

L'IAG pour chefs de projets, analystes, développeurs et architectes SI

Redha Moulla

Paris, 17 - 18 septembre 2025

Plan de la formation

- Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?
- Éléments de machine learning et de deep learning
- IA générative
- IAG dans le cycle de développement
- Faire évoluer l'héritage
- IAG pour la gestion collaborative des projets
- IAG pour les processus agiles
- Enjeux éthique, de sécurité et de conformité de l'IAG

Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?

Définition littérale de l'intelligence artificielle

1. Intelligence

Ensemble des fonctions mentales ayant pour objet la connaissance conceptuelle et relationnelle.

- Larousse

2. Artificielle

Qui est produit de l'activité humaine (opposé à la nature).

- Larousse

Conférence de Dartmouth ?

Article

AI Magazine Volume 27 Number 4 (2006) (© AAAI)

A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence

August 31, 1955

John McCarthy, Marvin L. Minsky,
Nathaniel Rochester,
and Claude A. Shannon

■ The 1956 Dartmouth summer research project on artificial intelligence was initiated by this August 31, 1955 proposal, submitted by John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester, and Claude Shannon. The original typewritten document of 17 pages plus a title page. Copies of the typewritten are housed in the archives at Dartmouth College and Stanford University. The first 5 pages state the proposal, and the remaining pages give qualifications and interests of the four who proposed the study. In the interest of brevity, this article reproduces only the proposal itself, along with the short autobiographical statements of the proposers.

We propose that a 2-month, 10-man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. An attempt will be made to find how to make machines use lan-

guage, form abstractions and concepts, solve kinds of problems now reserved for humans, and improve themselves. We think that a significant advance can be made in one or more of these problems if a carefully selected group of scientists work on it together for a summer. The following are some aspects of the artificial intelligence problems.

1. Automatic Computers

If a machine can do a job, then an automatic calculator can be programmed to simulate the machine. The speed and memory capacities of present computers may be insufficient to simulate many of the higher functions of the human brain, but the major obstacle is not lack of machine capacity, but our inability to write programs taking full advantage of what we have.

2. How Can a Computer be Programmed to Use a Language

It may be speculated that a large part of human thought consists of manipulating words according to the rules of meaning and rules of inference. From this point of view, forming a generalization consists of admitting a new

"We propose that a 2-month, 10-man study of artificial intelligence be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it. An attempt will be made to find how to make machines use language, form abstractions and concepts, solve kinds of problems now reserved for humans, and improve themselves. We think that a significant advance can be made in one or more of these problems if a carefully selected group of scientists work on it together for a summer."

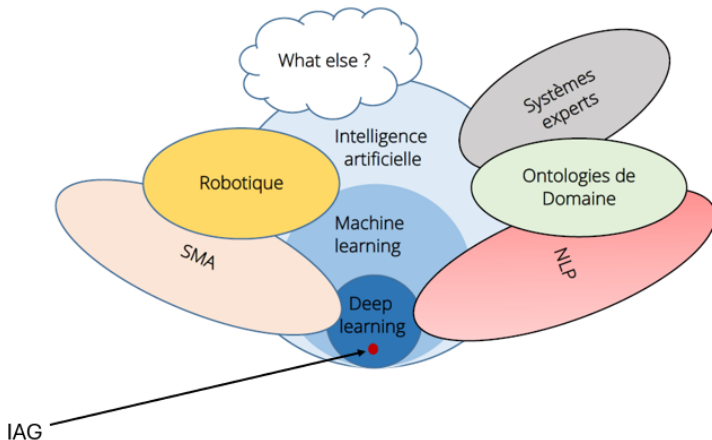
L'intelligence artificielle selon John McCarthy

"It is the science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs. It is related to the similar task of using computers to understand human intelligence, but AI does not have to confine itself to methods that are biologically observable."

— John McCarthy

Définition pragmatique de l'intelligence artificielle

Il s'agit d'un ensemble de techniques qui permettent à la machine d'accomplir des tâches qui requièrent traditionnellement une intelligence humaine.



Rappels sur le machine learning et le deep learning

Qu'est-ce que la machine learning ?

L'apprentissage automatique est une branche de l'intelligence artificielle qui consiste à doter les machines de la capacité d'apprendre à partir de données sans que celles-ci ne soient explicitement programmées pour exécuter des tâches spécifiques.

Le machine learning englobe plusieurs types d'apprentissage :

- **Supervisé** : Les algorithmes apprennent à partir de données étiquetées pour faire des prédictions ou classifications.
- **Non supervisé** : L'apprentissage est effectué sur des données non étiquetées pour trouver des structures cachées.
- **Auto-supervisé** : La machine apprend à compléter des séquences de données (texte, images, etc.).
- **Par renforcement** : Les modèles apprennent à prendre des décisions en maximisant une récompense à travers des interactions.

L'apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé consiste à apprendre un modèle qui associe une étiquette (*label*) à un ensemble de caractéristiques (*features*).

- **Inputs** : un jeu de données *annotées* pour entraîner le modèle.
 - Exemple : des textes (tweets, etc.) avec les *sentiment* associés, positifs ou négatifs.
- **Output** : une étiquette pour un point de donnée inconnu par le modèle.

L'apprentissage supervisé se décline lui-même en deux grandes familles :

- **La classification** : prédire une catégorie ou une classe.
 - Exemple : prédire l'étiquette d'une image (chat, chien, etc.), le sentiment associé à un texte, le centre d'intérêt d'un client à partir de ses commentaires, etc.
- **La régression** : prédire une valeur continue (un nombre réel typiquement).
 - Exemple : prédire le prix d'un appartement, la lifetime value d'un client, etc.

Classification

Exemple de classification : credit scoring

| Âge | Revenu annuel (k€) | Historique de crédit | Nombre de cartes de crédit | Niveau d'éducation | Propriétaire immobilier (Oui/Non) | Label (y) |
|-----|--------------------|----------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------|
| 30 | 50 | Bon | 2 | Licence | Oui | Accepté |
| 45 | 80 | Moyen | 3 | Master | Oui | Accepté |
| 22 | 20 | Mauvais | 1 | Bac | Non | Refusé |
| 35 | 60 | Bon | 4 | Licence | Oui | Accepté |
| 40 | 70 | Moyen | 2 | Bac+2 | Non | Refusé |

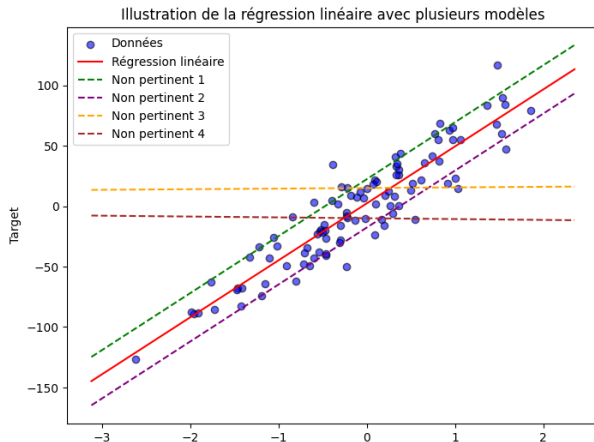
Exemple de régression : prédiction des prix des logements

| Surface (m ²) | Nombre de chambres | Distance du centre-ville (km) | Année de construction | Quartier (Score 1-10) | Prix (k€) (y) |
|---------------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| 80 | 3 | 5 | 2010 | 8 | 300 |
| 120 | 4 | 10 | 2005 | 7 | 450 |
| 60 | 2 | 2 | 2020 | 9 | 200 |
| 150 | 5 | 15 | 1995 | 6 | 600 |
| 100 | 3 | 8 | 2015 | 7 | 400 |

Régression linéaire simple

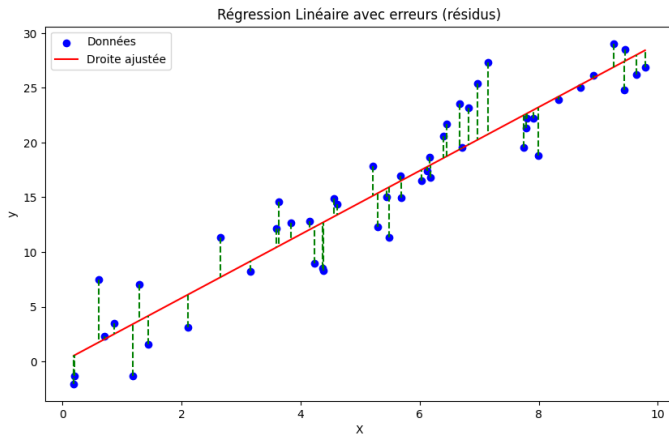
Soit un ensemble de n observations x_1, x_2, \dots, x_n avec les labels correspondants y_1, y_2, \dots, y_n , on cherche le modèle linéaire qui ajuste le mieux ces données.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x$$

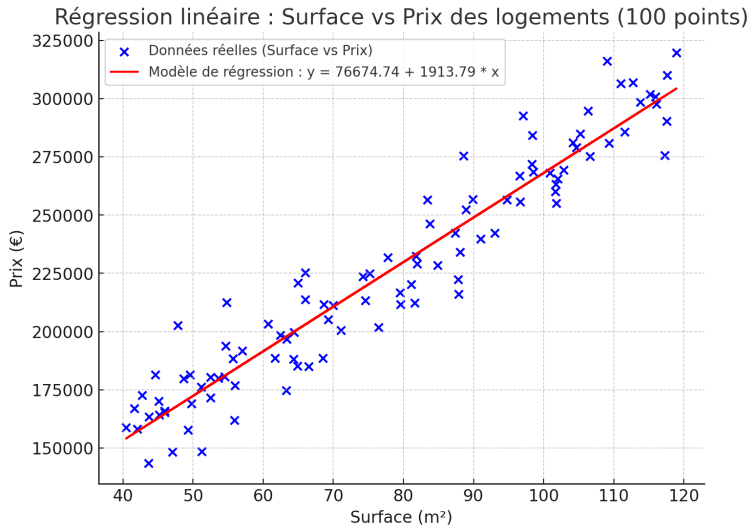


Minimisation du risque empirique 1/2

L'erreur de prédiction pour la i ième observation est : $e_i = y_i - \hat{y}_i$. où $\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$.



Prédire le prix en fonction de la surface : inférence



L'apprentissage non supervisé

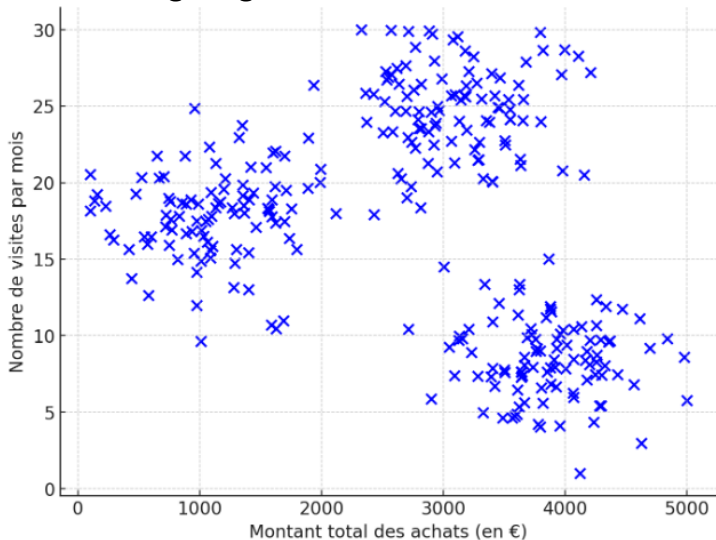
L'apprentissage non supervisé se réfère à l'utilisation de modèles d'apprentissage automatique pour identifier des patterns et des structures dans des données qui ne sont pas étiquetées.

Principales typologies de l'apprentissage non supervisé :

- **Clustering** : Regroupement de points de données similaires ensemble.
Exemple : segmentation de marché, regroupement social.
- **Détection d'anomalies** : Détecter des observations dont les caractéristiques sont inhabituelles par rapport à la majorité.

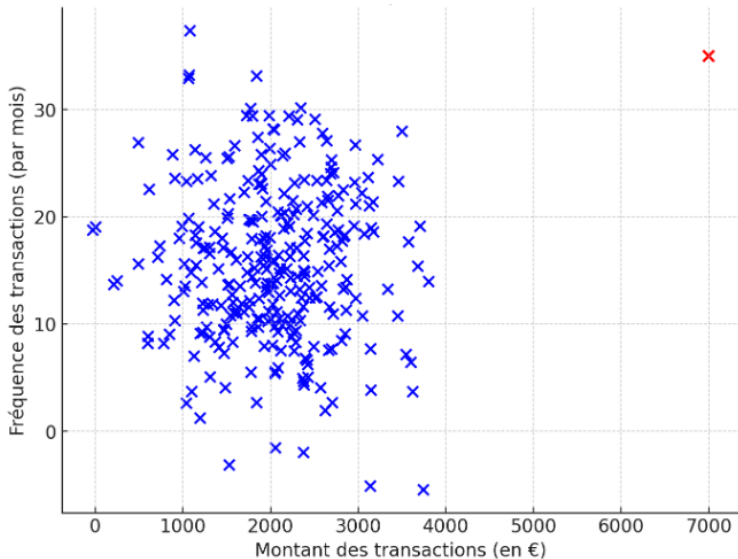
Clustering

Exemple de clustering : segmentation clients



Détection d'anomalies

Exemple de détection d'anomalies : fraude bancaire



Eléments de deep learning

Introduction aux réseaux de neurones

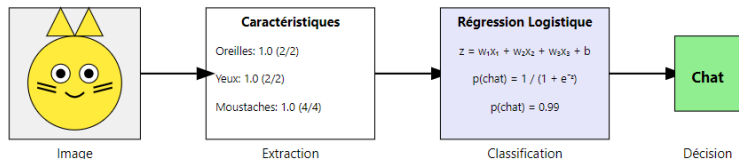
Définition : Les réseaux de neurones sont des modèles computationnels inspirés par le fonctionnement des neurones dans le cerveau humain. Ils sont capables d'apprendre des tâches complexes en modélisant des relations non linéaires entre les entrées et les sorties.

Caractéristiques :

- **Extraction automatique des features** : Capacité d'adaptation et d'extraction des features à partir des données sans programmation explicite.
- **Modélisation non linéaire** : Aptitude à capturer des relations complexes dans les données.
- **Modélisation en grande dimension** : Les modèles de deep learning sont particulièrement adaptés pour les données en grande dimension (images, texte, etc.).
- **Flexibilité** : Applicables à un large éventail de tâches et de typologies de données (images, langage naturel, données graphiques, etc.).

Extraction de features

Extraction de features en machine learning "classique"



Extraction de features en deep learning

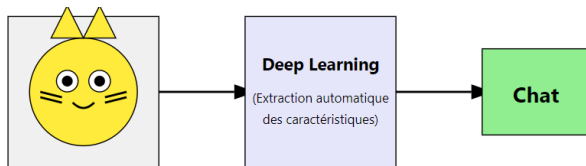
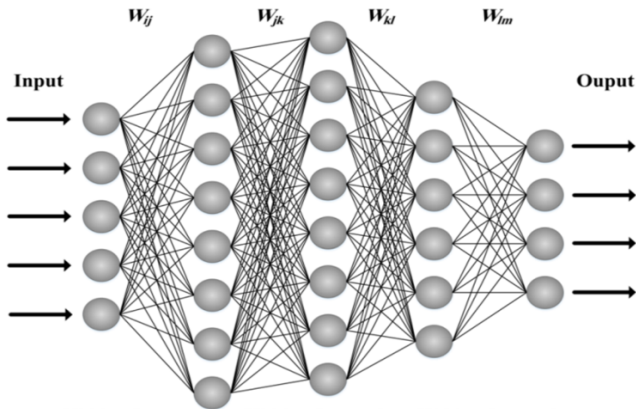


Illustration d'un réseau de neurones classique



Neurone artificiel

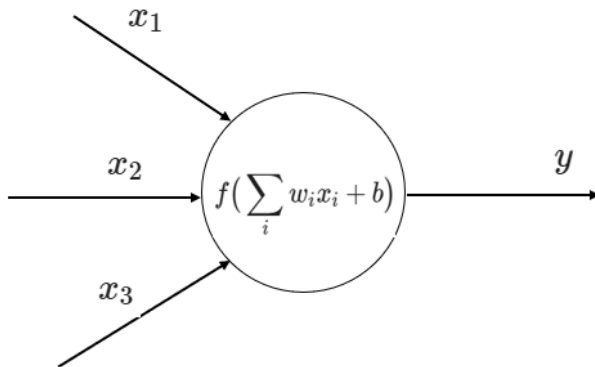
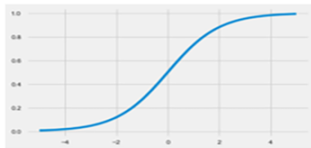
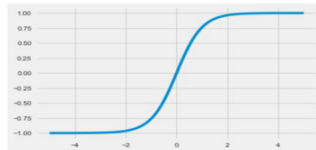


Illustration des fonctions d'activation

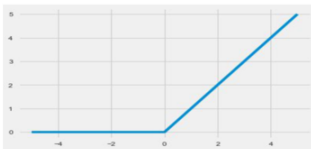
Sigmoïde



Tanh



ReLU



ReLU paramétrique

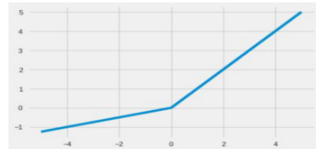
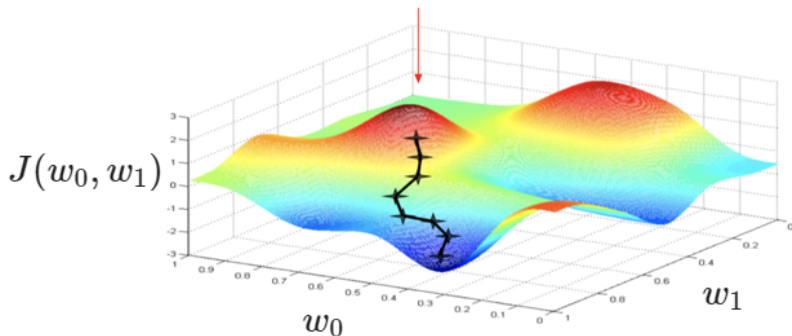


Illustration graphique de la SGD



Intelligence artificielle générative (IAG)

Qu'est-ce que l'IA générative ?

Définition : L'intelligence artificielle générative (IAG) désigne les modèles capables de produire de nouvelles données (texte, image, son, code) qui imitent ou enrichissent des données existantes.

Idée clé : alors que le machine learning classique prédit, l'IAG crée.

Caractéristiques :

- Modèles entraînés sur des volumes massifs de données hétérogènes.
- Génération conditionnée par un prompt (instruction utilisateur).
- Capacité à généraliser au-delà des données vues pendant l'entraînement.

Deux grandes familles d'IA générative

IA générative pour le langage :

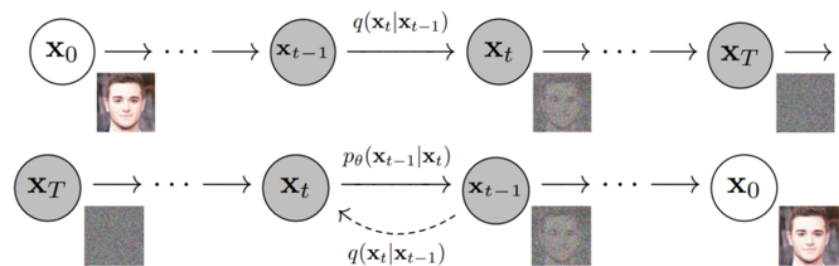
- Modèles de langage de grande taille (LLMs).
- Génération de texte cohérent et contextuel.
- Applications : chatbots, rédaction assistée, analyse de documents, génération de code.
- Exemples : GPT-4, Claude, LLaMA, Mistral.

IA générative pour les images :

- Modèles de diffusion et GANs.
- Création d'images réalistes ou stylisées à partir de descriptions textuelles.
- Applications : design, marketing, prototypage, art numérique.
- Exemples : DALL-E, Stable Diffusion, MidJourney.

Génération d'images

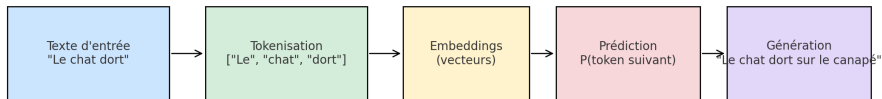
La génération d'images utilise généralement des techniques dites de diffusion.



Principe de fonctionnement

Étapes principales :

- Tokenisation : découper un texte en unités de base appelées tokens.
- Encodage : transformer les tokens en vecteurs numériques (embeddings).
- Prédiction : estimer la probabilité du token suivant à partir du contexte.
- Génération : produire un texte en générant un token après l'autre.



Entraînement des LLMs

L'entraînement des LLMs se déroule généralement en trois étapes principales :

- ❶ **Pré-entraînement sur un corpus volumineux** : phase initiale sur un ensemble massif de données textuelles issues de diverses sources (livres, articles, sites web, code) afin d'apprendre une compréhension générale du langage. L'entraînement consiste à prédire le mot suivant dans une séquence de texte.
- ❷ **Fine-tuning supervisé** : adaptation du modèle à des tâches ou domaines spécifiques (dialogues, traduction, analyse de sentiments, code). Cette étape utilise des jeux de données annotés et ciblés.
- ❸ **Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF)** : ajustement par apprentissage par renforcement, où des annotateurs humains évaluent et classent les réponses du modèle pour affiner leur pertinence, leur clarté et leur alignement avec les attentes.

Modèles de raisonnement

Objectif : améliorer la capacité des LLMs à résoudre des problèmes complexes en rendant explicites les étapes de raisonnement.

Principe des Chain-of-Thoughts (CoT) :

- Décomposer une question en **étapes intermédiaires logiques**.
- Forcer le modèle à **“penser à voix haute”** avant de donner la réponse finale.
- Exemple : résoudre une équation, planifier une suite d'actions, raisonner sur des données tabulaires.

Méthodes d'entraînement :

- **Fine-tuning supervisé** sur des datasets annotés avec étapes de raisonnement.
- **Self-consistency** : générer plusieurs chaînes et agréger la réponse la plus fréquente/cohérente.
- **Distillation** : transférer les capacités de raisonnement d'un grand modèle vers un plus petit.

Agents basés sur les LLMs

Définition : un agent est un système qui exploite un LLM comme moteur de raisonnement et de décision, capable d'interagir avec des outils et un environnement externe.

Caractéristiques principales :

- **Boucle perception–action** : observe, raisonne, agit, et réévalue.
- **Accès à des outils** : API, bases de données, navigateurs, scripts.
- **Mémoire** : conserve l'historique et les connaissances pertinentes.
- **Planification** : décompose un objectif en sous-tâches exécutables.

Exemples d'agents :

- **AutoGPT, BabyAGI** : agents autonomes exécutant des suites de tâches complexes.
- **MetaGPT** : coordination automatique de rôles dans un projet logiciel (PO, dev, QA).

LLMs propriétaires vs Open Source

● Modèles propriétaires









- ChatGPT, Claude, Gemini, Grok...
- Poids non disponibles au public.
- Performances élevées, accès limité par API payante
- Protection intellectuelle stricte (code non accessible)
- Support technique assuré, documentation avancée
- Dépendance aux fournisseurs et coûts potentiellement élevés









● Modèles open source

- Llama, Mistral, Gemma, DeepSeek, Qwen...
- Poids disponibles au public
- Transparence du code, flexibilité d'adaptation
- Performances parfois inférieures, mais amélioration continue
- Gratuit, mais coût de l'infrastructure à gérer
- Exposition aux failles potentielles de sécurité, support communautaire

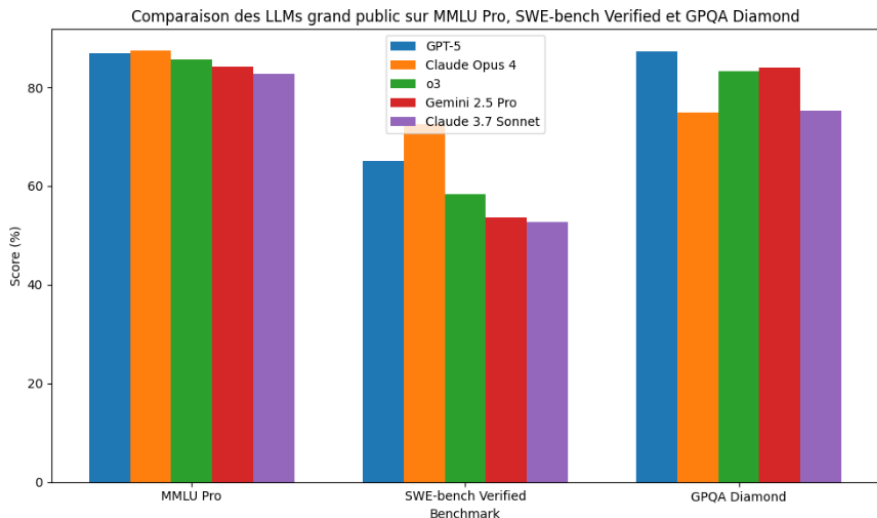
Conclusion : Choisir entre contrôle, flexibilité et performances optimales.

Comparaison des performances des LLMs : MLEArena

| Text5 days ago | | |
|----------------|---|----------|
| Rank (UB) ↑ | Model ↑↓ | Score ↑↓ |
| 1 |  gemini-2.5-pro | 1456 |
| 1 |  gpt-5-high | 1447 |
| 1 |  claude-opus-4-1-20250805-thi... | 1447 |
| 2 |  o3-2025-04-16 | 1444 |
| 2 |  chatgpt-4o-latest-20250326 | 1443 |
| 2 |  gpt-4.5-preview-2025-02-27 | 1439 |
| 2 |  claude-opus-4-1-20250805 | 1436 |
| 7 |  gpt-5-chat | 1426 |

| WebDev12 days ago | | |
|-------------------|---|----------|
| Rank (UB) ↑ | Model ↑↓ | Score ↑↓ |
| 1 |  GPT-5 (high) | 1481 |
| 1 |  Claude Opus 4.1 thinking-16k... | 1474 |
| 3 |  Claude Opus 4.1 (20250805) | 1436 |
| 4 |  Gemini-2.5-Pro | 1405 |
| 4 |  DeepSeek-R1-0528 | 1392 |
| 5 |  Claude Opus 4 (20250514) | 1383 |
| 6 |  GLM-4.5 | 1368 |
| 6 |  GLM-4.5-Air | 1364 |

Comparaison des performances des LLMs : benchmarks classiques



Introduction au prompting

Définition : Le prompting est l'art de formuler des instructions à un modèle de langage afin d'obtenir une réponse pertinente et de qualité.

Idée clé : La qualité de la sortie dépend fortement de la manière dont l'entrée est rédigée.

Enjeux :

- Obtenir des résultats précis et cohérents.
- Réduire les risques d'ambiguïtés et d'hallucinations.
- Adapter le style et le niveau de détail de la réponse.

Techniques de base du prompting

- **Prompt clair et explicite** : éviter les formulations vagues.
- **Contexte** : fournir des informations supplémentaires pour orienter le modèle.
- **Format attendu** : indiquer la structure de sortie souhaitée (liste, tableau, texte court).
- **Exemples** : montrer un ou plusieurs cas pour guider la génération.

Exemple : Au lieu de "Explique le machine learning", écrire "Donne une définition simple du machine learning, suivie d'un exemple d'application en santé".

Techniques avancées

- **Few-shot prompting** : fournir quelques exemples d'entrée-sortie pour calibrer les réponses.
- **Chain-of-thought** : inciter le modèle à détailler son raisonnement étape par étape.
- **Role prompting** : demander au modèle d'adopter un rôle précis (enseignant, expert technique...).
- **Prompt engineering** : expérimentation systématique pour optimiser les formulations.

Bonnes pratiques de prompting

- Commencer simple, puis raffiner progressivement.
- Tester plusieurs formulations pour comparer les résultats.
- Toujours vérifier la fiabilité des réponses produites.
- Documenter les prompts efficaces pour réutilisation.

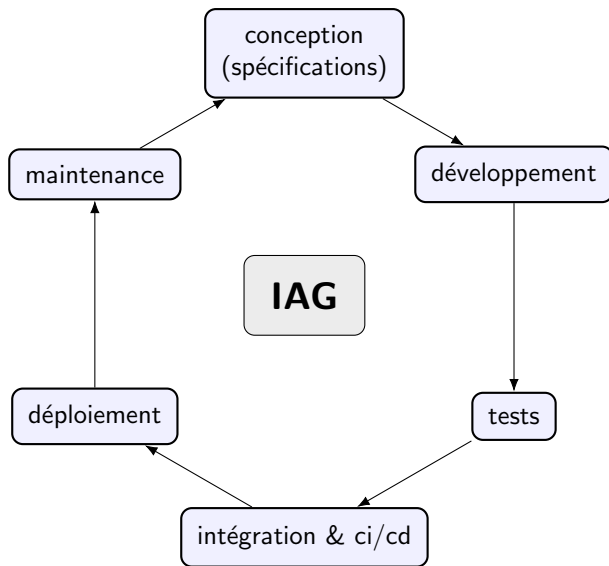
IAG dans le cycle de développement

L'IAG dans le cycle de vie logiciel

L'intelligence artificielle générative ne se limite pas à l'autocomplétion de code : elle peut s'intégrer à chaque étape du cycle de vie logiciel pour assister les équipes.

- **Conception** : clarification des besoins, spécifications, ébauches d'architecture.
- **Développement** : génération et refactor de code, assistance aux patterns.
- **Tests** : génération de tests unitaires et fonctionnels, détection de cas limites.
- **Intégration & CI/CD** : review automatique de PR, génération de changelog et documentation.
- **Déploiement** : notes de version, assistance à l'infrastructure-as-code.
- **Maintenance** : classification des tickets, suggestions de correctifs, documentation à partir du code.

IAG dans le cycle de vie logiciel



Conception et spécifications

Objectif : réduire l'ambiguïté et accélérer le passage du besoin métier à la solution technique.

- Transformer une *user story* en endpoints d'API (routes, verbes, schémas JSON).
- Générer une première ébauche d'architecture (services, flux, dépendances).
- Produire un glossaire ou des critères d'acceptation testables.

Exemple de prompt : *À partir de cette user story, propose les endpoints REST, les codes d'erreur et un schéma JSON pour POST /orders.*

Objectif : accélérer l'implémentation tout en améliorant la lisibilité et la maintenabilité.

- Génération de fonctions à partir d'une description en langage naturel.
- Refactor : extraction de sous-fonctions, renommage de variables, simplification de structures.
- Suggestions de design patterns adaptés au contexte.

Exemple : Avant : fonction monolithique de 80 lignes. Après : découpage en `validate()`, `transform()`, `persist()` avec docstrings et exceptions typées.

Objectif : améliorer la couverture et détecter les cas limites dès la phase de développement.

- Génération de tests unitaires directement à partir du code.
- Proposition de cas extrêmes : valeurs limites, erreurs réseau, formats inattendus.
- Création de scénarios fonctionnels dérivés des user stories.

Exemple de prompt : *Voici la fonction `price(order)`. Génère 8 tests unitaires `pytest` couvrant remise, TVA, devise inconnue, quantité négative, seuils, valeur nulle.*

Intégration et CI/CD

Objectif : enrichir les pipelines d'intégration continue avec des capacités d'analyse et de génération.

- Review automatique de pull requests : détection de failles de sécurité, de duplications, de style incohérent.
- Génération automatique de tests complémentaires pour valider les commits.
- Production de documentation et de changelogs à partir des messages de commits.

Exemple : Un workflow GitHub Actions envoie le *diff* à un LLM, qui commente directement la PR avec ses suggestions.

Objectif : automatiser et simplifier les tâches de mise en production.

- Assistance à la rédaction de scripts *infrastructure-as-code* (Terraform, Ansible).
- Génération automatique des notes de version lisibles à partir des commits.
- Support aux équipes DevOps pour documenter et communiquer les changements.

Exemple : À partir de commits techniques, l'IAG rédige un changelog clair pour les utilisateurs finaux.

Objectif : accélérer la résolution de problèmes et réduire la dette technique.

- Classification automatique des tickets d'incidents par priorité et catégorie.
- Proposition de correctifs initiaux pour certains bugs.
- Génération de documentation à partir de code existant ou de logs.

Exemple : Un log d'erreur est soumis à l'IAG, qui propose un diagnostic et une piste de correction.

Limites et précautions

Points de vigilance lors de l'intégration de l'IAG :

- **Qualité variable** : sorties parfois incomplètes ou erronées, besoin de supervision humaine.
- **Sécurité et confidentialité** : attention à l'envoi de code ou de données sensibles.
- **Coût et performance** : appels API facturés au token, temps de latence selon les modèles.
- **Dépendance technologique** : choix entre solutions cloud, open source locales ou hybrides.

Message clé : l'IAG est un assistant puissant, mais elle ne remplace pas le rôle critique du développeur et de l'architecte.

Conclusion

Synthèse :

- L'IAG peut intervenir à chaque étape du cycle de vie logiciel.
- Elle augmente la productivité, améliore la documentation et renforce les tests.
- Elle exige des précautions (qualité, sécurité, gouvernance).

Ouverture :

- Quelle phase du cycle de vie tirerait le plus de bénéfice de l'IAG dans vos projets ?
- Quels freins organisationnels ou techniques voyez-vous à son adoption ?

Introduction : pourquoi un MLOps pour l'IAG ?

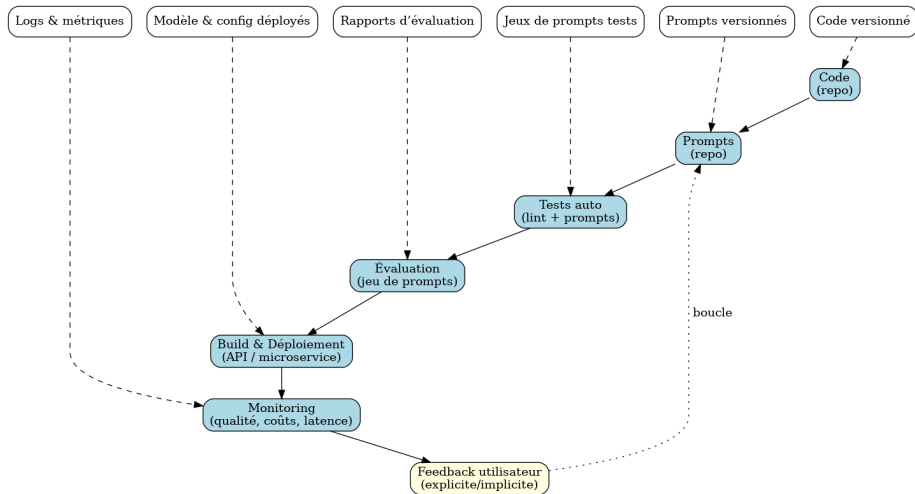
L'intégration de l'IAG dans les projets ne peut pas se limiter à un POC : il faut assurer robustesse, traçabilité et scalabilité.

- **Différences avec le MLOps classique :**

- Les prompts deviennent des artefacts centraux, au même titre que le code.
- Les modèles évoluent très vite (mises à jour fréquentes, nouvelles versions).
- Les métriques ne sont pas seulement de la précision, mais aussi qualité, coûts, latence, hallucinations.

- **Objectif** : gérer l'IAG comme un système logiciel vivant, soumis à un cycle de développement et d'exploitation continu.

Pipeline CI/CD pour l'IAG



Cycle MLOps adapté à l'IAG

Un cycle spécifique se met en place autour de l'IAG.

- ① Conception des prompts et jeux d'évaluation.
- ② Fine-tuning éventuel de modèles (spécifiques au métier).
- ③ Déploiement sous forme d'API ou de microservice.
- ④ Supervision : suivi de la qualité, des coûts, de la conformité.
- ⑤ Boucle de feedback : amélioration continue des prompts et des pipelines.

Message clé : le prompt devient un artefact versionné, testé et monitoré.

Versioning des artefacts

L'IAG introduit de nouveaux éléments à gérer dans Git ou DVC.

- **Prompts** : stockés comme du code, avec historique et commentaires.
- **Modèles** : versions différentes d'LLMs (cloud, open source, fine-tunés).
- **Embeddings** : nécessaires pour la recherche sémantique et le RAG.
- **Datasets d'évaluation** : corpus de prompts/questions pour tester la cohérence.

Bonne pratique : utiliser Git + DVC pour tracer simultanément code, prompts et jeux d'évaluation.

Tests automatisés pour l'IAG

Les tests ne portent pas seulement sur le code, mais aussi sur la qualité des réponses générées.

- **Tests fonctionnels** : vérifier que les réponses respectent un format attendu (JSON, regex).
- **Tests de cohérence** : comparer la sortie avec une référence (gold standard).
- **Tests de robustesse** : évaluer la stabilité des réponses face à des variations de prompt.
- **Non-régression** : détecter les changements introduits par une mise à jour de modèle.

Outil : intégration de jeux de prompts dans les suites de tests CI.

CI/CD pour l'IAG

Le pipeline CI/CD s'enrichit avec de nouveaux artefacts.

- **CI :**

- Linting et validation des prompts.
- Génération de tests automatiques.
- Évaluation sur un dataset de référence.

- **CD :**

- Déploiement automatisé de modèles et prompts validés.
- Publication de l'API IAG ou du microservice associé.
- Documentation et changelog générés automatiquement.

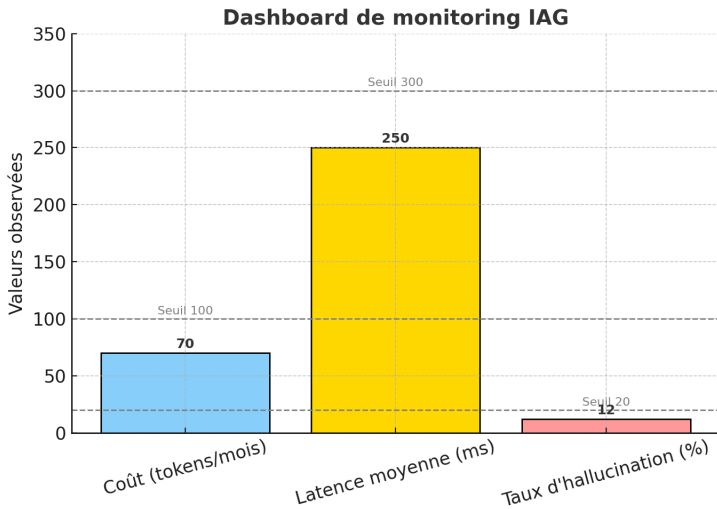
Monitoring en production

Une IAG en production doit être surveillée en continu.

- **Qualité des réponses** : taux d'erreurs, hallucinations, satisfaction utilisateur.
- **Performance** : latence des réponses, disponibilité du service.
- **Coûts** : suivi du nombre de tokens, alertes en cas de dépassement.
- **Dérive** : détecter une baisse de qualité au fil du temps (concept drift).

Bonne pratique : associer logs classiques et résumés IAG pour rendre les anomalies lisibles.

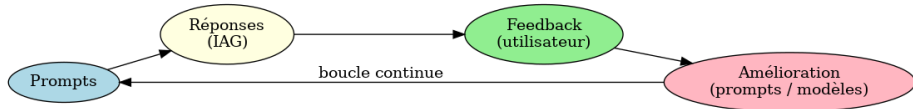
Dashboard de monitoring IAG



Observabilité et feedback utilisateur

L'amélioration continue passe par le retour d'expérience.

- **Feedback explicite** : notation des réponses par les utilisateurs.
- **Feedback implicite** : temps passé, clics, rejets ou corrections.
- **Boucle de réentraînement** : réutiliser les feedbacks pour améliorer prompts et modèles.
- **Dashboards partagés** : rendre visible la performance de l'IAG auprès des équipes.



Message clé : le feedback devient une donnée d'entraînement précieuse.

Gestion des coûts et scalabilité

L'industrialisation impose de maîtriser les ressources.

- **Choix du modèle :**
 - léger (ex. GPT-3.5, Mistral) pour les tâches simples,
 - avancé (ex. GPT-4, Claude) pour les cas complexes.
- **Optimisation des prompts :** réduction du contexte inutile, segmentation intelligente.
- **Scalabilité :** load balancing entre modèles, mise en cache des réponses fréquentes.
- **Alertes coût :** seuils et budgets par équipe/projet.

Les pipelines IAG doivent respecter les contraintes légales et de gouvernance.

- **Validation des prompts** : interdiction d'envoyer certains contenus (PII, secrets).
- **Auditabilité** : traçabilité des prompts et réponses utilisées en production.
- **Conformité RGPD** : localisation des données, droit à l'oubli.
- **Responsabilité** : définir les rôles et la supervision humaine obligatoire.

Bonne pratique : proxy IAG interne contrôlant toutes les interactions avec les modèles externes.

Conclusion : MLOps pour l'IAG

Synthèse :

- Les principes MLOps s'appliquent à l'IAG, mais avec de nouveaux artefacts : prompts, embeddings, jeux d'évaluation.
- La supervision humaine reste indispensable (qualité, éthique, conformité).
- Le succès repose sur un triptyque : **versioning**, **tests**, **monitoring**.

Message clé : l'IAG n'est pas seulement un outil d'expérimentation ; c'est un composant logiciel critique qui doit être géré avec rigueur.

Introduction au fine-tuning des LLMs

Pourquoi fine-tuner un LLM ?

- Adapter un modèle générique (GPT, LLaMA, Mistral) à un domaine spécifique (médical, juridique, entreprise).
- Réduire la dépendance au prompt engineering.
- Améliorer la pertinence, la cohérence et le style des réponses.

Types d'adaptation :

- **Fine-tuning complet** : mise à jour de tous les poids.
- **Instruction tuning** : alignement sur des données question-réponse.
- **PEFT (LoRA, Prefix Tuning...)** : entraînement partiel et efficace.

Fine-tuning complet

Principe : réentraîner l'ensemble des paramètres du modèle.

- **Avantages** : adaptation maximale au domaine, contrôle complet.
- **Inconvénients** :
 - Nécessite une infrastructure GPU massive.
 - Très coûteux en temps et en énergie.
 - Rarement accessible aux entreprises classiques.

Message clé : réservé aux acteurs disposant de moyens importants (Big Tech, laboratoires).

Approches efficaces : LoRA et PEFT

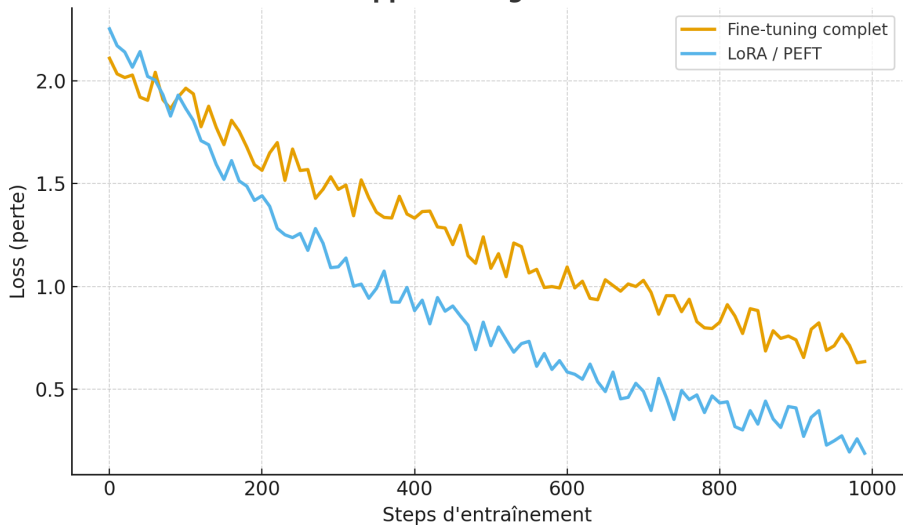
Low-Rank Adaptation (LoRA) : on n'entraîne que de petites matrices d'adaptation .

- **PEFT** (Parameter-Efficient Fine-Tuning) regroupe LoRA, Prefix Tuning, Adapters.
- Les poids d'origine sont gelés ; seuls les modules légers sont optimisés.
- **Avantages** :
 - Beaucoup moins coûteux.
 - Stockage des adapters léger (quelques Mo).
 - Facile à combiner avec différents modèles de base.



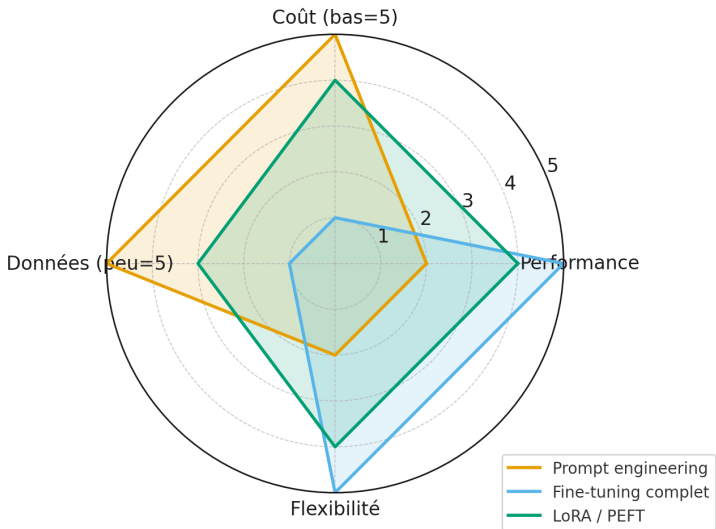
Full fine tuning vs LoRA

Courbes d'apprentissage : full FT vs LoRA



Comparatif des approches

Comparatif d'approches pour adapter un LLM



Écosystème Hugging Face et PyTorch :

- **PyTorch** : framework de référence pour l'entraînement des LLMs.
- **Transformers** : chargement et utilisation des modèles pré-entraînés.
- **PEFT** : implémentation de LoRA et autres techniques paramètre-efficaces.
- **Trainer** : API haut-niveau pour gérer l'entraînement.
- **Accelerate** : distribution sur GPU/TPU, multi-device, mixed precision.

Ces briques se combinent pour simplifier et accélérer le fine-tuning.

Le rôle de Trainer

Trainer est une abstraction pour simplifier l'entraînement.

- Gère la boucle d'entraînement : epochs, batchs, évaluation, checkpoints.
- Supporte nativement les modèles Transformers et PEFT.
- Intègre le logging (TensorBoard, Weights & Biases).

Exemple :

- Fournir le modèle LoRA + datasets.
- Définir `TrainingArguments`.
- Appeler `trainer.train()`.

Le rôle d'Accelerate

Accelerate optimise et distribue l'entraînement.

- Masque la complexité du multi-GPU et du multi-node.
- Permet l'entraînement en précision réduite (FP16, bfloat16).
- S'intègre au Trainer ou à une boucle PyTorch personnalisée.

Message clé : tirer le maximum de l'infrastructure matérielle sans changer le code métier.

Pipeline typique avec LoRA + Trainer + Accelerate

Étapes principales :

- ➊ Charger un modèle pré-entraîné (Transformers).
- ➋ Appliquer LoRA (PEFT).
- ➌ Préparer dataset (instructions, Q/A).
- ➍ Définir les arguments d'entraînement (batch size, epochs).
- ➎ Lancer avec Trainer, optimisé par Accelerate.
- ➏ Sauvegarder uniquement les adapters LoRA.

Résultat : un modèle spécialisé, léger et facile à déployer.

Quand utiliser LoRA ?

Cas pertinents :

- Domaines spécialisés (finance, médical, juridique).
- Données propriétaires ou confidentielles.
- Adaptation de style (ton, vocabulaire interne).

Limites :

- Dépendance à la qualité du dataset.
- Maintenance des adapters si le modèle de base évolue.

Conclusion

Résumé :

- Le fine-tuning complet est rare et coûteux.
- LoRA/PEFT rend le fine-tuning accessible aux entreprises.
- Trainer et Accelerate facilitent et optimisent le processus.

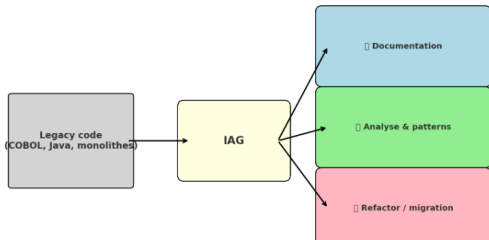
Message clé : avec LoRA + Trainer + Accelerate, il est possible d'adapter un LLM aux besoins métiers sans infrastructure démesurée.

Faire évoluer l'héritage

Faire évoluer l'héritage : introduction

La majorité des systèmes d'information reposent encore sur du **legacy code** : COBOL, Java anciens, monolithes, applications peu documentées.

- **Défis principaux** :
 - comprendre un code massif et mal documenté,
 - refactorer progressivement sans tout réécrire,
 - migrer vers des architectures modernes tout en limitant les risques.
- **Rôle de l'IAG** : agir comme un accélérateur de modernisation, en assistant les développeurs sur la **compréhension**, la **documentation**, la **refactorisation** et la **migration**.



Documentation automatique du legacy

Problème : beaucoup d'applications critiques manquent de documentation claire.

- Génération de documentation à partir de code source non commenté.
- Résumés automatiques de modules, classes, fonctions avec description du rôle et des dépendances.
- Production de diagrammes ou d'explications en langage naturel pour faciliter l'onboarding.

Exemple : un fichier COBOL de 2000 lignes → résumé clair en français, avec liste des variables principales et description des calculs.

Analyse et détection de patterns

Objectif : identifier les points faibles et les dépendances cachées.

- Détection automatique de duplications et de mauvaises pratiques (*code smells*).
- Identification des dépendances critiques entre modules.
- Proposition de refactor prioritaire : classes ou fonctions à isoler en priorité.

Cas d'usage : préparer une migration vers microservices en repérant les modules fortement couplés.

Refactor assisté par l'IAG

Problématique : le code spaghetti rend difficile la maintenance et l'évolution.

- Proposition de réécriture par petits morceaux, avec extraction de fonctions claires.
- Simplification des conditions complexes ou boucles imbriquées.
- Harmonisation des conventions (noms de variables, structure).

Exemple : une fonction monolithique de 300 lignes → 5 fonctions spécialisées avec tests unitaires générés automatiquement.

Migration vers architectures modernes

Enjeu : passer d'un monolithe ancien à une architecture modulaire et scalable.

- Génération de squelettes de microservices à partir de modules identifiés.
- Conversion d'un langage ancien vers un langage moderne (Java → Python, COBOL → Java).
- Proposition de schémas d'API REST à partir du code legacy.

Attention : les sorties doivent toujours être validées par un expert ; l'IAG propose des bases, pas un résultat prêt pour la production.

Tests et sécurisation du legacy

Problème : modifier du legacy sans tests est risqué.

- Génération de tests unitaires pour entourer le code legacy.
- Création de jeux de tests fonctionnels à partir d'exemples historiques.
- Vérification automatique de la non-régression après refactor.

Bénéfice : sécuriser les évolutions du code legacy, limiter les régressions, faciliter la migration progressive.

Points de vigilance lors de l'utilisation de l'IAG sur du legacy :

- **Qualité variable** : l'IA peut mal interpréter des parties spécifiques ou très anciennes.
- **Hallucinations** : risque de générer du code inventé non exécutable.
- **Confidentialité** : attention à l'envoi de code sensible vers des API externes.
- **Supervision humaine indispensable** : un expert doit toujours valider la proposition avant mise en production.

Conclusion : moderniser l'héritage

Synthèse :

- L'IAG accélère la compréhension, la documentation et la refactorisation du legacy.
- Elle facilite la migration vers des architectures modernes et sécurise les évolutions grâce aux tests générés.
- Elle ne remplace pas l'expertise humaine mais la démultiplie.

Message clé : moderniser l'héritage devient plus accessible grâce à l'IAG, à condition de mettre en place une gouvernance et des garde-fous.

IAG pour la gestion collaborative des projets

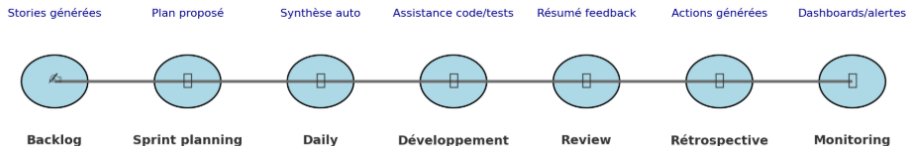
Gestion collaborative et IAG : introduction

La gestion de projets informatiques implique une coordination fine entre les équipes, une communication constante et une surveillance continue des tâches et des performances.

Problématique : beaucoup de temps est perdu dans des tâches répétitives (comptes rendus, relances, mise à jour de dashboards).

Apport de l'IAG :

- Automatiser les tâches récurrentes.
- Structurer et organiser les besoins.
- Améliorer la collaboration entre équipes avec des assistants intelligents.
- Générer des visualisations et alertes en temps réel.



Coordination d'équipe et automatisation

Objectif : déléguer à l'IA les tâches de coordination et de suivi.

- **Suivi des actions** : extraction automatique des *to-do* à partir des réunions.
- **Relances automatiques** : rappels envoyés sur Slack/Teams ou par mail.
- **Résumé de réunions** : transcription et synthèse via des outils comme Fireflies.ai.
- **Chatbot interne** : répondre aux questions d'équipe sur l'avancement du sprint ou du backlog.

Exemple : un compte rendu de daily → un plan d'actions distribué automatiquement.

Structuration des besoins

Objectif : clarifier et standardiser la formulation des besoins.

- **Mindmaps automatiques** : génération avec des outils comme Chatmind à partir de notes brutes.
- **Transformation des besoins** : conversion de spécifications métier en user stories prêtes pour le backlog.
- **Uniformisation** : mise en forme systématique (roadmap, backlog, priorisation).

Bénéfice : moins d'ambiguïtés, plus de clarté dans le backlog produit.

Outils collaboratifs augmentés par l'IA

Notion, Fireflies.ai, MetaGPT : trois exemples emblématiques.

- **Notion** : génération automatique de pages de projet, FAQ internes, synthèse de documents.
- **Fireflies.ai** : transcription et résumé de réunions, attribution d'actions aux bonnes personnes.
- **MetaGPT** : orchestration automatique de rôles (Product Owner, développeur, QA) pour structurer un projet logiciel.

L'IA peut devenir un véritable co-pilote de la gestion de projet.

Visualisation et monitoring

Objectif : offrir aux équipes une visibilité instantanée sur l'état du projet et du système.

- Résumer les logs applicatifs pour identifier anomalies et erreurs.
- Générer automatiquement des dashboards (exemple : avancement des sprints, vitesse).
- Surveiller la performance des systèmes (temps de réponse, taux d'erreur).
- Compléter les solutions de monitoring existantes (Grafana, Prometheus, Evidently) par des résumés intelligents.

Exemple : un tableau de bord généré automatiquement après chaque sprint.

Analyse multifactorielle et gestion des alertes

Apport : l'IAG croise plusieurs sources pour enrichir le suivi.

- **Analyse multifactorielle** : corrélation entre logs, tickets de support, métriques de performance.
- **Détection proactive** : identification d'incidents récurrents et proposition d'actions correctives.
- **Gestion intelligente des alertes** : tri et routage vers les bons interlocuteurs (ex : dev, ops, PO).

Bénéfice : réduire le bruit des alertes et prioriser les incidents critiques.

Conclusion : collaboration augmentée

Synthèse :

- L'IAG automatise les tâches répétitives et libère du temps à valeur ajoutée.
- Elle aide à organiser les besoins et à uniformiser les livrables.
- Elle améliore la coordination d'équipe grâce à des outils intégrés (Notion, Fireflies.ai, MetaGPT).
- Elle enrichit la visualisation et le monitoring avec des dashboards et alertes intelligentes.

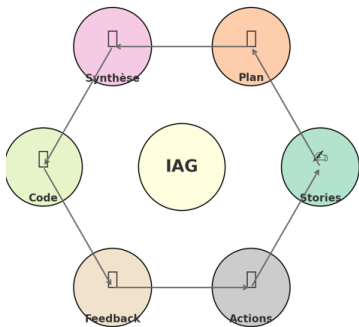
Message clé : l'IAG devient un co-pilote de la gestion de projet, à condition d'une supervision et d'un cadrage humain.

IAG pour les processus agiles

IAG et agilité : pourquoi

L'IAG peut accélérer le flux agile sans remplacer les rôles (PO, SM, devs).

- Réduire la charge cognitive : moins de tâches répétitives.
- Fluidifier la communication métier technique.
- Standardiser les artefacts agiles (stories, comptes rendus, doc).



Backlog et user stories

Objectif : produire des stories claires et actionnables.

- Génération ou reformulation des user stories (format *en tant que... je veux... afin de...*).
- Extraction d'acceptance criteria à partir de notes ou tickets.
- Suggestion de priorisation (valeur, risque, dépendances) à challenger par l'équipe.

Exemple : notes de réunion → 3 stories + 6 critères d'acceptation.

Planification de sprint

Objectif : accélérer la préparation sans figer la décision humaine.

- Proposition de plan de sprint à partir du backlog et de la vélocité historique.
- Décomposition automatique d'une story en sous-tâches techniques.
- Estimation initiale (story points) à discuter en poker planning.

Remarque : la planification finale reste une décision d'équipe.

Daily et rétrospectives

Objectif : rendre visibles décisions et blocages.

- Synthèse des points d'hier/aujourd'hui, risques et dépendances.
- Génération de compte rendu de daily et suivi des actions.
- Rétro assistée : agrégation des faits, top/flop, actions d'amélioration proposées.

Exemple : transcript de rétro → plan d'actions priorisé.

Objectif : documenter au fil de l'eau sans friction.

- Mise à jour de la documentation à partir des merges et releases.
- Rédaction de *definition of done*, checklists de qualité, guides internes.
- Adaptation multi-publics : résumé pour direction, détail pour dev/ops, pas-à-pas utilisateur.

Exemple : chatbot interne entraîné sur la doc projet et les règles agiles.

Bonnes pratiques et limites

Principes :

- L'IAG assiste, elle ne décide pas ; validation humaine systématique.
- Confidentialité : ne pas envoyer d'infos sensibles ; utiliser un proxy ou un modèle local si besoin.
- Transparence : tracer prompts, versions et décisions générées.

Petits pas :

- Commencer par la reformulation de stories et les comptes rendus.
- Étendre à la planification et à la doc si l'équipe est convaincue.

Enjeux éthiques, sécurité et conformité de l'IA

Pourquoi parler d'éthique et de sécurité ?

L'intelligence artificielle générative ne pose pas seulement des défis techniques : elle soulève des enjeux critiques pour l'entreprise.

- **Sécurité** : risques de fuite de secrets ou d'attaques via les prompts.
- **Confidentialité** : conformité au RGPD, respect des données sensibles.
- **Propriété intellectuelle** : **propriété des données d'entraînement et du contenu généré par l'IA.**
- **Éthique** : biais, équité, responsabilité dans l'usage.

Message clé : l'adoption de l'IA doit être accompagnée d'une gouvernance adaptée.

Exemples de menaces :

- **Fuite de secrets** : code ou identifiants envoyés à une API externe.
- **Prompt injection** : manipulation du modèle par un utilisateur malveillant.
- **Dépendance externe** : indisponibilité ou vulnérabilité du fournisseur de LLM.

Bonne pratique : utiliser des proxys, filtrer les prompts et éviter d'envoyer des données sensibles.

Enjeux de confidentialité

Problématique centrale : l'IAG traite souvent des données sensibles ou personnelles.

- **RGPD** : droit à l'oubli, consentement, minimisation des données.
- **Localisation des données** : datacenters UE vs hors UE.
- **Solutions** :
 - anonymisation avant envoi,
 - hébergement de modèles open source en interne,
 - passage par un proxy d'entreprise.

Un enjeu majeur souvent sous-estimé dans l'usage de l'IAG.

- **Origine des données d'entraînement** : risque que le modèle régénère des contenus protégés (texte, code, images).
- **Droits sur les contenus générés** :
 - Dans l'UE, pas de droit d'auteur automatique sur une production 100% IA.
 - L'entreprise doit définir une politique claire (contrats, licences internes).
- **Licences et open source** : vérifier la licence des modèles (Apache 2.0, MIT, restrictions) et des datasets utilisés.
- **Bonnes pratiques** :
 - tracer les sources de données et les outputs,
 - sensibiliser les équipes aux risques de réutilisation non conforme,
 - éviter d'intégrer sans vérification un contenu généré dans des livrables contractuels.

Biais et équité

Constat : les modèles reflètent les biais de leurs données d'entraînement.

- Risque de stéréotypes et de discriminations dans les réponses.
- Impact fort dans les domaines sensibles (recrutement, médical, juridique).
- Besoin d'auditer les modèles dans leur contexte métier.

Message clé : l'évaluation humaine reste indispensable pour corriger les biais.

Questions clés :

- Qui est responsable si une IA génère du code erroné ou trompeur ?
- Comment tracer et auditer les décisions de l'IA ?

Bonnes pratiques :

- Supervision humaine obligatoire pour les tâches critiques.
- Mise en place d'une charte d'usage de l'IAG.
- Définition de rôles et responsabilités clairs.

Durabilité et coûts cachés

Impact énergétique :

- Fine-tuning complet = forte consommation GPU et empreinte carbone.
- LoRA/PEFT = alternatives plus sobres, adaptées aux entreprises.

Coûts cachés :

- Facturation à l'usage (tokens, appels API).
- Dépendance à un fournisseur unique.

Message clé : arbitrer entre innovation, budget et responsabilité environnementale.

Conclusion et bonnes pratiques

Synthèse :

- Les enjeux de sécurité, confidentialité et éthique sont incontournables.
- La gouvernance doit accompagner toute intégration de l'IA.
- Commencer petit, superviser, documenter et auditer.

Bonne pratique : intégrer les aspects éthiques dès la conception des projets IA.

Merci de votre attention

redha.moulla@axia-conseil.com