'un système de production et de distribution d'électricité sur une plaque locale, etc... Cette vision s'applique particulièrement à la ville intelligente : son réseau électrique, son trafic routier, ses télécommunications, tout se retrouverait coordonné par des IA cherchant, chacune, à étendre un équilibre global. Comment garantir que cette profusion d'optimisations sert le bien commun ? Que la ville intelligente soit une ville agréable à vivre ? Comment s'assurer qu'on ne néglige pas l'humain en se fiant aveuglément à la machine ? Cette ingénierie générative démultiplie les capacités d'optimisation à condition d'écouter et de comprendre les besoins des utilisateurs du produit, du service, ou de l'infrastructure.

Total Materia : IA et science des matériaux

www.totalmateria.com

Avec Jérôme Cailleux, directeur commercial, et le Dr Davor Antanasijević, responsable IA et automatisation chez Total Materia, nous explorons comment leur solution d'IA, Predictor, apporte une valeur ajoutée concrète à la science et à l'ingénierie des matériaux. Cet outil complet s'appuie sur l'apprentissage profond pour simuler le comportement des matériaux, réduire les coûts des tests et améliorer la prise de décision des ingénieurs grâce aux simulations. Predictor est un outil basé sur l'apprentissage automatique, conçu pour simuler les propriétés des matériaux dans diverses conditions physiques. Il fonctionne comme une machine d'essai virtuelle et fournit des informations sur le comportement des matériaux à partir de données telles que la résistivité sous des variations de température et de pression.

Trois niveaux d'usage sont calibrés en fonction des données existantes et des modèles validés : 1. Entièrement applicable : les données d'entrée relèvent du domaine de test du modèle. 2. Applicable : les données d'entrée relèvent du domaine d'apprentissage, mais sont hors du domaine de test. 3. Extrapolation : les données d'entrée dépassent le cadre du modèle, nécessitant une extrapolation. La force de Predictor réside dans sa capacité à simuler des résultats sur un large éventail de matériaux, offrant aux ingénieurs un outil de présélection fiable pour les campagnes de tests.

Principaux cas d'usage :

- Préviation des performances dans des conditions inédites : Matériaux destinés à l'exploration spatiale soumis à des contraintes et des températures extrêmes. Predictor facilite la présélection des candidats, économisant ainsi des semaines de tests coûteux.
- Génération de données de simulation : Predictor produit des données d'entrée pour les simulations mécaniques et physiques, permettant des tests et des affinements itératifs.
- Ajustement des formulations de matériaux : Face à la demande croissante des industries en matière de contenu recyclé, Predictor modélise l'impact des changements de composition sur les propriétés mécaniques.
- Informations sur la précision : 1. Propriétés physiques : marge d'erreur d'environ 5 %
2. Propriétés mécaniques : marge d'erreur de 5 à 10 % 3. Propriétés non linéaires (par exemple, fatigue) : marge d'erreur jusqu'à 20 %

Antanasijević souligne : « Notre principal compromis est de trouver le juste équilibre entre la couverture des matériaux, un minimum d'entrées et une précision acceptable. »

Predictor illustre une approche symbiotique, combinant de vastes bases de données de matériaux, des informations issues de l'IA et le jugement humain. Comme l'affirme Antanasijević : « L'IA renforce le rôle de l'ingénieur, et ne le remplace pas. Nos outils

optimisent les processus tout en conservant l'expertise humaine au cœur de leur exécution. »

Pour en savoir plus : Bienvenue dans Total Material Predictor (<https://docs.totalmateria.com/predictor>) et le livre blanc de Predictor : <https://docs.totalmateria.com/predictor/predictor-2-whitepaper/abstract>

Tendance 2 : La décision optimisée en temps réel

Dans un monde où l'incertitude et la complexité dominent, l'intelligence artificielle (IA) redéfinit la manière dont les décisions critiques sont prises. Autrefois, les ingénieurs et les décideurs s'appuyaient sur des plans à moyen terme ou sur des protocoles correctifs post-crise. Aujourd'hui, cette logique linéaire cède la place à une approche adaptative et prédictive, où l'IA permet d'agir avant que les problèmes ne surviennent. En analysant en temps réel des volumes massifs de données, elle anticipe les événements critiques et ajuste les trajectoires de manière proactive.

Cette transformation dépasse le cadre du pilotage industriel pour toucher des domaines aussi variés que la finance, la défense et l'industrie manufacturière. Dans le secteur financier, par exemple, l'IA optimise les décisions de trading grâce à des algorithmes sophistiqués. Des plateformes comme « TensorTrade » utilisent l'apprentissage par renforcement pour analyser les données de marché en temps réel et exécuter des stratégies automatisées. Ces systèmes permettent de gérer les risques en appliquant des ordres conditionnels ou des limites de pertes sans intervention humaine, tout en minimisant les biais émotionnels qui peuvent perturber les décisions dans des marchés volatils.

La défense antimissile illustre également le potentiel de l'IA dans la prise de décision critique. Le système « Iron Dome » d'Israël intègre des algorithmes d'intelligence artificielle pour analyser les données radar et prédire avec précision la trajectoire des projectiles ennemis. L'IA priorise les menaces selon leur potentiel destructeur, ce qui maximise l'efficacité tout en réduisant les coûts

opérationnels. Avec un taux d'interception supérieur à 90 %, cette technologie sauve des vies en agissant dans des délais extrêmement courts, où chaque seconde compte.

Dans le domaine industriel, Bosch a démontré comment l'IA peut transformer le pilotage des processus manufacturiers grâce à son initiative «AIoT» (Artificial Intelligence of Things). En équipant ses machines-outils de capteurs intelligents et en analysant leurs données via des modèles prédictifs, Bosch anticipe les pannes avant qu'elles ne surviennent. Cette approche a permis de réduire de 25 % les temps d'arrêt imprévus dans ses usines dédiées à la production automobile. Les machines s'adaptent elles-mêmes aux variations environnementales et déclenchent automatiquement des interventions ciblées pour maintenir une productivité optimale.

Ces exemples montrent comment l'IA modifie profondément la boucle classique d'observation, de diagnostic et de correction. Là où cette boucle reposait sur une logique séquentielle lente et réactive, l'IA introduit une dynamique continue et proactive. Elle surveille en permanence son environnement, anticipe les impacts potentiels d'une multitude de paramètres indépendants et ajuste ses actions en temps réel pour rester sur un chemin d'optimisation.

L'approche AIOT du groupe Bosch

Bosch est une des entreprises pionnières dans l'intégration de l'intelligence artificielle et de l'Internet des objets (AIoT). Parmi les succès qu'elle met en avant : l'optimisation de la production dans ses usines grâce à la maintenance prédictive ressort comme un exemple phare.

En équipant ses machines-outils de capteurs intelligents, Bosch a pu réduire de 25 % les temps d'arrêt imprévus, augmentant ainsi la productivité et minimisant les coûts liés aux interruptions. Dans son usine de semiconducteurs à Dresde, l'IA optimise l'utilisation des équipements tout en détectant les anomalies dans la fabrication des puces électroniques. De plus, Bosch a développé des systèmes d'inspection visuelle basés sur l'IA pour identifier les défauts microscopiques sur les pièces manufacturées, garantissant une qualité accrue. D'autres innovations incluent les pneus intelligents capables de

communiquer leur état d'usure et les systèmes de sécurité vidéo améliorés par des algorithmes neuronaux pour une meilleure gestion du trafic.

Cependant, ces avancées n'ont pas été sans difficultés. L'hétérogénéité des protocoles IoT et des dispositifs a nécessité le développement de solutions capables d'assurer une intégration fluide entre différentes technologies. Bosch a également dû relever le défi du changement culturel au sein de l'organisation, en encourageant une adoption généralisée des outils numériques et une prise de décision basée sur les données. Les coûts initiaux élevés liés à l'implémentation de l'AIoT ont représenté un obstacle important, surmontés par le biais d'indicateurs de performance (KPI) venant nourrir les calculs de retour sur investissement. Par ailleurs, la gestion des coûts tout au long du cycle de vie des produits connectés et la scalabilité des solutions ont exigé une planification minutieuse pour garantir un déploiement efficace à grande échelle.

Pour en savoir plus : <https://www.boschrexroth.com/en/dc/all-you-need-to-know-about-the-aiot/>

Tendance 3 : L'accélération de la conception

L'IA générative, en accélérant et en amplifiant les processus de conception et de validation, impacte les régimes d'innovation en ingénierie au sens de la théorie CK, développée par les professeurs Hatchuel, Le Masson et Weil : à savoir, la conception réglée, où les solutions sont explorées dans un cadre de connaissances stabilisées, et la conception innovante. Dans ce paragraphe relatif à l'optimisation, on traite de la conception réglée et on abordera l'impact de l'IA générative sur la conception innovante dans le troisième chemin, celui de L'IA, alliée de l'ingénieur dans la résolution de problème.

Dans le cadre de la conception réglée, l'IA excelle à automatiser et réduire les cycles itératifs de conception, simulation et ajustement, permettant une amélioration rapide et précise des solutions existantes.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

BIOMÉDECINE : La personnalisation des prothèses, autrefois lente et coûteuse, est transformée. L'IA simule la morphologie du patient, teste la résistance des matériaux et intègre des principes d'ergonomie pour produire un modèle optimisé en quelques heures. Ce gain de temps libère les laboratoires pour se concentrer sur la validation clinique.

CIRCUITS ÉLECTRONIQUES : Dans la quête de miniaturisation et d'efficacité énergétique, l'IA génère et évalue des milliers de variantes de circuits. Elle identifie rapidement les configurations idéales qui maximisent les performances tout en réduisant la consommation énergétique et en augmentant la robustesse thermique. Ces exemples illustrent comment l'IA amplifie l'efficacité dans un cadre où les connaissances sont déjà bien définies, rendant les processus plus rapides et économiquement viables.

PERSPECTIVES ET LIMITES

En termes de perspectives, l'IA continue d'évoluer vers une prise de décision encore plus autonome et contextuelle. Les modèles comme les Large Concept Models (LCM) développés par Meta promettent une capacité accrue à raisonner sur des niveaux abstraits et à intégrer des données multimodales, ouvrant la voie à une optimisation encore plus fine et inclusive. Enfin, l'adoption croissante de l'IA dans des domaines variés — du pilotage industriel au trading financier et à la défense — montre qu'elle est en passe de devenir un outil indispensable pour naviguer dans un monde complexe et incertain.

Cependant, l'adoption généralisée de ces processus exigera une robustesse accrue (la machine n'a pas le droit à l'erreur fatale) et une culture de la redevabilité (accountability) : savoir qui est responsable quand la machine échoue, savoir valider les choix quand la vitesse impose parfois de décider sans délai. Là encore, c'est à l'ingénieur de dresser les bornes, de poser l'éthique comme boussole, et de s'imposer en garant du sens.

CONCLUSION : UNE ESPÉRANCE DE GAINS RESPONSABLES

L'IA générative dynamise et débride l'optimisation en ingénierie, tant dans ses techniques et sa dimension multi-échelle, que dans la prise de décision temps réel et que dans la conception réglée. Elle ouvre un vaste champ d'opportunités tout en exigeant discernement et responsabilité. Comme le suggère Bernanos, "l'espérance est un risque à courir" — mais ce risque doit être accompagné d'une sagesse accrue pour garantir que cette révolution technologique serve durablement les besoins humains.



QUAND LES JUMEaux NUMÉRIQUES INTELLIGENTS TRANSFORMENT LES INDUSTRIES

Des siècles durant, l'ingénierie a reposé sur le recours systématique aux prototypes physiques et aux tests in situ pour valider une conception. Coûteuse en temps et en main-d'œuvre, cette méthode n'en était pas moins le seul socle fiable pour éprouver la robustesse d'un dispositif. Or, les jumeaux numériques "intelligents" inaugurent un nouveau chapitre : ces répliques virtuelles, dopées par l'IA générative, comblent enfin le fossé entre la pure simulation et la réalité tangible. Bien plus que de simples maquettes, elles s'animent, apprennent, se calibrent en temps réel, mettant le champ des possibles à la portée de quelques clics et repoussant le carcan des essais laborieux.

Tendance 4 : La capacité d'auto-amélioration et de mise en conformité

Les jumeaux numériques, lorsqu'ils s'allient à la puissance de l'IA générative, permettent de développer la capacité *d'auto-amélioration* et de mise en conformité d'un produit, d'un système ou d'une infrastructure. Plutôt que de

donner la photographie d'un état statique pris à une étape du cycle de vie, un jumeau numérique optimisé par l'IA s'auto-actualise : il glane des données, détecte des failles potentielles, propose des correctifs et, s'il le faut, s'adapte de lui-même. Imaginons un réseau électrique : grâce à l'IA, son jumeau numérique simule des millions de scénarios, redirige l'énergie, détecte la moindre anomalie de tension avant qu'elle ne se traduise par une panne.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

VILLES SOUS PRESSION HYDRIQUE. Dans des métropoles sujettes aux inondations — on songe à Singapour —, le jumeau numérique modélise la topographie, les précipitations, la capacité des canaux de drainage, et prévoit les points de débordement. Au lieu de réagir à la crue, la ville devance les risques : elle renforce un quai, adapte les vannes, évite les dégâts. Une résilience proactive, loin de l'improvisation tardive. Les études sur Virtual Singapore ou d'autres programmes soulignent une baisse notoire des dégâts liés aux crues, grâce à la [planification en temps réel](#).

RÉSEAUX TÉLÉCOMS EN TENSION. Pour la 5G, la fiabilité est reine, tant le monde connecté la réclame. Les jumeaux numériques y modélisent l'écoulement des ondes, la charge des antennes, la propagation d'éventuelles pannes. L'IA décrypte les signaux faibles, prévoit la prochaine congestion, réalloue la bande passante. Fini les réseaux qui s'effondrent à la moindre surcharge : l'écosystème télécom se repense en organes vivants, équilibrés en temps réel. Des rapports de 2024, dans le domaine télécom, font état de 33% de latence en moins et d'une utilisation de la bande passante poussée jusqu'à 90% ([source](#)). La fiabilité des communications s'en voit catapultée, démultipliant les possibilités d'usages.

ÉNERGIE RENOUVELABLE ET INTERMITTENCE. Rien de plus imprévisible que le vent ou l'ensoleillement. Les jumeaux, ici, calculent la production d'éoliennes ou de panneaux solaires selon les conditions météorologiques prévues. Ils simulent l'ajustement du stockage et la redistribution vers le réseau. En évitant l'aléa qui poussait au gaspillage, on optimise le rendement global et l'on pousse un peu

plus loin le rêve d'une énergie verte. L'intégration dynamique de l'éolien et du solaire dans le mix énergétique, pilotée par des jumeaux cognitifs, [a permis de réaliser des économies, tout en améliorant l'efficacité globale.](#)

PERSPECTIVES ET LIMITES

Les jumeaux numériques, animés par l'IA, explorent les possibles, détectent la moindre faille naissante, et amorcent la parade avant l'emballement. Cet enrichissement continu, qui se déploie dans la durée, fait du jumeau intelligent un agent auto-améliorant : c'est un saut qualitatif majeur.

Cependant, cette promesse comporte ses revers : la machine doit être surveillée, auditée ses propositions. Car si une mise à jour autonome se fonde sur un biais ou un scénario mal évalué, elle pourrait engendrer un déséquilibre grave. L'ingénieur, loin de se voir écarté, vérifie que l'IA ne s'englue pas dans un raisonnement erroné.

CONCLUSION : UN NOUVEAU RÔLE D'ASSISTANT/ORGANISATEUR

Développer l'intelligence des jumeaux numériques : ce n'est plus seulement concevoir et lancer des simulations, mais aussi être l'assistant, ou l'organisateur, d'une intelligence en temps réel, le guide d'une automatisation vouée à l'anticipation. Un défi majeur se profile toutefois : éviter que cette automatisation ne s'emballe ou ne s'arroge des décisions contraires à l'intérêt humain.

Tendance 5 : Désilotage à toutes les échelles

L'ingénierie, jusque-là, s'accommodait d'une approche en silos : un composant perfectionné par-ci, un sous-système figolé par-là, au risque de perdre la vision d'ensemble. Avec l'avènement des jumeaux numériques « intelligents », l'IA générative propose un changement de focale : harmoniser les différents

niveaux de conception, de la plus infime pièce mécanique jusqu'aux infrastructures d'envergure, en un continuum où chaque rouage s'imbrique dans un dessein global.

Le jumeau numérique intelligent aide à anticiper les multiples articulations :

- À l'échelle du **composant**, elle affine la structure, économise la matière, réduit la dissipation thermique, tout en interrogeant la compatibilité avec l'ensemble.
- À l'échelle de la **ligne de production**, elle modélise la logistique, coordonne la chaîne d'approvisionnement, contribue à la gestion fine des ressources et des flux.
- À l'échelle de **la ville ou de l'écosystème industriel**, elle relie entre elles plusieurs « optimisations partielles » pour en tirer une optimisation globale, où l'efficacité de chaque entité se renforce dans un tissage collectif.

Au lieu de traiter chaque secteur en vase clos, on orchestre l'union des processus : l'urbain tient compte du trafic maritime, l'aéronautique s'accorde à la distribution énergétique, la gestion d'usine dialogue avec la ville alentour. Une synergie qui évoque la fluidité naturelle d'un organisme vivant, où chaque organe, s'il sert sa propre fonction, participe aussi à la santé du corps entier.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

AVIONS PLUS PERFORMANTS ÉCOLOGIQUEMENT. À l'heure où le secteur aérien se bat pour réduire son empreinte carbone, l'IA, associée aux jumeaux numériques, optimise simultanément l'aérodynamique, la structure de l'appareil, les cycles d'assemblage et l'approvisionnement en matériaux. Une approche globale, qui évite de traiter la seule réduction de traînée au détriment de la durée de vie des pièces ou de l'ergonomie de la cabine. La machine calcule, compare, arbitre, pour que l'avion devienne un tout cohérent, moins gourmand en carburant et plus rapide à produire.

VILLES INTELLIGENTES AUX ÉCOSYSTÈMES INTÉGRÉS. On a longtemps observé, dans les métropoles, une superposition hasardeuse : d'un côté, le service de voirie, de l'autre, le réseau électrique, plus loin, la gestion des déchets. Chacun ses outils, ses logiciels, ses données. Le jumeau numérique vient unifier ces organes dispersés : la collecte s'accorde avec la logistique de transport, l'alimentation énergétique s'adapte aux heures de pointe, l'éclairage public se coordonne au trafic routier. On brise les frontières, on encourage un urbanisme plus sobre, plus pratique, plus humain.

CHAÎNES DE PRODUCTION EN RÉSEAU. Dans la manufacture moderne, la rupture d'une seule pièce peut enrayer la cadence mondiale. Les jumeaux, animés par l'IA, détectent le point faible, suggèrent un réajustement des cadences, réorientent le stock. Les exemples de Schneider Electric ou de Procter & Gamble l'illustrent : 25 % à 30 % d'économies en CO₂ ou en gaspillage, 15 % de productivité en plus, le tout sur la base d'une orchestration supervisée par un cerveau numérique ultra-adaptatif.

LES PERSPECTIVES ET LES LIMITES

Adopter la logique d'« optimisation à toutes les échelles » implique d'accepter la complexité. Dès qu'on touche à une pièce, on modifie l'équilibre global. L'IA, justement, se nourrit de ces interdépendances : elle recalcule en temps réel la décision locale pour préserver l'efficacité d'ensemble. Mais ce potentiel s'accompagne de risques systémiques : une erreur de calcul dans un sous-module peut se diffuser en cascade, bouleversant l'écosystème tout entier. Il faut alors instaurer une redondance, une supervision humaine, voire un mécanisme d'alerte capable de stopper le déploiement d'une « mauvaise » optimisation.

Pour autant, l'ingénieur ne se dissout pas dans la machine : il demeure ce maître d'ouvrage, soucieux de contrôler que la partition reste lisible, que l'IA ne dicte pas des choix contraires à la sécurité, à l'équité, à la pérennité du système.

Cette élévation d'échelle démultiplie les questions éthiques :

- Comment répartir les gains de productivité et d'économie d'énergie ? Les concentrer chez quelques acteurs industriels ou en faire profiter la collectivité ?
- Comment éviter la fragilisation de l'ensemble si un algorithme, trop zélé, venait à fermer une boucle d'optimisation au détriment d'acteurs plus vulnérables ?
- Comment garantir la transparence quand chaque décision se fonde sur des milliards de calculs interdépendants ?

CONCLUSION : VERS UNE SIMULATION GÉNÉRALISÉE

La simulation à toutes les échelles marque une évolution de démarche (approche système) autant que technique : ne plus siloter l'ingénierie, ne plus isoler la gestion du microcosme et la planification du macrocosme, mais chercher à harmoniser l'ensemble à l'échelle (micro) du produit comme à l'échelle (macro) de la planète. Les jumeaux numériques, avec l'appui de l'IA, tissent ces connexions invisibles, permettant de concevoir des villes plus respirables, des usines plus vertueuses, des avions plus sobres. Un rêve ? peut-être, mais déjà en marche.

Tendance 6 : Accélérer l'innovation grâce au prototypage virtuel

Depuis toujours, l'ingénierie a progressé par prototype interposé : on bâtissait un modèle physique, on le testait, on l'ajustait, souvent dans la contrainte de coûts et de délais parfois prohibitifs. Un cycle nécessaire mais lent, qui limitait parfois l'audace créative. Or, l'avènement des jumeaux numériques amplifiés par l'IA générative a balayé nombre de ces entraves : désormais, on peut esquisser, peaufiner et valider des designs à une vitesse qui, hier encore, relevait de la science-fiction. Le résultat ? Une accélération à la fois stupéfiante et salutaire du processus d'innovation, des laboratoires de recherche jusqu'aux

lignes de production. Traditionnellement, le passage du concept à la réalité exigeait :

1. Des maquettes coûteuses en temps et en matériaux,
2. Des essais empiriques,
3. Une itération fastidieuse pour éliminer les failles.

Les jumeaux numériques, soutenus par l'IA, permettent de tester en virtuel la résistance d'un pont, la tolérance d'un implant médical ou la solidité d'un châssis automobile, sans mobiliser un seul boulon. On corrige, on re-simule, on affine, le tout en quelques heures là où, jadis, cela aurait nécessité des semaines ou des mois. De plus, on étend le champ d'exploration : pousser les hypothèses à l'extrême, vérifier des configurations atypiques ou ambitieuses, jouer avec des paramètres qu'on n'aurait même pas osé envisager physiquement.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

DISPOSITIFS MÉDICAUX : Avant, un implant chirurgical était validé après nombre de tests invasifs. Aujourd'hui, un jumeau numérique du corps humain peut estimer la compatibilité et le confort, évitant des itérations traumatisantes — tant pour le patient que pour le budget R&D. Des hôpitaux, comme Mater Dublin, voient les temps d'attente au scanner réduits de 240 minutes grâce à l'usage de jumeaux numériques qui gèrent en flux tendu la disponibilité des équipements et l'ordonnancement des diagnostics. Parallèlement, des prothèses imprimées en 3D, calibrées en simulation sur des modèles IA, allègent la douleur et accélèrent la rééducation.

GÉNIE CIVIL : Une autoroute, un pont, une structure complexe ? L'IA simule l'impact du vent, du gel, de la circulation extrême, en quelques tours de calcul. Singapour en fait l'illustration : un jumeau urbain intégral permet d'optimiser le calendrier des travaux, la répartition des ressources, et d'éviter des surcoûts grâce à une planification rigoureuse. À Singapour, le principe de "Virtual Sin-

gapore” démontre qu'on peut ajuster la construction d'un quartier, estimer l'affluence, prévoir l'évacuation en cas de crue, tout cela avant même de poser la première pierre. Les projets s'enchaînent, plus fluides, plus précis, réduisant de 28% les délais et économisant des budgets conséquents.

ROBOTS ET AUTOMATISATION : Dans les usines, on évite de multiplier les prototypes matériels, on recourt à la simulation robotique pour parfaire la cinématique, l'ergonomie, la sécurité. Quand on lance enfin un “vrai” robot, il a déjà “vécu” mille scénarios en simulation, repéré ses angles morts, affûté sa trajectoire. Dans l'automobile, l'IA simule le déplacement de robots sur les chaînes d'assemblage, afin de détecter la trajectoire optimale, la meilleure synchronisation avec les opérateurs humains, et même le risque de collision ou de panne mécanique. Résultat ? Un process plus sûr, plus réactif, plus rentable.

Le cas Dessia

Dessia Technologies est une startup française fondée en 2017 par Pierre-Emmanuel Dumouchel et Steven Masfaraud. Elle se spécialise dans l'automatisation des processus d'ingénierie grâce à l'intelligence artificielle (IA). Dessia développe une plateforme logicielle qui permet aux entreprises de créer et de gérer des applications personnalisées basées sur l'IA, optimisant ainsi leurs workflows de conception et d'ingénierie. Parmi ses clients figurent des leaders industriels tels que Renault, Safran, Alstom, Boeing, Valeo et Naval Group, soulignant son intégration forte dans l'écosystème industriel français.

La solution de Dessia offre plusieurs avantages : réduction des délais de développement, conception correcte dès la première itération, solutions innovantes et digitalisation des connaissances en ingénierie. Ces technologies répondent aux défis actuels de l'industrie, notamment la réduction des délais de mise sur le marché, la conception écologique et l'amélioration des performances tout en respectant les contraintes budgétaires.

Vision : L'Ingénierie Augmentée

La vision de Dessia repose sur le concept d'ingénierie augmentée, qui consiste à transformer les processus industriels grâce à l'IA. Sa plateforme utilise des algorithmes génératifs pour automatiser les tâches complexes d'ingénierie. Ces outils permettent d'explorer rapidement un large éventail de solutions techniques dès les premières phases de développement, réduisant ainsi les itérations coûteuses et chronophages. Dessia intègre également des agents personnalisables basés sur une IA propriétaire qui

imitent les méthodes de travail des ingénieurs. Ces agents offrent un support précieux pour relever les défis économiques et environnementaux auxquels font face les équipes d'ingénierie. En adoptant cette approche, Dessia ambitionne de devenir le leader mondial dans l'automatisation des processus d'ingénierie.

Cas d'usage : Collaboration avec Renault

Cette collaboration se concentre sur les phases amont du développement où les hypothèses de définition sont nombreuses mais les coûts encore maîtrisés. Grâce aux outils génératifs de Dessia, Renault peut associer spécifications fonctionnelles et dessins architecturaux en 3D dès le début du projet. Cela permet une exploration exhaustive du champ des possibles via des algorithmes génératifs. Les bénéfices incluent :

- Une réduction du temps consacré aux études techniques (jusqu'à 80 %),
- Une diminution significative du nombre d'experts mobilisés,
- Une optimisation robuste des architectures thermiques et électriques des plateformes automobiles.

Ces outils permettent à Renault d'évaluer rapidement différentes alternatives technologiques tout en limitant les modifications coûteuses aux étapes ultérieures du développement.

Dessia incarne une révolution dans l'ingénierie industrielle grâce à ses solutions basées sur l'IA. Pour en savoir plus : www.dessia.io

PERSPECTIVES ET LIMITES

En libérant l'ingénierie des goulots financiers et temporels du prototypage matériel et des essais sur banc en vraie grandeur, on démocratise l'invention. Les idées dites "folles", trop coûteuses à prototyper physiquement, peuvent s'épanouir dans le virtuel : on teste des formes audacieuses, on expérimente des alliages inédits, on flirte avec la marge du possible. Les jumeaux numériques offrent un terrain de jeu quasi illimité, où la précaution ne tue plus l'audace, où l'ingénieur peut allier la logique au fantasque.

Néanmoins, cette facilité apparente recèle un piège : la surproduction d'essais en tout genre, sans cap stratégique, risque d'encombrer le processus de "bruit" et de pseudo-projets. Pour exploiter pleinement la rapidité du prototypage

virtuel, il faut une boussole, une discipline méthodique, des objectifs clairs. L'IA ne compense pas une absence de vision, elle ne fait que révéler plus vite le génie ou l'erreur.

Cette accélération du cycle d'innovation ne saurait exclure la question de l'épreuve de validation entre simulation *in silico* et test *in vivo*. Une confiance aveugle dans le jumeau numérique pourrait induire un écart si les données d'entrée sont biaisées, incomplètes ou mal actualisées. De surcroît, l'étape de validation réelle demeure cruciale : on ne “livre” pas un avion sans test physique, pas plus qu'on ne greffe un implant sans certitudes anatomiques, qu'on ne certifie pas une voiture sans une série de crash tests.

CONCLUSION : UN PAS DE GÉANT VERS LA SIMULATION GÉNÉRALISÉE MULTI-ÉCHELLE ET DE BOUT EN BOUT

Avec l'IA, la frontière entre imagination et application s'amenuise : l'erreur devient moins coûteuse, l'expérimentation moins risquée, l'originalité moins entravée. Sans briser la discipline de l'ingénierie, on lui rend une part d'élan presque artistique — celui de la conjecture, de l'hypothèse déroutante, qui, jusque-là, faisait reculer à cause du fardeau logistique et financier.



QUAND L'IA GÉNÉRATIVE, AGENT AUTONOME, AIDE À RÉSOUDRE LE PROBLÈME

On peut classer les problèmes en trois catégories, de simple à compliqué, jusqu'à complexe voire chaotique. L'apport de l'IA n'est pas le même dans les trois catégories. Pour les problèmes simples et compliqués, l'IA générative accélère et démultiplie la capacité de résolution en répliquant les bonnes pratiques connues et apportant une profondeur d'expertise s'appuyant sur tout son corpus d'apprentissage. Sa capacité d'apprentissage vient augmenter les méthodes de résolution agiles, itératives et exploratoires. On retrouve ici sa capacité d'optimisation débridée évoquée plus haut.

Ce qui est nouveau ici c'est la capacité de faire autrement face aux problèmes complexes ou radicalement nouveaux où la relation cause-effet est incertaine et souffre d'un manque de connaissances. L'IA générative vient enrichir notre créativité et augmenter nos capacités de conception innovante. Ce faisant, elle opère un saut qualitatif. C'est tout l'enjeu avec l'IA agentique de développer des outils d'ingénierie générative capables de :

- **Autonomie opérationnelle** : capacité à prendre des décisions de manière autonome, sans supervision continue, et à gérer activement ses propres tâches pour atteindre des objectifs précis.

- **Proactivité et initiative** : aptitude à anticiper les besoins, à identifier les opportunités ou risques potentiels, et à agir spontanément plutôt que de simplement réagir à des commandes explicites.
- **Apprentissage adaptatif** : faculté d'apprendre en continu à partir des interactions et des expériences vécues, permettant une amélioration constante des performances et de l'efficacité opérationnelle.
- **Raisonnement et planification avancés** : capacité à planifier à long terme, à formuler des stratégies complexes, à gérer des priorités multiples, et à adapter les plans en fonction des changements de contexte.
- **Interaction intelligente avec l'environnement** : habileté à percevoir, interpréter et influencer activement l'environnement, qu'il soit physique ou numérique, afin d'atteindre efficacement les résultats souhaités.
- **Collaboration avancée homme-machine** : capacité à établir une coopération efficace avec les humains et d'autres systèmes d'IA, en communiquant clairement ses intentions, en coordonnant ses actions et en respectant les limites éthiques et pratiques.

Appliqué à la résolution de problèmes d'ingénierie, l'IA générative devient un agent de décision, capable de compiler des quantités massives de données, de déceler les motifs sous-jacents, d'anticiper les écueils. Mais elle ne supprime pas, pour autant, le jugement humain — elle l'aiguillonne, l'enrichit, l'entraîne à prendre, en connaissance de cause, des décisions mieux renseignées. Sur un chantier d'infrastructure majeur, par exemple, l'IA explore des milliers de variables (coûts, empreinte écologique, topographie, réglementations), estime l'impact de chaque scénario et propose des compromis finement dosés. L'ingénieur, ainsi outillé, pèse plus vite le pour et le contre, arbitre avec une acuité renforcée.

Tendance 7 : Diagnostics prédictifs, préventifs et curatifs

L'IA générative change la partition : elle ne se contente pas de traiter le problème une fois qu'il est survenu, mais l'anticipe et l'empêche de se manifester. Par l'accumulation des données et leur analyse, elle permet de remonter aux causes profondes du problème et de trouver des solutions curatives et pas seulement palliatives.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

TÉLÉCOMMUNICATIONS : Les réseaux 5G, soumis à des pics de trafic imprévisibles, bénéficient d'un pilotage adaptatif : l'IA, via l'analyse de données massives, anticipe les saturations, réalloue la bande passante, contribue à la fluidité de millions d'utilisateurs. Les opérateurs évoquent une baisse spectaculaire des interruptions de service, et la clientèle, moins sujette à la latence, savoure un nouveau standard de fiabilité. Des rapports montrent que l'IA intégrée dans la 5G réduit la rupture de service de 70%, accélérant d'autant la réallocation d'urgence et améliorant de 30% l'efficacité globale du réseau.

LIGNE DE PRODUCTION : Dans le secteur manufacturier, un arrêt machine peut plomber la rentabilité. Grâce à l'IA, on scrute la température, la vibration, la pression de chaque composant ; on anticipe la rupture d'un roulement avant qu'elle ne survienne. On évite la panne, on planifie la maintenance, on sauvegarde la productivité. Divers projets soulignent un abaissement de 25% des coûts de maintenance et une chute de 40% du temps d'arrêt grâce au suivi préventif.

IMAGERIE MÉDICALE : Les premiers signes de cancer détectés plus tôt, les anomalies débusquées avant qu'elles ne prolifèrent. L'IA, formée sur un immense corpus d'images, discerne dans un cliché une légère altération indécélable à l'œil nu, permettant un diagnostic rapide et précis. Les radiologues gagnent un temps précieux, les patients voient leurs chances démultipliées. Des études font

état d'un bond de 93 % en précision pour la détection de certains cancers précoces, écourtant de surcroît les délais d'examen dans les hôpitaux surchargés.

PERSPECTIVES ET LIMITES

En somme, la perspective d'un diagnostic proactif répond au besoin du monde industriel : moins de gâchis, moins d'arrêts de production, plus de fluidité. Mais elle nous alerte aussi : anticiper, c'est prendre le risque d'intervenir sur des anomalies potentiellement non dangereuses, et cela soulève la question de la hiérarchisation des alertes, de la validation humaine, de la responsabilité si un diagnostic IA se révèle erroné. Le champ est donc ouvert, fertile, exigeant — et le rôle de l'ingénieur est de veiller au juste emploi de la puissance prédictive.

Tendance 8 : L'apprentissage adaptatif

Là où les systèmes d'ingénierie traditionnels restaient figés dans des paramètres initiaux, exigeant d'occasionnelles mises à jour manuelles, l'IA générative permet un apprentissage en continu. Ses modèles n'ont pas vocation à stagner : ils s'imprègnent de chaque retour, ajustent leurs configurations et, tels des organismes vivants, s'adaptent à la variabilité incessante de leur environnement.

En d'autres termes, on passe d'une ingénierie statique à un organisme apprenant, une entité algorithmique qui se perfectionne au fil des interactions, détectant les signaux faibles, mémorisant les patterns, anticipant les mutations. L'ingénieur, loin de perdre la main, oriente cette boucle d'évolution, fixe les balises éthiques et veille à la cohérence d'ensemble.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

GRILLES ÉNERGÉTIQUES INTELLIGENTES. Dans un univers où l'hydraulique, le solaire et l'éolien cohabitent avec des sources plus traditionnelles, la charge et l'offre sont soumises à un ballet complexe. L'IA, en absorbant les données en temps réel, autorise un rééquilibrage permanent : non seulement on réagit aux fluctuations, mais on les pressent. On optimise le rendement du solaire quand

l'ensoleillement pointe, on canalise l'énergie éolienne en stockant par avance, on évite la panne généralisée. Le gain, tant économique qu'écologique, se hisse alors au rang de véritable argument pour la transition verte. Des rapports sur l'énergie hybride montrent une réduction de 20% des pertes, grâce à une IA adaptative qui ajuste l'exploitation solaire/éolien au jour le jour.

PROCESSUS INDUSTRIELS. Dans une usine moderne, les cadences, la typologie des produits, la qualité des intrants évoluent sans cesse. L'IA adaptative, en supervisant chaque flux, chaque métrique, détecte les dérives et propose en direct un recalibrage. Sans ce suivi, on attendrait un audit trimestriel pour découvrir un goulet d'étranglement ; avec l'IA, la correction survient immédiatement, résorbant la faille avant même qu'elle ne handicape la productivité. Des constructeurs automobiles évoquent la diminution significative des pannes imprévues et le gain d'un million de dollars annuels dans le secteur d'assemblage robotisé.

VÉHICULES AUTONOMES. Pour que la conduite autonome devienne sûre et universelle, la capacité à assimiler des conditions rares (météo extrême, travaux soudains, comportement erratique d'un autre usager) est cruciale. L'IA, en accumulant les cas rencontrés, s'affranchit peu à peu des limitations initiales : elle apprend, y compris de ses erreurs, affine ses algorithmes de reconnaissance et de décision. Au fil des trajets, elle réduit son taux d'incident, et l'ingénieur, attentif, valide les scénarios où la machine progresse et ceux où elle doit encore tâtonner. Les algorithmes d'autonomie routière s'affinent de 20% dans la détection des "edge cases" (scénarios rares) après plusieurs milliers de retours terrain.

PERSPECTIVES ET LIMITES

L'apprentissage perpétuel transfigure la relation humain-IA :

- **L'ingénieur** n'est plus l'opérateur chargé de mises à jour sporadiques, mais le guide et l'arbitre d'un système en perpétuelle auto-construction.

- **La machine**, de simple outil, se hisse au rang d'entité évolutive, défrichant des marges d'amélioration insoupçonnées.

Cela dit, la performance grandissante de l'IA doit s'accompagner d'une vigilance renforcée : quelle garantie que l'évolution prenne la "bonne" direction ? Qui garantit l'intégrité des données qui l'alimentent ? Comment détecter un biais qui, discrètement, s'incruste et corrompt la logique ? Voilà pourquoi la transparence et l'auditabilité demeurent cruciales, tout comme le traçage des mises à jour et la définition de protocoles de réversion en cas de dérive.

Tendance 9 : enrichir la créativité et la rigueur analytique

La conception innovante au sens CK est un processus créatif structuré qui repose sur l'interaction dynamique entre deux espaces distincts : l'espace des concepts, où l'on imagine des objets ou idées inconnus, souvent désirables mais encore inexistantes, en questionnant les caractéristiques établies et en explorant des alternatives inédites ; et l'espace des connaissances, qui regroupe les savoirs disponibles permettant de soutenir, enrichir ou transformer les concepts imaginés. Le cœur de la conception innovante réside dans une double expansion : chaque nouveau concept génère des besoins en connaissances (expansion de K), tandis que chaque nouvelle connaissance permet d'enrichir ou de transformer les concepts (expansion de C) qui élargit les frontières des concepts et génère des idées inédites. L'IA générative permet de repousser les limites du connu en explorant des espaces conceptuels de façon systématique difficilement accessible à un seul esprit humain. Elle propose des idées radicalement nouvelles en croisant des données hétérogènes ou en révélant des connexions jusqu'alors inattendues. Voici quelques illustrations marquantes :

- **Jeu de Go** : Le 73^e coup d'AlphaGo. Lors d'une célèbre partie contre Lee Sedol, AlphaGo a inventé un coup inédit qu'aucun des grands maîtres du

jeu n'avaient jamais envisagé. Ce coup a démontré que l'IA pouvait explorer des stratégies hors du cadre traditionnel, élargissant ainsi le champ des possibles dans un domaine pourtant régi par des règles strictes.

- **Découverte en théorie des nœuds :** En collaboration avec DeepMind, une équipe de chercheurs a utilisé l'apprentissage automatique pour découvrir un nouveau théorème en théorie des nœuds. L'IA a identifié des connexions inattendues entre différents domaines mathématiques, guidant l'intuition humaine vers une conjecture prouvable. Ce travail illustre comment l'apprentissage automatique peut enrichir la recherche fondamentale en mathématiques en révélant des relations que l'esprit humain aurait difficilement ou pas encore perçues.
- **Iprova et l'invention guidée par les données :** cette entreprise exploite l'IA pour croiser des données issues de domaines éloignés et générer des brevets d'invention. Par exemple, elle a conçu une technologie combinant matériaux intelligents et capteurs biométriques pour créer une nouvelle génération d'appareils médicaux connectés.

Le cas iprova

Entretien avec Julian Nolan, PDG et fondateur d'Iprova

Qu'est-ce qui vous a poussé à imaginer le concept commercial d'Iprova ? Quelles ont été vos intuitions de départ ?

Aujourd'hui, l'invention repose souvent sur des interactions fortuites entre des informations déclenchantes et les personnes capables d'en tirer des idées nouvelles. J'étais convaincu qu'il devait exister une meilleure manière d'inventer, particulièrement des inventions brevetables. C'est pourquoi j'ai créé Iprova, avec l'idée d'utiliser des technologies telles que le big data et l'IA pour connecter la bonne information aux bonnes personnes au moment opportun, optimisant ainsi le processus d'invention. Notre vision est que l'innovation est inévitable, et que la vitesse d'accès au marché fait toute la différence. Il est prouvé que toute invention techniquement faisable et commercialement pertinente sera tôt ou tard trouvée par quelqu'un dans le monde. Le défi essentiel n'est donc pas d'inventer en soi, mais d'inventer en premier. Être rapide procure un avantage commercial majeur, notamment en matière de brevets, en permettant des revendications plus larges et plus précoces, et donc une plus grande valeur intrinsèque.

Iprova adopte une approche basée sur les données, détectant immédiatement tout changement technologique pouvant permettre une invention dans un domaine précis. Cela réduit considérablement le délai entre le moment où l'invention devient possible et celui où elle est effectivement créée, en suivant une approche déterministe à haute vitesse.

Quel est l'impact de la technologie d'IA sur ce que fait Iprova ?

Pour inventer efficacement, deux étapes sont indispensables : identifier les avancées inventives grâce à de petits signaux spécifiques et déterminer comment ces signaux sont pertinents pour un domaine d'innovation précis et comment les relier entre eux. Nous utilisons des techniques d'apprentissage automatique pour répondre à ces deux besoins. Tout d'abord, nous devons extraire des petits signaux innovants parmi une masse importante d'informations non pertinentes. Contrairement aux moteurs de recherche classiques, qui fonctionnent par proximité, nos outils détectent des signaux subtils, même éloignés du domaine d'application ciblé. Par exemple, une découverte en biologie humaine pourrait être pertinente pour une interface utilisateur mobile. Grâce à des technologies telles que des classificateurs IA, nous isolons ces signaux à partir d'un grand volume de données. Ensuite, nous utilisons des modèles de langage avancés (LLM) et d'autres techniques d'apprentissage automatique pour déterminer comment ces signaux peuvent être combinés de façon innovante. Inventer ressemble à cuisiner : certains ingrédients s'accordent mieux ensemble. L'IA nous permet d'identifier ces associations pertinentes parmi d'innombrables possibilités, créant ainsi des concepts innovants.

Nous sommes toutefois très prudents dans notre usage de l'IA. Nos clients cherchent parfois simplement des idées nouvelles sans nécessairement viser une protection par brevet. Dans ce cas, nous pouvons générer ces idées de manière plus automatisée. Cependant, pour ceux qui souhaitent déposer des brevets, il est impératif que l'invention ait une origine humaine claire. L'IA agit alors strictement en soutien, augmentant la capacité inventive humaine sans la remplacer. Cette distinction est cruciale pour préserver la validité juridique des brevets.

Quels sont vos cas d'application préférés qui illustrent l'impact d'Iprova ?

Nous avons collaboré étroitement avec Procter and Gamble pour étendre les frontières de l'innovation dans leurs différents secteurs d'activité. Cette collaboration a permis une accélération significative de leur processus de R&D, en explorant des directions nouvelles et commercialement pertinentes. Avec Philips, nous avons travaillé sur l'élaboration de nouvelles normes techniques, notamment dans les communications 5G. Contrairement aux innovations axées sur des produits précis, la création de normes techniques exige des améliorations incrémentales fréquentes. Notre technologie a aidé Philips à accélérer significativement la création d'inventions pertinentes pour les nouvelles générations de standards, leur donnant un avantage compétitif dans cette course intense. Un autre

exemple marquant est celui de BIC, qui a créé le premier laboratoire d'invention piloté par les données (DDI Lab), fondé sur notre technologie. Ce laboratoire a généré des centaines d'inventions brevetables avec une efficacité exceptionnelle, atteignant un taux de création d'inventions au moins vingt fois supérieur à la moyenne industrielle. Ces résultats démontrent clairement notre capacité à produire des innovations de rupture, plutôt que de simples améliorations marginales.

Comment voyez-vous évoluer le métier d'ingénieur, et qu'attendez-vous des écoles d'ingénieurs en matière de formation initiale ?

Il est tentant de recommander la formation des ingénieurs aux outils disponibles. Cependant, je pense que l'invention doit d'abord être enseignée à un niveau fondamental, transformant ainsi cette activité d'une approche artisanale vers une discipline scientifique à part entière. L'invention nécessite bien plus qu'une simple gestion de l'innovation : elle exige une compréhension profonde des mécanismes permettant de créer des inventions de grande valeur. Il est essentiel de former les ingénieurs non seulement aux méthodes d'innovation mais aussi aux outils spécifiques facilitant cette activité. Une curiosité insatiable sur le fonctionnement des technologies à tous les niveaux reste une qualité primordiale pour tout ingénieur innovant.

Quelle est votre vision d'avenir pour Iprova ?

Notre objectif est d'intégrer nos outils directement dans les activités quotidiennes des collaborateurs, plutôt que dans des processus spécialisés d'invention. Beaucoup de personnes possèdent un potentiel inventif sans se considérer comme inventeurs. Nous voulons les aider à exprimer leur créativité, qu'ils travaillent en marketing, en recherche ou en support technique. À terme, nous aspirons à devenir la principale plateforme de gestion de l'invention, une sorte de « Salesforce de la créativité », permettant non seulement l'innovation interne à une organisation, mais aussi la collaboration créative entre plusieurs entreprises.

Pour en savoir plus ; www.iprova.com

La conception réglée repose sur une exploitation intensive du savoir existant pour maximiser l'efficacité dans un cadre prédéfini. En revanche, la conception innovante s'appuie sur l'exploration audacieuse d'espaces conceptuels nouveaux, où l'IA agit comme un révélateur d'idées inattendues. Ces deux régimes ne s'opposent pas mais se complètent : ils permettent à l'ingénierie de répondre à la fois aux besoins immédiats et aux défis à long terme.

En somme, l'IA générative augmente non seulement le rythme mais aussi la capacité d'innovation. Dans le régime réglé, elle optimise avec rigueur ; dans le régime innovant, elle amplifie la créativité humaine. Plus qu'une bête de calcul, l'IA générative devient un catalyseur d'ingéniosité, déchargeant l'ingénieur des corvées répétitives et lui offrant l'opportunité de déployer toute sa verve créative. On passe à un ballet plus fluide où l'homme et la machine échangent, se renvoient des hypothèses, affinent des conjectures. Ainsi, l'ingénieur invente, conceptualise, crée de la connaissance — tandis que l'IA, inlassable, calcule, compare, signale les failles ou les pistes prometteuses.

BALAYONS QUELQUES ILLUSTRATIONS

DÉVELOPPEMENT LOGICIEL Largement documentée, la contribution de GitHub Copilot (et consorts) franchit le cap de la simple auto-complétions. Imaginez un ingénieur logiciel, soulagé de la rédaction ennuyeuse des squelettes de code, ou de la chasse fastidieuse aux bugs triviaux : il peut désormais consacrer son temps à l'architecture système, à l'ergonomie, à la performance de fond. L'IA devient un “co-pilote” (d'où son nom), apportant par instants la solution élégante qu'on aurait cherché pendant des heures.

DESIGN DE CIRCUITS INTÉGRÉS Là où l'on chercha jadis l'équilibre entre consommation et performance à coups d'essais et d'erreurs, l'IA suggère des configurations novatrices, propose des chemins d'alimentation moins gourmands. Pour l'IoT, l'enjeu est vital : miniaturisation, fiabilité, sobriété énergétique. Désormais, on confronte mille micro-variations d'un circuit en quelques minutes, et l'homme tranche, guidé par l'éclairage algorithmique.

COLLABORATION TRANSVERSALE Les projets d'ingénierie ne se contentent pas d'un seul domaine. Entre l'électronique, la mécanique, l'analyse environnementale, les données économiques, il fallait autrefois jongler entre plusieurs logiciels, souvent incompatibles. Aujourd'hui, des plateformes IA unissent la diversité des flux, permettant à chaque expert de contribuer, pendant que la machine recoupe les contraintes et suggère des compromis inédits.

L'échange humain s'en trouve décuplé, car la machine clarifie et centralise les simulations.

Ici, se dessine une alliance : l'ingénieur oriente, sélectionne, juge ; la machine propose, affine, exécute. Le résultat prend la forme d'un cercle vertueux où l'humain apprend de l'IA, et réciproquement, dans une boucle d'amélioration continue.

PERSPECTIVES ET LIMITES

En soulageant les tâches redondantes, l'IA libère les tâches de conception, la recherche de sens, l'harmonisation de critères a priori contradictoires. Mais cela s'accompagne d'une exigence de surveillance : qui valide la proposition de la machine ? Qui vérifie qu'une optimisation glorieuse n'occulte pas la sûreté ou l'accessibilité ? La multiplication des outils, aussi, peut fragmenter la responsabilité : le code proposé par l'IA, faut-il l'assumer à 100% si un bug critique émerge plus tard ?

Les études soulignent (par exemple dans l'IEEE Transactions) que l'IA optimise la consommation énergétique, améliore l'efficacité, facilite la collaboration multidisciplinaire. Mais l'éthique, la sécurité, la transparence restent en ligne de mire. La responsabilité incombe à l'ingénieur de maîtriser ses outils, de : rester maître d'ouvrage de son travail, faisant fructifier l'apport de l'IA sans s'abandonner à elle.

Ainsi, la vraie limite est humaine : comment accueillir cette nouvelle donne sans sombrer dans l'assistanat, sans perdre le fil critique ? Comment embrasser la vitesse algorithmique tout en s'assurant qu'elle ne piétine ni les impératifs de sécurité ni les valeurs qui nous sont chères ? La machine amplifie l'imagination... ou l'erreur, selon l'expertise et la vigilance du pilote.

Conclusion

UN ALLIÉ QUI AUGMENTE LES CAPACITÉS DE RÉOLUTION DE PROBLÈME

Avec ce nouvel allié, l'ingénieur se dote d'une mémoire vivante, à la fois curseur d'efficacité et promesse d'innovation continue. L'intelligence algorithmique sillonne le système, cherchant sa route, s'auto-optimisant à chaque obstacle franchi., En somme, l'IA générative augmente non seulement le rythme mais aussi la capacité d'innovation. Dans le régime réglé, elle optimise avec rigueur ; dans le régime innovant, elle amplifie la créativité humaine.

IV

LES CONDITIONS DE RÉUSSITE DE L'INGÉNIERIE GÉNÉRATIVE

4.1. Poursuivre les efforts de sobriété et de soutenabilité

L'essor récent des applications de l'intelligence artificielle générative dépasse désormais les simples prouesses techniques. Aujourd'hui, technologie, progrès social et écologie doivent se concilier harmonieusement. On attend de l'IA qu'elle réponde aux impératifs sociaux et environnementaux. Cette exigence implique d'une refonte des pratiques techniques. Pour cela, les chercheurs explorent des voies plus sobres et intelligentes. La qualité des données prime désormais sur leur volume. Les approches hybrides intègrent raisonnement symbolique et apprentissage statistique. Des architectures plus compactes comme DeepSeek V3 ou JEPa permettent de réduire les coûts énergétiques sans sacrifier les performances. Ces évolutions témoignent d'une volonté de construire une IA responsable, adaptée aux enjeux contemporains.

Les métiers de l'ingénierie sont eux aussi amenés à se reconfigurer. L'ingénieur devient un stratège, garant de la fiabilité des systèmes, de leur transparence, et de leur impact environnemental. Il orchestre la collaboration entre humains

et machines, vérifie les données, surveille les biais, et s'assure que les solutions développées s'inscrivent dans une logique de durabilité. Il ne s'agit plus seulement de viser l'efficacité technico-économique, mais d'équilibrer fiabilité, sobriété, acceptabilité et opérationnalité dans chaque projet. On arguera que cela n'est pas nouveau mais les apports de l'IA générative renouvellent à la fois les enjeux et les solutions.

Pour cela, c'est à l'ingénieur de s'assurer que l'IA qu'il emploie réponde à 4 critères que nous avons identifiés, fiabilité, sobriété, acceptabilité et opérationnalité. Nous développons ci-dessous chacun de ces critères en les illustrant d'exemples et d'initiatives concrètes tirées des résultats de recherche et de pratiques industrielles actuelles.

1. **Fiabilité et résilience.** L'ingénieur doit garantir que les systèmes IA soient robustes face aux scénarios extrêmes. Cela implique l'instauration de garde-fous techniques et de tests rigoureux pour prévenir toute défaillance ayant un impact critique sur la sécurité ou la durabilité. *Illustrations: Google DeepMind : . Secteurs critiques : Exigence de protocoles rigoureux pour les systèmes autonomes (e.g., véhicules autonomes) afin d'éviter des défaillances catastrophiques.*
2. **Sobriété énergétique et matérielle.** Dans un contexte où les ressources sont limitées, l'ingénieur doit évaluer non seulement sur les performances de sa solution mais aussi son coût écologique et matériel. Cela inclut l'impact des ses outils d'IA son recours ou non à l'utilisation d'architectures compactes et l'optimisation énergétique de ses algorithmes et de leur apprentissage. [Les modèles comme DeepSeek V3 ou JEPa, réduisent la consommation énergétique tout en maintenant les performances \(Illustration\).](#)
3. **Acceptabilité sociale et éthique.** La solution ne peut être déployée que si elle minimise et explicite ses biais. Et si son empreinte sociale est positive après une analyse de rebond sur la base des connaissances existantes.

Ainsi, l'ingénieur doit s'assurer que chaque solution contribue à une société plus équitable et plus soutenable. *Illustrations : Réduction des biais : Techniques comme l'« adversarial debiasing », réduisant jusqu'à 35 % les discriminations dans les algorithmes de recrutement. Démocratisation technologique : Initiatives open source (Hugging Face, Falcon AI) permettant aux chercheurs de pays émergents d'accéder à des outils IA avancés. UNESCO : Des programmes éducatifs utilisant des jumeaux numériques ont augmenté de 50 % les compétences STEM dans certaines régions défavorisées, montrant comment l'IA peut réduire les inégalités.*

- 4. Opérationnalité pragmatique** L'efficacité d'une solution repose sur sa capacité à s'intégrer rapidement dans des environnements réels sans compromettre la vitesse d'exécution ou imposer des contraintes excessives dans les process opérationnels. *Illustration : Réseaux énergétiques intelligents : L'IA optimise la gestion en temps réel de l'énergie solaire et éolienne, améliorant la stabilité et réduisant les coûts jusqu'à 30 % (source). Industries critiques : Intégration rapide dans les chaînes de production (e.g., aéronautique), réduisant les pertes matérielles de 55 %.*

4.2. Trouver les justes équilibres

Entre ces quatre axes se dessine un espace d'arbitrages subtil : tout miser sur la vitesse au détriment de la fiabilité ou de l'acceptabilité serait folie, tandis que se perdre dans un perfectionnisme gourmand en ressources ruinerait la pertinence de la solution ou son opérationnalité.

L'ÉQUILIBRE ENTRE L'IA QUI CONSOMME ET CELLE QUI ÉCONOMISE

Concevoir et construire pour le long terme signifie prioriser la durabilité environnementale dans chaque projet d'ingénierie. Face à ce défi écologique, l'ingénieur doit développer des stratégies d'optimisation des ressources énergétiques

et matérielles utilisées, notamment en privilégiant les centres de données alimentés par des énergies renouvelables et en favorisant l'utilisation de modèles compacts, économes et performants. Des exemples tangibles témoignent déjà de cette ingénierie durable. Dans les data centers, l'usage intelligent de l'IA permet d'optimiser la ventilation, réduisant ainsi jusqu'à 40 % les coûts énergétiques de refroidissement. Dans l'industrie, l'IA réduit les pertes matérielles, optimise la production et conçoit des pièces plus légères, améliorant ainsi l'efficacité globale tout en minimisant les déchets. Dans les réseaux énergétiques, l'IA assure une gestion optimale des flux d'énergies renouvelables, stabilisant ainsi les systèmes et réduisant les coûts d'exploitation.

EXEMPLES ET IMPACTS

CENTRES DE DONNÉES. Au fil de la digitalisation planétaire, les data centers ont vu leurs factures énergétiques s'envoler. Désormais, l'IA influe sur la circulation d'air, détecte les points chauds, ajuste la ventilation et consomme jusqu'à 40 % d'énergie en moins pour le refroidissement. Google, via DeepMind, a illustré cet exploit, épargnant chaque année des millions de dollars et des tonnes de CO₂. [Une baisse des coûts de refroidissement, notamment.](#)

CHAÎNES DE PRODUCTION. Dans l'aéronautique et l'automobile, les surplus de matière sont un fléau coûteux et polluant. L'IA repère en direct les inefficiences, propose des configurations qui minimisent la perte, tout en préservant l'intégrité du produit. On "met au régime" l'atelier : moins de déchets, moins de dépenses, plus de durabilité. Airbus et Boeing, via des algorithmes de design génératif, allègent des pièces de 55 %, épargnant des tonnes de matière et améliorant l'aérodynamique.

RÉSEAUX ÉNERGÉTIQUES. La variabilité du solaire et de l'éolien déstabilise souvent le réseau. L'IA anticipe le degré d'ensoleillement, répartit la charge, optimise le stockage. Loin de voir l'énergie verte comme un défi, on y décèle un atout, puisque la répartition pilotée par l'IA aide à lisser la production et à fiabiliser l'offre. L'IA, conjuguant la météo en temps réel et la distribution, assure

une stabilité accrue et une économie qui peut grimper jusqu'à 30% sur les coûts d'exploitation.

Saisir cet élan, c'est anticiper les impacts de l'IA notamment dans son déploiement à l'échelle et proposer des solutions soutenables à l'échelle. Attention à bien prendre en compte l'ensemble du cycle de développement de la solution lorsqu'on saisit celle-ci sur l'étagère. L'impact de l'entraînement massif en amont sur les super calculateurs n'annule-t-il pas tout le gain ? Le défi nécessite de prendre en compte l'ensemble de la chaîne de la manière de concevoir, d'héberger et d'entraîner ces IA, en veillant à ajuster le ratio bénéfice / empreinte.

L'ingénieur qui orchestre cette transition "IA verte" devient alors un acteur responsable de cet équilibre, arbitrant la recherche d'un progrès technique et social et la sauvegarde de la biosphère.

L'ÉQUILIBRE ENTRE L'IA QUI MONOPOLISE ET ASSERVIT, ET CELLE QUI ÉLARGIT L'ACCÈS DE CHACUN À LA TECHNOLOGIE ET ÉMANCIPE

Pour que ces bénéfices soient équitablement répartis, l'élargissement de l'accès aux technologies IA est essentiel. Les populations des pays moins équipés ou ne disposant pas de champions nationaux de ces technologies doivent pouvoir tirer pleinement parti de ces avancées. Ainsi, les solutions satellitaires offrent une connectivité aux régions isolées et les laboratoires virtuels et les plateformes open source permettent un accès démocratisé. A ces conditions seulement, l'IA peut devenir un outil d'émancipation, réduisant la fracture numérique et favorisant le développement équitable.

EXEMPLES ET IMPACTS

CONNECTIVITÉ MONDIALE. Des constellations de satellites optimisés par l'IA irriguent en internet haut débit des zones rurales, jadis enclavées. L'IA calcule la configuration la plus économe en orbites, distribue la bande passante avec

astuce, et transforme la “zone blanche” en un espace d’opportunités : e-santé, e-formation, commerce en ligne. L’exode numérique s’inverse : là où on n’avait ni médecin ni enseignant, on peut accéder à des ressources planétaires. Les agences spatiales notent une baisse de 25 % du coût de déploiement des services internet par satellite dès lors que l’IA planifie les constellations et l’ordonnancement des signaux. Des villages entiers passent ainsi de l’isolement à l’ouverture sur le monde, avec un impact direct sur la santé, l’éducation, la création d’emplois.

LABORATOIRES VIRTUELS ET ÉDUCATION. Dans les régions dépourvues d’infrastructures, les jumeaux numériques assurent l’expérimentation sans matériel coûteux : un étudiant, armé d’un simple ordinateur, manipule, teste des scénarios complexes, s’initie à l’ingénierie de pointe. Les retours d’expérience en Afrique subsaharienne ou en Inde le prouvent : la progression des élèves en sciences s’en trouve dopée, en s’affranchissant de la barrière financière. Des programmes soutenus par l’UNESCO montrent une hausse de 50% des acquis en STEM dans certaines zones, grâce à la simulation interactive : l’élève manipule virtuellement des réacteurs chimiques, des circuits électroniques, des maquettes urbaines, sans un seul équipement physique onéreux.

PLATEFORMES OPEN SOURCE. Sur des sites collaboratifs (Hugging Face, Falcon AI), les chercheurs des pays émergents s’approprient des modèles qui, dans d’autres contextes, exigeraient un budget colossal. En s’unissant, ils façonnent des solutions adaptées à leur propre langue, leurs besoins, leurs urgences. Au lieu que l’innovation reste cantonnée à la Silicon Valley, on la voit bourgeonner au Sahel ou en Asie du Sud-Est. Des initiatives onusiennes recensent plus de 30 pays bénéficiaires des plateformes IA gratuites ou à coûts symboliques, favorisant la recherche locale et l’entrepreneuriat. La barrière linguistique recule, car on développe des modèles adaptés aux dialectes moins dotés en ressources.

Manifeste « Human AI Alliance » pour une IA responsable

Initiative soutenue par : Eric Benhamou, ex Chairman & CEO de 3Com (Palm), membre de l'Académie des technologies, investisseur dans la technologie et alumni A&M

L'IA connaît une évolution rapide, notamment avec les avancées en IA générative, mais cette révolution est freinée par des défis majeurs : biais algorithmiques, concentration du pouvoir dans les grandes entreprises technologiques, et préoccupations éthiques. Comment dépasser ces obstacles pour maximiser l'impact positif de l'IA sur la société ? Plutôt que de laisser l'innovation en IA être dominée par les grandes entreprises, le manifeste prône une approche centrée sur l'humain. Cette vision repose sur une synergie entre la créativité humaine et les capacités des machines intelligentes, permettant des gains de productivité généralisés et des bénéfices sociétaux

Quatre scénarios alternatifs explorent les futurs possibles de l'IA :

1. **Le bond quantique de l'IA** : Domination des grandes entreprises technologiques grâce à leur puissance financière et algorithmique.
2. **La Magna Carta de l'IA** : Gouvernance éthique basée sur les droits humains et une réglementation forte.
3. **L'ère Da Vinci de l'IA** : Fusion harmonieuse entre créativité humaine et innovation technologique.
4. **La course à la suprématie mondiale en IA** : Tensions géopolitiques exacerbées par une compétition technologique effrénée.

Ces scénarios mettent en lumière des trajectoires contrastées, soulignant la nécessité d'une gouvernance proactive et d'une collaboration internationale pour éviter les dérives. Le constat est aujourd'hui celui d'un déséquilibre entre les facteurs technologiques qui structurent le développement de l'IA et les considérations humaines, appelant à un rééquilibrage.

PROPOSITION D'UNE ALLIANCE NOVATRICE

Pour démocratiser l'innovation en IA, le manifeste propose une alliance public-privé favorisant :

- **Les startups européennes** comme moteurs d'innovation.
- **L'adoption de modèles open source** pour garantir transparence et accessibilité.
- **Un accès abordable aux ressources informatiques** pour réduire les barrières à l'entrée.

Cette alliance inclurait divers acteurs – investisseurs, chercheurs, régulateurs – dans un cadre collaboratif visant à tester ces approches dans des environnements expérimentaux (sandbox)..

Le manifeste conclut par un appel à une action collective pour construire une IA responsable et inclusive, capable de répondre aux besoins humains tout en respectant des principes éthiques solides.

4. 3. Favoriser un nouvel exercice du métier d'ingénieur

Doté ainsi d'outils puissants d'IA générative, l'ingénieur doit non seulement les maîtriser mais aussi rendre compte sur l'utilisation qu'il en fait, dans un environnement de travail qui sera renouvelé.

La transparence et l'explicabilité sont essentielles pour établir la confiance envers l'IA générative. Des techniques comme l'eXplainable AI (XAI) permettent de comprendre les processus décisionnels, que ce soit dans le diagnostic médical ou les véhicules autonomes. La clarté des algorithmes n'est pas seulement une exigence réglementaire : elle constitue une garantie indispensable à l'acceptation et à l'intégration responsable de ces technologies dans la société. Dès la phase de conception jusqu'au déploiement opérationnel, l'intégration de l'IA doit s'appuyer sur des normes et des protocoles reconnus internationalement, tels que la norme ISO/IEC 23894 ou le cadre IEEE Ethically Aligned Design, qui mettent l'accent sur la transparence, l'auditabilité et la gestion rigoureuse des risques. La sécurité constitue le premier impératif à prendre en compte dans cette démarche. Face à des systèmes capables de décisions critiques, dans des secteurs aussi sensibles que le nucléaire, la santé ou les transports autonomes, l'ingénieur demeure le garant ultime du contrôle. Il ne s'agit pas seulement d'une surveillance passive mais bien d'une responsabilité active de validation et d'intervention directe sur les décisions proposées par l'IA. Cette responsabilité implique une vigilance constante, assurant que l'expertise humaine reste au cœur de chaque processus décisionnel. L'approche de la transparence vient compléter cette exigence sécuritaire en plaçant l'explicabilité des systèmes IA au centre des priorités. Dans un contexte où les algorithmes deviennent de plus en plus complexes, l'ingénieur doit maîtriser les mécanismes sous-jacents de ces outils. Cette explicabilité, fondée sur des modèles compatibles avec les normes IEEE, ne sert pas uniquement à justifier les choix effectués par l'IA, mais aussi à renforcer la confiance des utilisateurs. Le rapport récent de DeepMind, *Taking a Responsible Path to AGI*, va plus loin

en soulignant que l'explicabilité doit s'accompagner de mécanismes de responsabilité et de supervision humaine. DeepMind recommande d'intégrer des cadres de gouvernance qui favorisent la traçabilité des décisions, tout en maintenant un équilibre entre performance et clarté. Ils insistent sur la nécessité de rendre les modèles compréhensibles pour les parties prenantes, et de documenter systématiquement les choix algorithmiques, afin de garantir une adoption éthique et responsable de l'IA à grande échelle. Ce rapport propose également d'expérimenter des approches comme le *model cards* et l'audit externe, pour renforcer la confiance et la transparence dans le développement de systèmes avancés.

EXEMPLES ET IMPACTS

VÉHICULES AUTONOMES. La norme ISO 21448 impose de pouvoir retracer la logique d'une manœuvre critique.

DIAGNOSTICS MÉDICAL. Les médecins exigent des modules d'XAI pour comprendre les décisions algorithmiques.

FÉDÉRER LA DONNÉE EN SANTÉ. L'entraînement fédéré permet de préserver la confidentialité tout en maintenant la performance. Le défi reste de trouver l'équilibre entre clarté et performance, car l'explicabilité peut induire un surcoût de calcul ou révéler des secrets industriels.

Les ingénieurs jouent ainsi un rôle crucial dans les transformations en cours sur plusieurs dimensions : la gouvernance, les modes de travail, la formation et l'intégration des jeunes ingénieurs dans la vie professionnelle.

BÂTIR UNE GOUVERNANCE OPÉRATIONNELLE RENDANT COMPTE DES ENGAGEMENTS

La dimension éthique s'étend également à la gouvernance opérationnelle, où l'ingénieur joue un rôle crucial en veillant à l'auditabilité des systèmes. Il est impératif que chaque action entreprise par une IA soit traçable, permettant ainsi

d'identifier rapidement les raisons d'éventuelles erreurs ou dérives. Cette gouvernance proactive contribue non seulement à renforcer la confiance envers les technologies mais aussi à assurer leur conformité avec les attentes sociétales. Pour répondre à ces exigences, plusieurs dispositifs s'imposent :

- **Human-in-the-loop** : Ce principe garantit qu'un humain valide ou supervise les décisions critiques prises par l'IA, notamment dans les secteurs sensibles. Il s'agit d'un garde-fou indispensable pour éviter les dérives et assurer la responsabilité finale.
- **Comités d'éthique IA** : La mise en place de comités pluridisciplinaires, à l'image de ceux du MIT Schwarzman College, permet une supervision rigoureuse de chaque étape du développement technologique. Ces comités évaluent l'alignement des projets avec les principes éthiques, détectent les biais et corrigent rapidement toute dérive potentielle.
- **Bonnes pratiques de gouvernance** : L'utilisation d'indicateurs comme le taux de rejet des recommandations IA, la rapidité de validation humaine ou le niveau de confiance mutuelle entre opérateurs humains et systèmes IA permet d'ajuster et d'optimiser la collaboration homme-machine.

Ces dispositifs structurent une gouvernance qui ne se limite pas à la conformité réglementaire, mais vise à instaurer une culture de la responsabilité partagée et de l'amélioration continue.

INSTAURER DE NOUVELLES COLLABORATIONS ENTRE INGÉNIEURS ET AGENTS IA

L'essor de l'ingénierie générative invite à repenser en profondeur le rôle même de l'ingénieur et sa relation avec les machines. Dans ce nouveau paradigme, l'ingénieur cesse d'être un simple utilisateur d'outils sophistiqués pour devenir l'architecte d'un écosystème complexe où humains et machines collaborent étroitement. Initialement simple assistant, l'IA devient

progressivement collaboratrice, capable d'interagir et d'enrichir les prises de décision humaines. Dans certains contextes spécifiques, elle pourrait même devenir un pair autonome, soulevant ainsi des questions fondamentales de responsabilité et d'éthique en cas de défaillance ou d'erreur. L'ingénieur d'aujourd'hui se positionne dans un rapport évolutif avec l'IA, que l'on peut qualifier selon trois niveaux croissants de collaboration :

- **Agent assistant** : L'IA s'occupe des tâches subalternes, répond à des requêtes ponctuelles, produit des ébauches, sous l'œil vigilant de l'humain. L'ingénieur définit la trajectoire, fixe les bornes éthiques, détecte les biais et écarte les dérives. La boucle de rétroaction (feedback loop) joue ici le rôle de boussole : on corrige la machine quand elle s'égare, on célèbre son génie quand elle propose l'inattendu. Sans objectif clair ni gouvernance, l'IA patine ou trahit le mandat confié.
- **Agent collaborateur** : L'IA devient force de proposition, mène une réflexion conjointe, ose même contester les intuitions de son "collègue" humain. L'IA présente d'autant plus d'intérêt qu'on la traite en co-pilote, non comme un serviteur passif mais comme un cerveau alternatif, qui, combiné au nôtre, débloque de nouvelles perspectives. Dans la logistique, par exemple, l'IA excelle à gérer la myriade de variables, mais reste aveugle aux arbitrages éthiques ou stratégiques. Le binôme fonctionne si l'ingénieur fournit la vision, l'IA l'analyse, et tous deux itèrent dans un dialogue fécond.
- **Agent partenaire d'échange** : L'IA, dans une sphère étroitement délimitée, opère quasi sans supervision, apportant une efficacité d'orfèvre dans des domaines précis (diagnostic industriel pointu, drones autonomes), mais soulevant l'interrogation cruciale de la responsabilité en cas de défaillance. L'IA apprend des retours d'expérience, mais sommes-nous, humains, assez prompts à rehausser nos compétences pour interagir avec cette entité en constante mutation ? La boucle feedback doit être bilatérale. L'investissement est double : dans l'humain (créativité, sens critique, vision éthique) autant que dans les outils d'ingénierie générative. Où tracer

la frontière ? Jusqu'où pousser l'autonomie ? Loin d'être théoriques, ces questions déterminent concrètement la répartition des tâches, la sécurité in fine et, par ricochet, l'évolution du métier d'ingénieur capable de gérer l'intelligence artificielle autant que sa propre expertise.

FORMER L'INGÉNIEUR TOUT AU LONG DE SA VIE

Pour garantir cette maîtrise technologique, la formation continue des ingénieurs est essentielle. L'apprentissage ne doit pas être à sens unique, limité à l'amélioration des modèles IA grâce aux retours humains. Au contraire, une formation bilatérale est indispensable : l'ingénieur doit constamment actualiser ses compétences pour interagir efficacement avec des systèmes eux-mêmes en perpétuelle évolution. Ce processus d'apprentissage mutuel assure une coopération fluide et fructueuse entre humains et machines, où chacun enrichit l'autre de manière réciproque. L'intégration des valeurs humaines dans le développement des systèmes IA représente un autre pilier fondamental de cette nouvelle ingénierie. Dès les premières phases de conception, l'ingénieur doit s'assurer que les systèmes conçus favorisent l'équité, la justice et la dignité humaine. Et prendre l'initiative de saisir ou de mettre en place les dispositifs de gouvernance idoines.

L'IMPACT DE L'IA SUR L'INTÉGRATION DES JEUNES INGÉNIEURS DANS LA VIE PROFESSIONNELLE

L'intégration des stagiaires et ingénieurs juniors dans un environnement où leurs tâches sont progressivement déléguées à des agents IA représente un défi inédit. Alors que l'automatisation prend en charge de plus en plus de tâches d'exécution, il devient crucial de repenser la phase d'apprentissage pour garantir que les bases du métier soient solidement acquises. Pour intégrer efficacement les jeunes ingénieurs à l'ère de l'IA générative, trois axes structurants se dégagent :

1. **Hybridation pédagogique et montée en compétence critique.** La formation d'intégration en entreprise doit combiner apprentissage traditionnel

et interaction supervisée avec l'IA. Les jeunes ingénieurs sont amenés à analyser, corriger et expliquer les résultats produits par l'IA, développant ainsi expertise technique et esprit critique. Cette hybridation s'accompagne d'une évaluation continue pour éviter l'érosion des savoir-faire fondamentaux et d'une valorisation de la créativité, l'IA libérant du temps pour l'innovation et l'expérimentation.

2. **Mentorat augmenté et transmission du savoir tacite.** Les ingénieurs seniors jouent un rôle clé en utilisant l'IA comme outil pédagogique, guidant les juniors dans la résolution de problèmes complexes et la détection des biais. Le dialogue intergénérationnel et la préservation du savoir tacite sont essentiels pour transmettre la culture métier et garantir que l'autonomie critique ne soit pas sacrifiée au profit de l'automatisation.
3. **Nouvelles modalités d'intégration et accompagnement humain.** Les entreprises doivent repenser l'intégration des jeunes, en privilégiant des projets collaboratifs IA-humains, des ateliers pratiques et des hackathons. Une attention managériale spécifique est nécessaire pour valoriser le rôle des jeunes diplômés et prévenir le sentiment de déclassement, tout en faisant de l'IA un catalyseur de progression plutôt qu'un substitut.

Cela pose aussi la question du rôle que devront jouer les prestataires d'assistance technique dont on connaît l'importance dans le début de carrière de nombre d'ingénieurs.

En synthèse, ceci est un sujet neuf qui mérite une double attention du management et des DRH. Les premières pistes font apparaître la pédagogie hybride, un mentorat renouvelé et une attention portée à l'humain, afin de préserver l'excellence et la créativité des ingénieurs dans un environnement technologique en mutation.

Synthèse de l'étude de la société d'ingénierie royale d'Australie de janvier 2025

Le rapport *"The Impact of AI and Generative Technologies on the Engineering Profession"* explore l'impact des technologies d'intelligence artificielle (IA), et en particulier de l'IA générative (GenAI), sur la profession d'ingénieur. Il met en lumière les opportunités, les défis et les transformations qu'elles apportent, tout en proposant des recommandations pour une adoption efficace et éthique.

Il met en avant quatre idées-clés

- 1. Transformation par GenAI :** L'IA générative est un moteur clé de changement dans l'ingénierie. Plus de 70 % des répondants estiment qu'elle augmentera la productivité, notamment en automatisant des tâches répétitives et en facilitant la conception.
- 2. Compétence essentielle :** La maîtrise de GenAI deviendra une compétence incontournable pour les ingénieurs, comparable à l'adoption historique des calculatrices ou des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO).
- 3. Culture d'ouverture :** Les entreprises doivent encourager une culture où les ingénieurs se sentent libres d'explorer et d'utiliser GenAI sans crainte, ce qui améliore leur confiance et leur compétence.
- 4. Régulation équilibrée :** Un cadre réglementaire robuste est nécessaire pour limiter les risques tout en favorisant l'innovation et l'investissement dans ces technologies.

Le rapport met en lumière l'impact sur les Tâches Administratives, de Management et de Gestion Commerciale pour l'ingénieur

TÂCHES ADMINISTRATIVES

Automatisation : GenAI simplifie la rédaction de rapports, propositions et emails, réduisant le temps consacré aux tâches répétitives.

Gestion documentaire : Les modèles comme ChatGPT permettent de résumer rapidement des documents complexes ou d'expliquer des concepts techniques.

MANAGEMENT

Collaboration optimisée : GenAI améliore le travail collaboratif via des outils comme GitHub Copilot, qui accélèrent le développement et la révision du code.

Prise de décision stratégique : Grâce à des modèles prédictifs basés sur des données historiques, GenAI aide à anticiper les risques et à optimiser la gestion des ressources.

GESTION COMMERCIALE

Analyse prédictive : GenAI fournit des insights stratégiques en temps réel, permettant une planification plus efficace.

Interaction client améliorée : Les assistants virtuels personnalisent les interactions clients en fonction de leurs préférences.

Les principaux cas d'usage abordés sont

- **Conception générative** : avec l'optimisation du design en intégrant des contraintes spécifiques (ex. structures mécaniques) et l'accélération du prototypage via la génération rapide d'idées.
- **Maintenance prédictive** : avec la surveillance automatisée pour anticiper les défaillances avant qu'elles ne surviennent.
- **Gestion des ressources** : avec l'optimisation de la chaîne logistique grâce à une analyse intelligente des données transactionnelles.
- **Formation et éducation** : avec l'utilisation par les jeunes ingénieurs pour expliquer des concepts complexes ou acquérir rapidement de nouvelles compétences.

Le rapport conclut que l'intégration de GenAI représente une opportunité transformative majeure pour la profession d'ingénieur. Cependant, son adoption nécessite un équilibre entre innovation et régulation. Les entreprises doivent investir dans la formation, établir des politiques claires sur l'utilisation des données et promouvoir une culture d'expérimentation responsable. Parallèlement, les gouvernements doivent soutenir cette transition via un cadre réglementaire robuste, un financement accru pour la recherche et le développement technologique, ainsi que des campagnes publiques pour sensibiliser aux bénéfices et aux risques de l'IA. En somme, bien que GenAI soit perçue comme un outil révolutionnaire capable de transformer profondément le métier d'ingénieur, ses bénéfices ne pourront être pleinement réalisés qu'en mettant en place une adoption réfléchie et éthique. Pour en savoir plus : www.engineersaustralia.org.au

CONCLUSION

L'impact de l'IA générative sur l'ingénierie

Plus que d'autres professions, par sa formation et son usage intensif des outils de modélisation et d'optimisation, le monde de l'ingénierie est préparé au développement rapide de l'IA générative. Elle en perçoit naturellement les opportunités pour transformer ses pratiques : faire mieux, faire plus vite et faire autrement. Alors que les juristes, les journalistes, les communicants ou les créateurs de contenus culturels ont vu l'arrivée de ChatGPT comme un choc exogène, venant brutalement bouleverser leur métier et menacer leurs emplois, les ingénieurs, de toutes spécialités, ne découvrent pas aujourd'hui la puissance des systèmes d'optimisation et de simulation et sont depuis longtemps familiarisés avec les systèmes experts et l'IA « classique ».

Par leur formation initiale en mathématiques et en technologie de l'information, les ingénieurs peuvent plus facilement en maîtriser les ressorts et s'approprier ces nouveaux outils en s'assurant de leur maîtrise et en évitant l'effet « boîte noire ». Pour eux, c'est une révolution qui se déroule déjà depuis des années, à bas bruit, mais dont la formidable accélération récente leur ouvre subitement des opportunités nouvelles. Si les ingénieurs savent s'en emparer avec responsabilité, l'IA générative amplifie leur action, transforme leur métier et augmente leur rôle social.

En schématisant, les impacts de l'IA générative sur le monde de l'ingénierie sont ainsi de trois natures ;

1. Un impact individuel sur **l'ingénieur dans l'exercice de son métier**, avec un rôle d'orchestrateur, dans un environnement de travail renouvelé et avec un impact sociétal accru.
2. Un impact collectif sur **les ingénieries et leur processus de conception, d'innovation et de recherche** qui devront se transformer et dont les métiers deviendront ainsi plus ouverts et certainement plus attractifs.
3. Un impact, en conséquence, sur la **formation initiale et continue** des ingénieurs, dont les écoles et universités devront se saisir dès maintenant.

De nouveaux champs à investir pour les ingénieurs

Pour bénéficier pleinement de ces impacts, encore faut-il que les ingénieurs placent cet idéal en premier plan. Et en s'investissant sur un champ plus large que leurs strictes disciplines techniques :

- **Responsabilité environnementale** : Réduire l'appétit énergétique de l'IA, recourir à des data centers verts, optimiser la façon dont on entraîne les modèles.
- **Inclusion et équité** : Déployer des plateformes d'IA dans les zones reculées, proposer à tous l'accès aux outils numériques, combler la fracture pédagogique, former la diversité des talents.
- **Éthique et gouvernance** : Sans cadre de transparence et de justice, l'IA peut dériver vers la surveillance massive, la manipulation, ou la consolidation d'un pouvoir inéquitable. L'ingénieur doit se faire gardien, décrypter ce que la machine fait, réclamer l'auditabilité, arbitrer l'usage.

Une nouvelle responsabilité dont il faut prendre la mesure

L'IA générative, en transformant l'ingénierie, redéfinit non seulement nos méthodes, mais aussi nos ambitions. Elle peut nous faire gagner en rapidité, en précision, en envergure, pour peu qu'on la guide, qu'on la tempère quand il le faut, et qu'on embrasse l'exigence d'innover sans faillir à l'équité, ni dénaturer le rôle social de la technique au service de l'humain.

Pour cela, les ingénieurs devront toujours rechercher le bon équilibre, tenter de trouver l'optimum avec pragmatisme :

1. **Exploiter les capacités tout en connaissant les limites** : L'IA excelle en vitesse et en exhaustivité, mais reste un calculateur. À l'humain de trancher, d'infléchir, de composer.
2. **Innover, mais en conscience** : Prendre en compte dès l'amont de la conception et équilibrer les coûts environnementaux, économiques et éthiques, pour un sentier de développement soutenable et légitime.
3. **Favoriser la collaboration homme-machine** : L'avenir de l'ingénierie n'est pas un match IA contre humain : c'est une symbiose où l'IA augmente les capacités de création et d'opération de l'ingénieur pour reprendre les mots de l'avant-propos du professeur Chinesta.

L'ingénieur a ainsi le choix de devenir l'architecte privilégié d'un développement technologique responsable, visant à réconcilier performance opérationnelle, impératifs écologiques et exigences humaines fondamentales. Ce nouvel horizon technologique offre à la profession d'ingénieur l'opportunité d'affirmer son rôle sociétal, en positionnant l'humain au cœur même de l'évolution technologique.

Un point d'appui qui soulèvera le monde ?

Il n'y a pas de statistiques fiables sur la population mondiale d'ingénieurs de niveau master et plus en activité. Pour l'estimer en première ordre de grandeur, on peut s'appuyer sur une estimation des diplômés en ingénierie par an multipliée par 20 sur une génération et l'on obtient le chiffre de 60 millions d'ingénieurs et d'ingénieures. (Total des d'ingénieurs diplômés sur les dix principaux pays : 1,829 millions en 2015, hors Inde et Chine ; source WEF/UNESCO 2015, et environ 600 000 pour l'Inde et la Chine soit 3 millions de diplômés/an ([source Inde](#) et [source Chine](#)). En France, on en compte 1137000 en activités selon l'Observatoire des Ingénieurs et Scientifiques. C'est un effectif très limité. Et à titre de comparaison, on estime à 27 millions le nombre d'ingénieurs en développement logiciel [dans le monde en 2023](#), en comparaisons des milliards de consommateurs que les grands acteurs de l'IA cherchent à atteindre pour monétiser leurs solutions. Mais pour citer un fameux ingénieur grec, Archimède, «*Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le monde*». Depuis, son propos est devenu une métaphore puissante pour exprimer qu'avec les bons outils ou avec les bonnes conditions, même les plus grands obstacles peuvent être surmontés. Face aux défis du siècle, les quelques millions d'ingénieurs de cette planète ne manquent pas d'obstacles à surmonter au profit de la dizaine de milliards d'habitants de la planète. L'ingénierie générative leur apporte un formidable point d'appui.

ANNEXES

GLOSSAIRE

INGÉNIERIE. Réalisation d'études et production de concepts de produits, de logiciels, de solutions et de systèmes utilisant la science et les techniques pour les besoins industriels, commerciaux et sociétaux dans une logique d'optimisation sous contraintes de l'usage et des ressources (source : Arts & Métiers)

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE. « Système d'IA », un système basé sur une machine conçu pour fonctionner avec différents niveaux d'autonomie, qui peut s'adapter après son déploiement et qui, pour des objectifs explicites ou implicites, déduit, à partir des données qu'il reçoit, comment générer des résultats tels que des prédictions, du contenu, des recommandations ou des décisions qui peuvent influencer des environnements physiques ou virtuels (source : European AI Act)

IA GÉNÉRATIVE (SOURCE BPI FRANCE). L'intelligence artificielle générative est une catégorie d'IA qui se concentre sur la création de données, de contenu, de programme informatique ou d'œuvres artistiques, de façon indépendante. Elle diffère de l'IA classique, qui se concentre, quant à elle, sur des tâches spécifiques telles que la classification, la prédiction ou la résolution de problèmes. L'IA générative vise à produire de nouvelles données qui ressemblent à celles créées par des êtres humains, que ce soit sous forme de texte, d'images, de

video, de programme ou encore de sons. Dans notre étude nous explorons la création de données, de contenus et de designs dans l'ensemble des sciences de l'ingénieur et des génies techniques associés.

LES MÉTIERS TECHNIQUES DE L'IA – LISTE DES RÔLES COURAMMENT UTILISÉS DANS UN WORKFLOW IA

1. **Data Scientist** : Maîtrise des algorithmes d'apprentissage, du traitement des données, et des outils statistiques. Création de modèles prédictifs ou explicatifs.
2. **Machine Learning Engineer** : Construction et optimisation des pipelines pour entraîner, tester et déployer des modèles. Intégration des modèles dans des systèmes complexes et scalables.
3. **MLOps Engineer** : Automatisation et gestion du cycle de vie des modèles en production. Surveillance des performances en continu.
4. **Data Engineer** : Construction et gestion des pipelines de données pour garantir la qualité et la disponibilité des données.
5. **AI Researcher** : Développement de nouvelles architectures de modèles et innovation scientifique. Exploration de techniques avancées (transformers, reinforcement learning, etc.).
6. **Ethics Specialist** : Analyse des implications éthiques et légales des modèles. Développement de solutions pour réduire les biais et assurer l'équité.
7. **AI Product Manager** : Coordination entre les équipes techniques et les besoins utilisateurs pour transformer des solutions IA en produits concrets.
8. **Prompt Engineer (spécifique à l'IA générative)** : Optimisation des inte-

ractions avec les LLM pour maximiser leur efficacité dans des cas d'usage spécifiques. Création de prompts robustes pour répondre à des besoins variés (recherche, contenu créatif, etc.).

LES MODÈLES

Large Language Models (LLM) : Ils excellent dans la compréhension et la génération de langage naturel, avec des applications dans les domaines où les interactions humaines ou la création de contenu textuel sont essentielles (rédaction, traduction, communication, programmation). Ils servent de base pour la communication intuitive entre humains et machines, offrant un point d'entrée pour exploiter les capacités des LCM et LQM.

Large Conceptual Models (LCM) : Ces modèles ajoutent une couche d'intelligence cognitive aux LLM, intégrant le raisonnement, la planification et l'action stratégique. Ils s'appuient sur les LLM pour interagir et contextualiser les informations, mais vont plus loin en prenant des décisions complexes et en résolvant des problèmes nécessitant des capacités cognitives humaines, comme la gestion autonome de systèmes ou les diagnostics complexes.

Large Quantitative Models (LQM) : Ils sont spécialisés dans l'analyse de données structurées et la prédiction basée sur des quantités massives de données chiffrées. Ils fournissent une base quantitative solide pour nourrir les analyses des LCM et enrichir les généralisations ou prédictions des LLM. Par exemple, dans des scénarios comme la gestion des risques ou les prévisions économiques.

En synthèse, les LLM fournissent une interface conviviale et un traitement contextuel du langage. Les LCM intègrent des capacités de raisonnement et d'interaction autonome. Les LQM assurent des analyses quantitatives robustes pour des décisions fondées sur des corpus scientifiques.

LES MÉTIERS DES ÉTUDES D'INGÉNIERIE. Ils couvrent les activités de la création/conception, des études de fabrication, des études de maintien en condition opérationnelle jusqu'aux études de démantèlement/recyclage. Chaque étape du cycle de vie a son pendant numérique de la Maquette au Jumeau (de l'objet d'étude au système réel en opération) : Tel que Conçu - Tel que Construit - Tel qu'Opéré - Tel que Démantelé/Recyclé. La continuité numérique n'existe pas véritablement à date et chaque étape a ses propres systèmes, outils, références et données propres. Et les jumeaux sont statiques sans capacité d'intelligence.

En complément, nous recommandons le lexique publié au Journal Officiel par la Délégation générale à la langue française :

50 termes-clés de l'intelligence artificielle

<https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/langue-francaise-et-langues-de-france/Agir-pour-les-langues/moderniser-et-enrichir-la-langue-francaise/Nos-publications/50-termes-cles-de-l-intelligence-artificielle>

NOTE DE MÉTHODE

Imaginez une bibliothèque sans précédent, mêlant manuels, articles, vidéos, blogs, contenus industriels et académiques : une **revue de littérature 2.0**, enrichie par l'intelligence artificielle générative. C'est l'expérience menée avec le Think Tank des **Arts & Métiers**, visant à explorer l'impact de l'IA générative sur **l'ingénierie**, en mobilisant à la fois l'expertise humaine et la puissance des LLM (Large Language Models).

Plutôt que de simplement lire, nous avons **orchestré les connaissances**, intégrant plus de **740 sources vérifiées** en quelques jours. Cette approche a combiné **70 ans d'expérience académique et industrielle** à l'efficacité d'outils comme **ChatGPT, Perplexity, Gemini et Mistral**, offrant vitesse, précision et couverture thématique inégalée.

Pour éviter les **hallucinations** et garantir la **fiabilité**, nous avons adopté deux stratégies :

1. **Identification systématique des sources** ;
2. **Création d'une taxonomie personnalisée**, élaborée à partir de notre connaissance du domaine, et enrichie par la mise en compétition de plusieurs LLM.

Nous avons conduit l'analyse **niveau par niveau**, en décomposant les domaines et sous-domaines avec rigueur, guidés par des questions ciblées. Outils comme **Perplexity**, grâce à leur accès web en temps réel, ont nourri un **cercle vertueux** d'exploration et de questionnement.

L'étape d'**écriture**, traditionnellement lente et solitaire, a été repensée. Nous avons instauré une **boucle de rétroaction continue**, inspirée du milieu académique, mais accélérée par des LLM entraînés à écrire dans notre **style spécifique**. Les ébauches générées ont été **revues par des LLM concurrents**, simulant un comité de rédaction virtuel, garantissant **clarté, cohérence et rigueur analytique**. Enfin, le rapport a été **édité par les co-auteurs**, puis relu et revu par le **Comité de Lecture** du Think Tank.

Le résultat : un **rapport** cartographiant en détail l'impact de l'IA générative sur l'ingénierie, **publié sur une plateforme web interactive** codée en **TypeScript, React et Next.js** avec l'aide du LLM Claude. Le travail a d'abord été mené en anglais, puis **traduit et affiné en français** afin d'en maximiser la portée.

En parallèle, entre décembre 2024 et février 2025, nous avons comparé notre méthode manuelle – fondée sur une **taxonomie sur mesure et une exploration pilotée par experts** – avec les nouvelles fonctionnalités de **recherche approfondie** proposées par ChatGPT, Gemini et Perplexity. Bien que ces outils puissent identifier **200 à 300 sources par requête**, notre approche hybride a systématiquement produit des résultats plus **pertinents et approfondis**.

REVUE DE LITTÉRATURE PAR DOMAINE (synthèse)

Domaine EITT

Électronique. L'IA générative révolutionne la conception et l'optimisation des circuits en automatisant des tâches complexes, en optimisant les agencements et en facilitant la conception de circuits imprimés. À mesure que ces technologies gagnent en maturité, elles promettent de révolutionner encore davantage le domaine en permettant des itérations plus rapides, en réduisant les erreurs et en favorisant des solutions innovantes jusqu'alors inaccessibles par les méthodes traditionnelles.

Traitement du signal. L'IA générative révolutionne le traitement du signal dans plusieurs domaines clés : réduction du bruit et amélioration du signal, reconstruction du signal et augmentation des données pour les ensembles de données de signaux.

Robotique et système de contrôle. L'IA générative révolutionne la robotique et les systèmes de contrôle en améliorant les capacités de planification de trajectoire, de génération de politiques de contrôle et de simulation des comportements robotiques. Si l'IA générative offre des avantages significatifs, des défis tels. La complexité de l'intégration de ces modèles dans des applications concrètes nécessite des efforts continus de recherche et développement.

Télécommunications et optimisation du réseau. L'IA générative joue un rôle essentiel dans l'avancement des télécommunications et de l'optimisation des réseaux grâce à des applications innovantes dans les domaines de la prédiction du trafic, de la gestion du spectre et de la génération de données synthétiques. Ces technologies améliorent non seulement l'efficacité et les performances, mais répondent également aux défis liés à la disponibilité et à la confidentialité des données.

Ingénierie logicielle. L'IA générative révolutionne le développement logiciel dans plusieurs domaines clés : génération de code assistée par l'IA ; revue et optimisation de code, documentation interactive, programmation exploratoire, code auto-réparateur, outils d'apprentissage pour les développeurs, capacités similaires à l'IA générale. Bien qu'encore en phase de développement, certains modèles d'IA générative évoluent vers la génération et la compréhension de leur propre code, s'adaptant dynamiquement à l'évolution des exigences ou des environnements. Il s'agit d'une avancée significative vers l'intelligence artificielle générale (IAG) dans le développement logiciel.

Traitement de l'image et de la vidéo. L'IA générative a considérablement impacté le traitement de l'image et de la vidéo, notamment dans des domaines tels que la vision par ordinateur, l'amélioration de l'image et la détection d'objets. Elle transforme le traitement de l'image et de la vidéo dans de nombreux secteurs en améliorant les capacités de détection d'objets, de compréhension de scènes, d'amélioration de l'image et de super-résolution.

Cybersécurité. L'IA générative est de plus en plus utilisée en cybersécurité dans divers domaines, notamment la détection d'anomalies dans les réseaux, la génération de données synthétiques pour l'entraînement, ainsi que la détection et l'analyse de logiciels malveillants. Globalement, les solutions de cybersécurité basées sur l'IA offrent une amélioration substantielle de l'efficacité par rapport aux méthodes traditionnelles en automatisant les processus, en améliorant la précision de la détection et en offrant des capacités prédictives.

Domaine Génie électrique. L'IA générative joue un rôle transformateur dans les systèmes énergétiques et les réseaux intelligents, notamment dans les domaines de la prévision de la consommation, de l'optimisation du réseau et de la gestion des énergies renouvelables.

Domaine Génie des Matériaux et des Molécules. Les modèles génératifs constituent un outil puissant en science des matériaux et en génie moléculaire, permettant une **découverte et une optimisation** plus rapides et plus efficaces de **composants aux propriétés personnalisées**. Si les modèles génératifs

offrent des avantages significatifs, ils rencontrent également des défis tels que la **stabilité thermodynamique** et la **gestion des données hors domaine**. L'**intégration de la validation expérimentale** aux prédictions de l'IA reste essentielle pour confirmer l'applicabilité pratique des matériaux générés. À mesure que ces technologies évoluent, elles promettent de révolutionner davantage le domaine en **réduisant la dépendance aux méthodes traditionnelles d'essais-erreurs** et en **accélérant l'innovation**.

Domaine Génie Industriel et Manufacturing 4.0. L'IA générative transforme la **simulation** et la **modélisation**, notamment dans les systèmes complexes, la **maintenance prédictive** et les **jumeaux numériques**. Elle améliore la précision et l'efficacité des processus d'ingénierie traditionnels. En maintenance, elle permet d'anticiper les défaillances, assurant continuité et réduction des coûts. Les jumeaux numériques, alimentés par l'IA, reproduisent des processus réels dans des environnements virtuels, facilitant l'optimisation sans risque pour les actifs physiques.

Malgré ces avancées, des défis persistent : **gouvernance des données**, exigences computationnelles élevées et complexité d'intégration. Néanmoins, la combinaison IA générative et jumeaux numériques révolutionne plusieurs secteurs : **industrie manufacturière, santé, aérospatiale, énergie, urbanisme** et **automobile**. Elle y stimule l'innovation, l'efficacité et améliore la prise de décision.

L'IA générative optimise les flux de production en automatisant les processus via l'**apprentissage par renforcement (RL)**. Capable d'apprendre et de s'adapter à des environnements complexes, elle identifie des stratégies pour améliorer qualité et rentabilité.

Dans l'**Internet des objets (IoT)**, elle se distingue par sa capacité à générer des **données synthétiques** et à effectuer des **prédictions avancées**, redéfinissant les écosystèmes connectés. L'IA générative s'impose ainsi comme un levier stratégique majeur de transformation industrielle.

Domaine Génie Biomedical. L'IA générative est de plus en plus intégrée dans le domaine des dispositifs médicaux et de l'ingénierie biomédicale, notamment

dans des domaines comme l'analyse des signaux biomédicaux, l'aide au diagnostic et le traitement d'images médicales. La revue détaille ses applications et ses implications. dans ces domaines.

Domaine Génie Civil. L'IA générative révolutionne le **génie civil** en optimisant la **conception**, l'**urbanisme** et l'**automatisation de la construction**. Elle renforce la **conception paramétrique**, s'intègre à la **robotique** et à l'**impression 3D**, améliorant précision, durabilité et efficacité des projets. Elle permet aussi la **maintenance prédictive**, la **préparation aux catastrophes** et la **vérification de la conformité**, malgré les défis d'interprétabilité et d'éthique.

Parmi les applications majeures :

- Optimisation structurelle via la conception automatisée et la modélisation paramétrique ;
- Résilience urbaine renforcée grâce aux simulations de catastrophes et aux jumeaux numériques ;
- Automatisation des chantiers (maçonnerie, béton) par la robotique IA ;
- Surveillance des infrastructures avec des systèmes de maintenance prédictive ;
- Amélioration de la durabilité via l'analyse du cycle de vie et l'efficacité énergétique.

Ces innovations permettent aux professionnels d'explorer des **solutions créatives** tout en optimisant les performances et les ressources.

En urbanisme, l'IA générative et l'**apprentissage automatique** améliorent l'évaluation des **risques** et les stratégies d'**intervention**. La **préparation aux catastrophes** devient plus précise grâce à des systèmes prédictifs et d'alerte avancés.

Les **jumeaux numériques**, couplés à l'IA, apportent des **informations en temps réel** sur les infrastructures, en modélisant leur comportement à partir de données IoT, d'images satellites et de modèles 3D, transformant ainsi la **gestion urbaine et la planification**.

Domaine Génie Chimique et Ingénierie de process. L'intelligence artificielle générative (GenAI) transforme le **génie chimique (CE)** et l'**ingénierie des systèmes de procédés (PSE)**, en automatisant des tâches complexes et en opti-

misant les processus. Elle améliore la **surveillance en temps réel**, ajuste dynamiquement les opérations, réduit les déchets et la consommation d'énergie. GenAI accélère la **découverte de matériaux**, assure une **meilleure cohérence des produits** et soutient la **chimie de précision** et la **personnalisation** des solutions chimiques.

Son application aux **procédés industriels continus** (ciment, sidérurgie, fermentation...) favorise l'**efficacité opérationnelle**, l'**innovation** et la **durabilité**. Un axe crucial est la **détection et diagnostic des défauts (FDD)**, que l'IA transforme via des modèles capables de **prédire et expliquer en temps réel** les anomalies, même en l'absence de données complètes ou face à des comportements système changeants.

Quatre tendances clés façonnent l'avenir de GenAI dans ces domaines :

- **Modèles hybrides** (IA + connaissances physiques)
- **Apprentissage auto-supervisé (SSL)**
- **Développement durable et chimie verte**
- **Interprétabilité des modèles**

GenAI incarne un **changement de paradigme** pour le CE et la PSE. En alliant automatisation, optimisation et innovation, elle redéfinit les standards industriels et joue un rôle stratégique dans les enjeux de **décarbonation** et de **transition durable**.

Domaine Administration Management Collaboration. L'IA générative transforme le domaine du management de l'ingénierie grâce à ses applications en traitement automatique du langage naturel (TALN) dans plusieurs domaines clés. Parmi celles-ci figurent les assistants IA pour les tâches d'ingénierie, la génération de documentation et de rapports, ainsi que la documentation et les commentaires de code. La revue dresse un aperçu de l'utilisation de l'IA générative dans ces domaines : assistants IA pour les tâches d'ingénierie, automatisation des tâches de rédaction technique, génération de documentation et de rapports.

Domaine Formation Education. La revue dresse explore trois domaines : les laboratoires virtuels et simulation, les outils d'apprentissage interactifs et la génération automatisée de contenu. Elle s'appuie sur la recherche universitaire, les offres des startups et des entreprises du S&P 500 impliquées dans ces domaines. L'IA générative est à l'avant-garde de la refonte des paradigmes éducatifs – des simulations immersives aux contenus personnalisés et autogénérés – tout en soulevant des questions : considérations éthiques, interprétabilité des modèles et garantie d'un accès équitable qui restent des domaines critiques de recherche et développement.

Domaine Mathématique. L'intelligence artificielle (IA) progresse rapidement dans des domaines mathématiques longtemps considérés comme hors de portée. Des travaux comme ceux de DeepMind avec AlphaFold illustrent sa capacité à résoudre des problèmes scientifiques complexes. Des figures comme Terence Tao reconnaissent son potentiel, tout en soulignant que l'intuition humaine reste essentielle pour guider l'exploration mathématique.

Dans **la résolution de problèmes et la démonstration de preuves**, les modèles d'apprentissage par renforcement automatisent la recherche de théorèmes via une exploration stratégique, l'usage de langages formels et des boucles de rétroaction. En **modélisation mathématique**, l'IA générative aide à résoudre des équations différentielles, à optimiser des systèmes et à identifier des structures cachées dans les données. Des entreprises comme MathWorks ou NVIDIA intègrent ces outils pour améliorer la performance scientifique.

Dans le **raisonnement symbolique**, l'IA enrichit l'algèbre en permettant des calculs complexes. Elle renforce aussi l'analyse de données et la reconnaissance de formes, avec des applications en cryptographie, statistiques ou théorie des nombres.

L'IA améliore **la visualisation, la simulation mathématique, l'analyse prédictive et la modélisation de tendances**, en particulier dans la finance, la santé et l'ingénierie.

En tant que « **copilote** », l'IA assiste les chercheurs, tout en laissant l'inspiration principale aux mathématiciens humains.

RÉFÉRENCES

Sélection de références à partir de la liste des 740 sources utilisées dans l'étude : témoignages, cas d'usage, articles de recherche

Domaine	Témoignage	Commentaires
Génie EIT	How Magic AI Raised Millions to Revolutionize Coding	Article sur deux visionnaires—Eric Steinberger et Sebastian De Ro, fondateurs de Magic Coding
Génie Électrique	Schneider Electric Vision	Nouvelles recherches et prévisions sur l'impact de l'IA sur la consommation d'énergie
Génie des Matériaux et Molécules	Radical Ventures	Révolutionner la découverte de nouveaux matériaux : pourquoi nous avons investi dans Orbital Materials
Génie Industriel	Pascal Dalloz, CEO Dassault Systèmes	Ambition 2040 : construire l'économie générative et l'approche « POWER'byAI »
Génie Biomedical	Institut Curie	Démocratiser l'IA générative en santé : Bpifrance sélectionne le projet PARTAGES
Génie Civil	Bouygues Construction	Bouygues Construction mise sur la standardisation des éléments 3D d'un bâtiment lors de la phase de conception pour gagner en efficacité
Génie Chimique et des Procédés	IBM Institute for Business Value	Optimiser la chaîne de valeur des produits chimiques grâce à l'IA
Mathématiques	Oxford Mathematics Lecture	Le potentiel de l'IA en sciences et en mathématiques - Terence Tao
Activités AMC	Microsoft	How real-world businesses are transforming with AI
Education et Formation	Jean-Yves Dantan & Celine Laval	Formation au processus de conception basée sur l'utilisation d'un modèle d'ia basé sur du texte
IA générative	Arthur Mensch, CEO Mistral	Interview avec Mathieu Lambda Rédac chef Underscore_
Ingénierie générative	Joe Griston & Laurence Cook	Presentation des fondateurs de la startup éponyme CDFAM NYC 2024

Domaine	Cas	Commentaires
Génie EITT	Poolside	Une entreprise française qui développe l'intelligence artificielle pour le développement logiciel et privilégie l'apprentissage par renforcement à partir du retour d'exécution du code.
Génie Électrique	Grid4C	Grid4C développe des solutions d'IA et d'apprentissage automatique pour maximiser la valeur commerciale des compteurs intelligents et des données IoT, en intégrant des algorithmes d'IA à la périphérie du réseau.
Génie des Matériaux & Molécules	Alphafold	AlphaFold est un système IA développé par Google DeepMind qui prédit la structure 3D d'une protéine à partir de sa séquence d'acides aminés.
Génie Industriel	Ntop	Une solution logicielle conçue pour accélérer la fabrication avancée et permettre aux entreprises d'ingénierie industrielle de planifier et de concevoir leurs produits efficacement
Génie Biomedical	Vidium	Vidium Solutions applique des outils, des approches et des concepts d'ingénierie aux problèmes biologiques en étroite collaboration avec les chercheurs
Génie Civil	Autodesk	La conception générative marque une révolution en matière de design, de conception et de construction. Découvrez comment l'automatisation et l'optimisation de la conception offrent des possibilités nouvelles.
Génie Chimique et des Procédés	Entalpic	une plateforme d'IA générative qui permet de découvrir de nouveaux catalyseurs optimisés pour les bonnes réactions chimiques, tout en tenant compte des contraintes physico-chimiques et de fabrication.
Mathématiques	Alphaproof & Alphageometry	L'IA obtient une médaille d'argent en résolvant les problèmes de l'Olympiade internationale de mathématiques
Activités AMC	Goldfire	L'API Goldfire Chat d' Accuris s'intègre parfaitement à vos systèmes de gestion de documents internes et externes, permettant à votre LLM de fournir les données fiables les plus pertinentes de vos bibliothèques - sans générer de désinformation ou d'hallucinations d'IA
Education et Formation	Coursebox	Un créateur de cours à base d'IA : créez des cours de haute qualité plus rapidement
IA générative	LangChain	Créez des applications contextuelles et capables de raisonner qui exploitent les données et les API de votre entreprise
Ingénierie générative	Synera.io	Accélérez le développement de produits et réduisez les coûts grâce à des équipes d'agents d'IA d'ingénierie qui travaillent 24/7 en toute transparence aux côtés de votre organisation.

Domaine	Recherche	Commentaires
Génie EITT	That Chip Has Sailed: A Critique of Unfounded Skepticism Around AI for Chip Design	La controverse scientifique autour d'AlphaChip, une méthode d'apprentissage par renforcement profond introduite en 2020 pour générer des configurations de puces « surhumaines »
Génie Électrique	eGridGPT: Trustworthy AI in the Control Room	Feuille de route recherche IA pour le réseau électrique USA AI for the GRID
Génie des Matériaux & Molécules	PPR Diadem	Équipements et programme de recherche prioritaires sur le développement de matériaux innovants utilisant l'intelligence artificielle
Génie Industriel	Role of GenAI in the Digital Twin Landscape	L'article explore la synergie entre GenAI et le Jeu-meu Numérique dans différentes industries.
Génie Biome-dical	Deep Learning Model for 1-5-year Breast Cancer Risk Prediction	Mirai, un algorithme d'apprentissage profond pour prédire le risque de cancer du sein à court terme, surpasse les modèles de risque cliniques standards. Cependant, Mirai est une boîte noire.. La dissimilarité bilatérale étaye-t-elle le raisonnement de Mirai ?
Génie Civil	Building and structural design automation	Une revue de la trajectoire de l'automatisation de la conception des bâtiments et des structures, de la conception générative vers l'intégration de modèles génératifs profonds et l'optimisation
Génie Chimique et des Procédés	GenAI and PSE: The Next Frontier	L'article explore comment les nouveaux modèles de GenAI, tels que les LLMs, peuvent améliorer les méthodologies de résolution au sein de l'ingénierie des systèmes de processus.
Mathématiques	AI algorithmes for time series analysis	L'application d'algorithmes d'IA dans l'analyse des séries chronologiques permet une utilisation plus précise et plus efficace des tendances des données temporelles pour la planification stratégique et la prise de décision.
Activités AMC	Choosing the right path for AI integration in engineering companies	guide pratique pour la sélection d'une approche optimale, cet article contribue à la recherche en gestion de projet d'IA et aux stratégies organisationnelles pour l'intégration de l'IA dans les EPCC
Education et Formation	Artificial Intelligence Aided Engineering Education	comment les techniques d'IA peuvent soutenir le processus d'enseignement apprentissage en ingénierie et comment l'IA peut être rapidement introduite dans un programme d'ingénierie.
IA générative	geNAI creativity and engineering design	Une exploration intéressante et concrète de la façon dont GenAI augmente la créativité en conception
Ingénierie générative	What is generative in generative artificial intelligence?	Une proposition de caractérisation de la générativité des modèles GenAI et d'un cadre permettant d'en identifier les différents types. Mise en évidence de deux niveaux génératifs, l'un conduisant à la génération de nouveaux artefacts, l'autre à la génération des modèles GenAI eux-mêmes.

AUTEURS ET GROUPE DE RÉFLEXION

Ce rapport est le fruit d'un travail d'un groupe de réflexion copiloté par André-Benoît De JAEGERE, Christophe PENNETIER et Xavier KESTELYN avec l'appui des membres du Conseil d'Orientation du Think Tank Arts & Métiers.

Groupe de réflexion :

André-Benoît De JAEGERE, executive senior advisor chez Capgemini

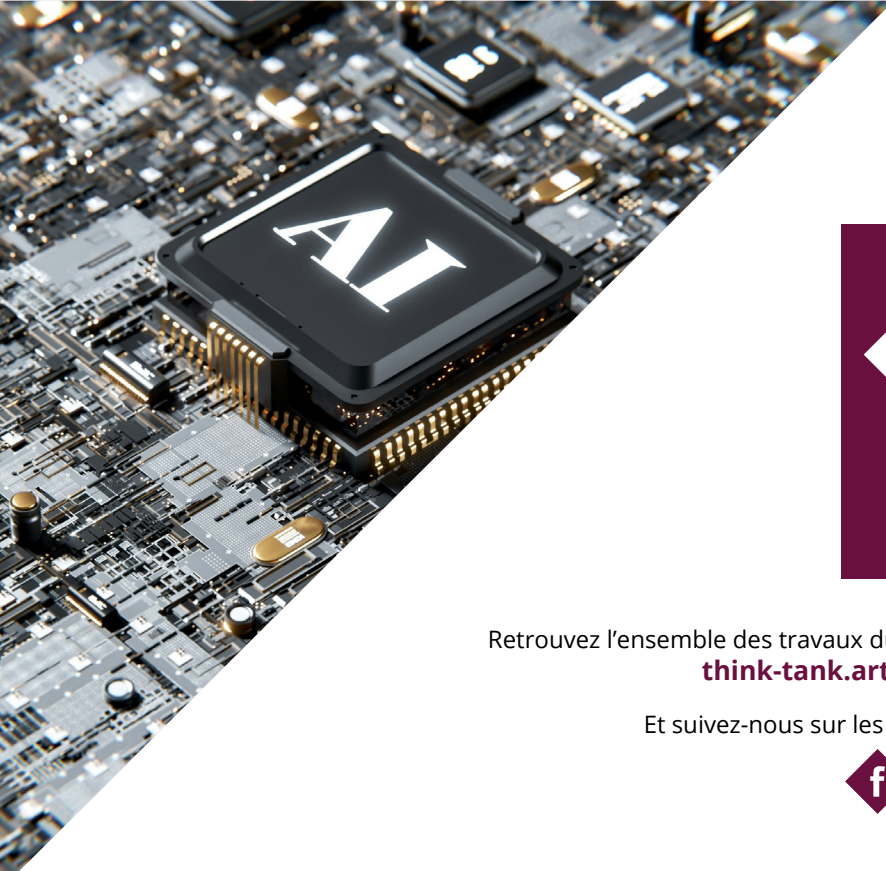
Benjamin HAMBURGER, expert indépendant stratégie, innovation et IA

Xavier KESTELYN, professeur Arts et Métiers

Céline LAVAL, bibliothécaire Arts et Métiers, chargée de mission Science Ouverte.

Christophe PENNETIER, Chief AI and Optimization Scientist chez Quincus

Pierre-André VANDELLE, consultant, digital engineering & intelligent industry chez Capgemini



Retrouvez l'ensemble des travaux du Think Tank sur :
think-tank.arts-et-metiers.fr

Et suivez-nous sur les réseaux sociaux :



À propos du Think Tank

Le Think Tank Arts & Métiers a été créé en 2018, conjointement par l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers et la Société des ingénieurs Arts et Métiers. Il se donne pour double mission de mener des réflexions prospectives sur l'industrie et la technologie dans une démarche d'intérêt général ainsi que d'alimenter la réflexion sur l'avenir de l'École et son identité.

Le Think Tank est politiquement et financièrement indépendant. Composé de personnalités provenant d'horizons professionnels, politiques et académiques variés, il agit dans la plus totale indépendance et dans le but d'éclairer la communauté des Arts et Métiers, en particulier, et, plus généralement, le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche autant que le monde industriel.

© Think Tank Arts & Métiers

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous les pays

Photo couverture : © Unsplash / Igor Omilaev

Directeur de la publication : Stéphane Lapujoulade

Auteurs : André-Benoît De Jaegere, Christophe Pannetier et Xavier Kestelyn

Mise en page : Marie Bondeelle