



Chapitre 1 : introduction à l'intelligence artificielle de l'IA



SOMMAIRE

Chapitre 1 : introduction à l'intelligence artificielle de l'IA	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Champs d'application de l'IA.....	3
1.3 Champ d'application de l'IA en génie civil	3
1.4 Quelques définitions pour l'IA.....	5
1.4.1 Donnée, information, connaissance	5
a) Donnée.	5
b) Informations.....	5
c) Connaissance	5
1.4.2 Intelligence, raisonnement, rationalité.....	5
a) Intelligence.....	5
b) Raisonnement.	5
c) Rationalité.....	6
1.5 Évolution historique de l'IA.....	7
1.6 Introduction aux grands domaines de l'IA	7
1.6.1 Apprentissage automatique (Machine Learning).....	8
1.6.2 Apprentissage automatique (Deep Learning).....	9



Chapitre 1 : introduction à l'intelligence artificielle de l'IA

1.1 Introduction

L'intelligence artificielle (IA) est définie comme un ensemble de techniques et outils permettant à des machines de reproduire des comportements humains tels que le raisonnement, la planification ou la créativité. Ce concept, né dans les années 1950, vise à automatiser des tâches cognitives en utilisant des algorithmes souvent gourmands en données. L'IA englobe une grande diversité d'applications dans de nombreux secteurs.

Le but de ce chapitre est de faire une introduction sur l'intelligence artificielle en commençant par des définitions de base.

1.2 Champs d'application de l'IA

L'intelligence artificielle (IA) trouve des applications dans de nombreux secteurs, transformant les pratiques quotidiennes et professionnelles. Ses domaines d'utilisation couvrent la santé (exemple : l'IA aide à prédire les risques de maladie et à adapter les traitements à chaque patient, ..etc.) ; la finance (exemple : détection des fraudes : Les systèmes analysent en temps réel les transactions pour identifier des comportements suspects et déclencher des alertes), les transports (l'IA autonome les véhicules et la gestion du trafic en temps réel et réduisent les accidents), ainsi d'autres domaines comme agricultures (surveillance des cultures et prédiction des rendements via drones et capteurs), l'éducation (Personnalisation des apprentissages adaptatif et tuteurs virtuels), et Cybersécurité (exemple : détection proactive des menaces).

1.3 Champ d'application de l'IA en génie civil

En génie civil, les champs d'application de l'IA sont variés et en expansion rapide. L'intelligence artificielle (IA) transforme le génie civil en automatisant l'analyse de données complexes pour améliorer la sécurité et l'efficacité des infrastructures.

Ces applications incluent le BIM pour la visualisation des projets, l'optimisation des ressources, la maintenance prédictive des infrastructures et l'automatisation de la conception et de la planification, contribuant ainsi à une gestion durable, économique et sécurisée des projets de construction.



Figure 1. l'IA au service du génie civil.



L'IA en génie civil est un levier pour améliorer la productivité, la qualité des constructions, la sécurité des infrastructures, ainsi que le suivi et la gestion des ouvrages tout au long de leur cycle de vie. Voici des exemples concrets d'applications de l'intelligence artificielle (IA) en génie civil, montrant comment cette technologie transforme le domaine :

- ✓ Maintenance prédictive des infrastructures repose sur des capteurs intelligents collectant des données (vibrations, contraintes, humidité), analysées par l'IA afin de détecter les anomalies et d'anticiper les interventions. Couplée au BIM, elle permet d'optimiser la maintenance, de réduire les coûts et d'améliorer la sécurité des ouvrages.
- ✓ Évaluation des risques et de la sécurité sur chantier s'appuie sur l'IA pour analyser en temps réel les données issues de caméras ou de drones afin d'identifier les situations dangereuses et le non-respect des normes. Des simulations permettent également d'anticiper les scénarios d'urgence et d'améliorer la formation des travailleurs pour mieux gérer les risques (Figure 1).
- ✓ Optimisation de la planification et gestion des chantiers : L'IA génère et compare plusieurs scénarios de construction en tenant compte des coûts, délais, empreinte environnementale et contraintes techniques. Cela permet de choisir la stratégie la plus efficace et durable.
- ✓ Gestion écologique et des déchets : Grâce à l'IA, les données sur les matériaux et déchets produits sur les chantiers sont analysées pour réduire le gaspillage et améliorer la gestion des ressources naturelles, en proposant des alternatives plus écologiques.
- ✓ Analyse et conception assistées par IA : L'IA supporte la modélisation, la conception structurelle et l'analyse de données géotechniques pour améliorer la précision, réduire les erreurs et accélérer les processus décisionnels (Figure 2).

Ces usages illustrent comment l'IA apporte une meilleure efficacité, durabilité et innovation dans les projets de génie civil, du chantier aux infrastructures existantes.



Figure 2. *l'IA au service du chantier.*



Figure 3. *l'IA au service de la conception des constructions.*



1.4 Quelques définitions pour l'IA

1.4.1 Donnée, information, connaissance :

a) Donnée : Une donnée est le résultat direct d'une mesure. Elle peut être collectée par un outil de supervision, par une personne ou être déjà présente dans une base de données par ex. Une donnée seule ne permet pas de prendre une décision sur une action à lancer.

Par exemple, pour le mois dernier, les données suivantes ont été relevées :

- 1 217 incidents enregistrés au centre de services
- 98 changements ont été mis en production

b) Informations : Une information est une donnée à laquelle un sens et une interprétation ont été donnés. Une information permet de prendre une décision (d'échelle locale ou à petite échelle) sur une action à mener.

Exemple : les données précédentes sont interprétées de la manière suivante :

- Augmentation de 240 % du nombre d'incidents par rapport au mois précédent
- Augmentation de 15 % du nombre de changements mis en production par rapport au mois précédent.

c) Connaissance : La connaissance résulte d'une analyse approfondie des informations, combinée à l'expérience, à l'expertise, aux valeurs et aux échanges avec d'autres spécialistes. Elle permet une prise de décision stratégique et éclairée, fondée sur le savoir individuel et collectif.

1.4.2 Intelligence, raisonnement, rationalité :

a) Intelligence : l'intelligence est un concept très difficile à saisir. La définition de l'intelligence varie selon que l'on privilégie sa nature, sa manifestation ou son résultat. Pour le champ de l'intelligence artificielle, on peut retenir que « L'intelligence est la capacité d'un agent (humain ou artificiel) à percevoir son environnement, à raisonner sur les informations perçues et à agir de manière adaptative pour atteindre des objectifs spécifiques, en particulier dans des situations nouvelles ou incertaines ». Ou bien, on peut dire aussi « L'intelligence est la Capacité à percevoir un environnement et à agir rationnellement et de manière adaptative sur celui-ci.

b) Raisonnement : le Processus qui permet de générer de nouvelles connaissances ou de prendre des décisions à partir de connaissances existantes, par des mécanismes d'inférence (déduction, induction, abduction).

Déduction : $(p \wedge (p \rightarrow q)) \Rightarrow (q)$

Abduction : $(q \wedge (p \rightarrow q)) \Rightarrow \text{peut-être } (p)$

Induction : $p(A) \rightarrow q, p(B) \rightarrow q, \dots \Rightarrow \forall x (p(x) \rightarrow q)$

Déduction

Forme logique : $(p \wedge (p \rightarrow q)) \Rightarrow q$

Interprétation : En déduction, on arrive à une conclusion assurée en se fondant sur des énoncés véritables.

Si la proposition p est vraie, et si p implique q , alors q est nécessairement vraie.



Exemple :

- p : « Le matériau est soumis à une charge élevée »
- $p \rightarrow q$: « Si le matériau est soumis à une charge élevée, alors il se déforme »
- **Conclusion (q)** : « Le matériau se déforme »

→ La conclusion est logiquement garantie

Abduction

Forme logique : $(q \wedge (p \rightarrow q)) \Rightarrow \text{peut-être } p$

Interprétation : L'abduction est un raisonnement par **hypothèse**. On observe un effet (q) et, connaissant une règle ($p \rightarrow q$), on suppose que p pourrait être la cause.

Exemple :

- q : « Une fissure est observée »
- $p \rightarrow q$: « Si le béton est mal curé, alors des fissures apparaissent »
- **Hypothèse (p)** : « Le béton a peut-être été mal curé »

→ La conclusion est **plausible**, mais non certaine.

Induction

Forme logique : $p(A) \rightarrow q, p(B) \rightarrow q, \dots \Rightarrow \forall x (p(x) \rightarrow q)$

Interprétation : L'induction généralise une règle à partir d'observations répétées. Si, pour plusieurs cas particuliers, p entraîne q , on infère qu'en général p entraîne q .

Exemple :

- Pour plusieurs échantillons de sol (A, B, C) :
 - « Si le sol est argileux (p), alors le tassement est élevé (q) »
- Conclusion générale :
 - « Pour tout sol argileux, le tassement est élevé »

→ La conclusion est **probable**, mais pas absolument certaine.

En résumé :

Type	Forme logique	Certitude de la conclusion	Exemple
Déduction	$(p \wedge (p \rightarrow q)) \Rightarrow q$	Certain	Le matériau se déforme si soumis à une charge élevée
Abduction	$(q \wedge (p \rightarrow q)) \Rightarrow \text{peut-être } p$	Plausible	Fissure observée → béton mal curé (possibilité)
Induction	$p(A) \rightarrow q, \dots \Rightarrow \forall x (p(x) \rightarrow q)$	Probable	Sol argileux → tassement élevé (en général)

c) Rationalité : Un système est rationnel s'il opère de manière appropriée compte tenu de ce qu'il sait. Le principe selon lequel un agent (intelligent) choisit les actions les plus appropriées pour atteindre ses objectifs, compte tenu de ses connaissances et de ses croyances. Un système rationnel maximise son espérance de succès.



1.5 Évolution historique de l'IA

Contrairement à une idée largement répandue, l'intelligence artificielle ne constitue pas une technologie récente. Les premiers travaux fondateurs en robotique et en intelligence artificielle remontent aux années 1950, tandis que les premières applications conversationnelles, appelées *chatbots*, apparaissent dès les années 1960.

Si l'IA n'a connu un développement et une adoption à grande échelle que relativement récemment, cette évolution tardive s'explique principalement par les **limitations matérielles et infrastructurelles** du passé, notamment la faible puissance de calcul, la capacité de stockage réduite et la disponibilité limitée des données.

À partir de 2020, l'émergence des **modèles génératifs** et des **grands modèles de langage (LLM)** marque une nouvelle phase de maturité, caractérisée par une **démocratisation rapide** et une **intégration massive de l'intelligence artificielle dans les usages quotidiens**, tant professionnels que grand public (voir Figure 3).

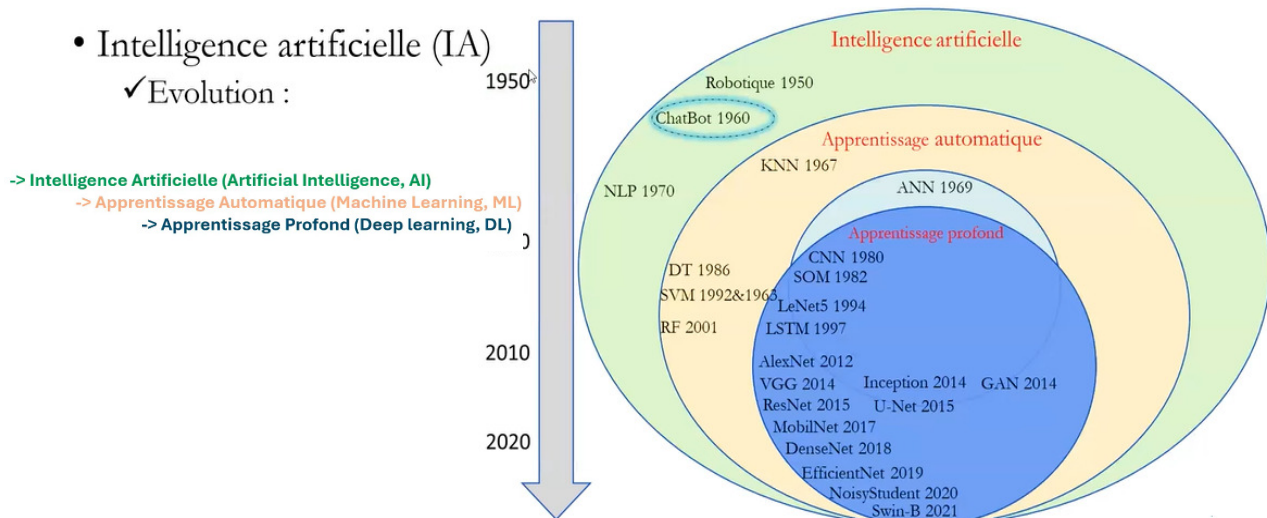


Figure 3. Évolution historique de l'intelligence artificielle depuis les premiers travaux fondateurs des années 1940 jusqu'à l'émergence récente des modèles d'apprentissage profond et de l'IA générative.

1.6 Introduction aux grands domaines de l'IA

L'Intelligence Artificielle (IA) est un domaine multidisciplinaire et plus large visant à créer des systèmes capables de réaliser des tâches qui nécessitent normalement l'intelligence humaine.

L'intelligence artificielle repose sur deux fondements principaux : l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond, ce dernier étant un aspect plus avancé du premier (Figure 4). Le Machine Learning offre aux algorithmes la capacité d'apprendre à partir de données pour effectuer des prédictions ou des classifications sans nécessiter de programmation précise, tandis que le Deep Learning utilise des réseaux neuronaux à plusieurs boucles ou couches pour analyser des données complexes telles que des images ou des textes.

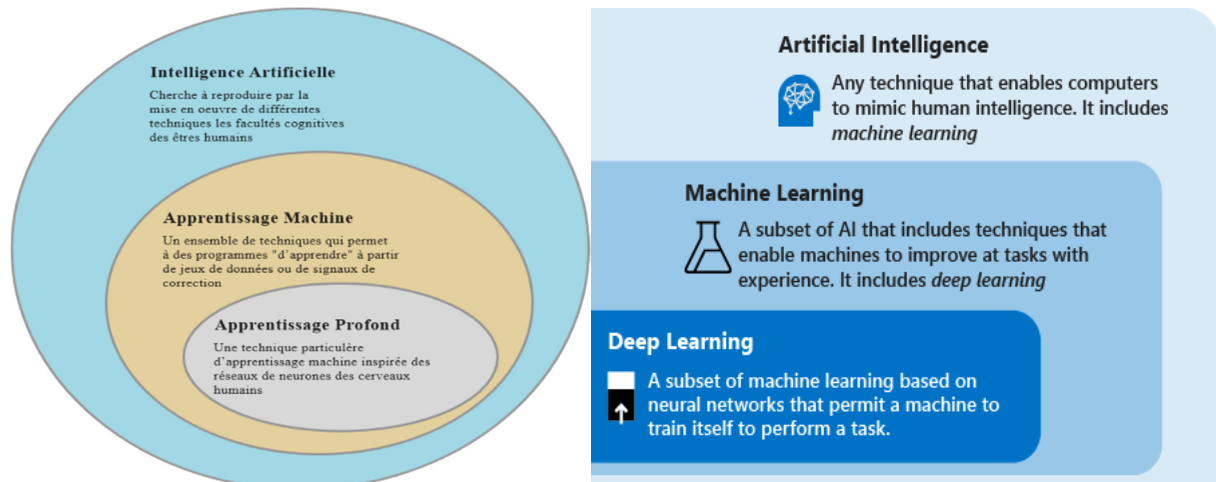


Figure 4. L'intelligence artificielle et ses grandes domaines (Machine and Deep Learning).

1.6.1 Apprentissage automatique (Machine Learning)

Le **Machine Learning (ML)** est une branche de l'intelligence artificielle qui permet à des systèmes d'apprendre à partir de données, de raisonner et de prendre des décisions de manière autonome. Le fonctionnement repose sur trois éléments clés : un algorithme, des données en entrée (variables) et des exemples étiquetés pour l'apprentissage. Le modèle s'entraîne en ajustant ses paramètres jusqu'à ce que ses prédictions correspondent aux réponses attendues, puis il peut traiter des problèmes plus complexes avec davantage de données.

Les données étant essentielles à la compétitivité des algorithmes, le ML joue un rôle stratégique pour valoriser ces données, améliorer l'expérience et guider des décisions éclairées.

Champs d'applications principales du Machine Learning :

- **Industrie** : maintenance prédictive
- **Commerce** : ventes croisées et marketing personnalisé
- **Santé** : diagnostic et gestion des risques
- **Tourisme** : tarification dynamique
- **Finance** : analyse des risques
- **Énergie** : optimisation de la production et de la demande
- **Génie civil** :
 - **Structures** : Le Machine Learning est utilisé pour améliorer la conception, l'analyse et la maintenance des structures civiles. Il permet notamment la prédiction du comportement structural (déplacements, contraintes, fissuration). L'optimisation des structures en termes de coût, de sécurité et de durabilité...etc.
 - **Matériaux de construction** : Dans le domaine des matériaux, le Machine Learning facilite la modélisation de comportements complexes difficiles à décrire analytiquement, ainsi la prédiction des propriétés mécaniques (résistance à la compression, traction, module d'élasticité). L'Optimisation des formulations de béton, enrobés et matériaux composites...etc.



- **Géotechnique** : Le Machine Learning est largement employé pour traiter l'incertitude et la variabilité des sols, classification et caractérisation des sols à partir d'essais in situ et en laboratoire...etc.

1.6.2 Apprentissage automatique (Deep Learning)

Le Deep Learning (DL), ou apprentissage profond, est une branche avancée du Machine Learning qui utilise des réseaux de neurones artificiels à multiples couches. Ces réseaux imitent le fonctionnement du cerveau humain en transformant les données d'entrée en représentations de plus en plus complexes et abstraites. Par exemple, pour une image, les premières couches détectent les bords, puis les formes, les parties d'objets, et enfin les objets entiers.

L'apprentissage repose sur un processus itératif qui ajuste les paramètres du réseau pour minimiser les erreurs entre ses prédictions et les données réelles. Cela nécessite de vastes jeux de données et une puissance de calcul importante. Le DL excelle particulièrement pour traiter des données non structurées (images, sons, texte) et volumineuses, sans nécessiter une extraction manuelle des caractéristiques. Il permet ainsi d'atteindre une précision élevée dans des tâches complexes.

Champs d'applications principales du Deep Learning :

- **Santé** : Diagnostic par imagerie médicale (IRM, radiographies).
- **Industrie** : Inspection automatique et détection de défauts.
- **Finance** : Analyse de sentiments pour le trading algorithmique.
- **Commerce** : Recommandations personnalisées et reconnaissance d'objets.
- **Autres domaines** : Véhicules autonomes, traduction automatique, génération d'images.
- **Génie civil** :
 - **Structures** : Le Deep Learning est particulièrement adapté à l'analyse de données massives issues de capteurs, d'images ou de signaux, détection automatique de dommages (fissures, corrosion, déformations) à partir d'images ou de vidéos (réseaux de neurones convolutifs - CNN), surveillance structurale en temps réel (Structural Health Monitoring) à partir de signaux vibratoires, Ainsi la Prédiction du comportement non linéaire des structures...etc.
 - **Matériaux de construction** : Le DL permet de modéliser des relations très complexes entre la composition des matériaux et leurs performances comme la prédiction avancée des propriétés mécaniques (compression, traction, module d'élasticité), analyse microstructurale à partir d'images (SEM, tomographie) ou l'optimisation des formulations de béton et matériaux innovants...etc.
 - **Géotechnique** : Grâce à sa capacité à traiter des données hétérogènes et incertaines, le DL est très utile en géotechnique comme la reconnaissance et classification des sols à partir d'essais in situ (CPT, SPT), la prédiction des tassements et de la capacité portante des fondations, ainsi l'analyse de stabilité des pentes ...etc.