

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Des fondements théoriques aux bases de données vectorielles

Auteur : KOULOU crepin
Département de Data Science

8 janvier 2026

Résumé

Ce rapport présente une analyse approfondie de l'état actuel de l'Intelligence Artificielle. Nous explorerons d'abord les fondements mathématiques de l'apprentissage automatique (Machine Learning) et des réseaux de neurones profonds (Deep Learning). Une attention particulière sera portée aux développements récents concernant les Grands Modèles de Langage (LLM) et l'infrastructure critique qui les soutient, notamment les bases de données vectorielles (FAISS, ChromaDB, Qdrant) et les mécanismes de similarité. Enfin, nous aborderons les défis éthiques et les perspectives d'avenir.

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	Contexte Historique	2
1.2	Définitions et Typologie	2
2	Fondements Mathématiques du Machine Learning	4
2.1	L'Apprentissage Supervisé	4
2.2	Réseaux de Neurones et Rétropropagation	4
3	Deep Learning et Architecture Moderne	6
3.1	Les Réseaux de Neurones Convolutifs (CNN)	6
3.2	Les Transformers et le Mécanisme d'Attention	6
4	Infrastructure de l'IA : Embeddings et Bases Vectorielles	8
4.1	Le Concept d'Embedding (Plongement Lexical)	8
4.2	Mesure de la Similarité	8
4.3	Les Bases de Données Vectorielles	8
4.3.1	Comparatif Technique	9
4.3.2	Exemple d'implémentation (Python)	9
5	Défis Éthiques et Avenir	11
5.1	Biais Algorithmiques et Équité	11
5.2	Régulation (AI Act)	11
6	Conclusion	12

Chapitre 1

Introduction

L’Intelligence Artificielle (IA) a cessé d’être un concept de science-fiction pour devenir une force motrice de l’économie mondiale.

1.1 Contexte Historique

Depuis le test de Turing jusqu’à l’avènement de ChatGPT, l’évolution a été exponentielle. Les premiers systèmes experts ont laissé place aux réseaux de neurones. L’intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d’apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d’apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d’apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L’intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d’apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d’apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d’apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

1.2 Définitions et Typologie

Il convient de distinguer l’IA faible (ANI), spécialisée dans une tâche, de l’IA forte (AGI), hypothétique et capable de généralisation humaine. L’intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d’apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d’apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des

informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distract par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

Chapitre 2

Fondements Mathématiques du Machine Learning

L'IA repose avant tout sur l'optimisation mathématique et les statistiques avancées.

2.1 L'Apprentissage Supervisé

Dans un cadre de régression ou de classification, nous cherchons à minimiser une fonction de coût (Loss Function).

Soit un jeu de données $D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$. Pour un modèle linéaire $f(x) = w^T x + b$, nous cherchons à minimiser l'erreur quadratique moyenne (MSE) :

$$J(w, b) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - (w^T x_i + b))^2 \quad (2.1)$$

L'algorithme de descente de gradient permet de mettre à jour les poids w de manière itérative :

$$w \leftarrow w - \alpha \nabla_w J(w, b) \quad (2.2)$$

où α représente le taux d'apprentissage (learning rate), un hyperparamètre crucial.

2.2 Réseaux de Neurones et Rétropropagation

Un neurone artificiel applique une fonction d'activation non linéaire σ (comme ReLU ou Sigmoid) :

$$a^{[l]} = \sigma(W^{[l]} a^{[l-1]} + b^{[l]}) \quad (2.3)$$

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distraite par du latin. Les avancées technologiques récentes,

notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

Chapitre 3

Deep Learning et Architecture Moderne

3.1 Les Réseaux de Neurones Convolutifs (CNN)

Utilisés principalement en vision par ordinateur pour la reconnaissance d'images. L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

3.2 Les Transformers et le Mécanisme d'Attention

L'innovation majeure de l'article fondateur de 2017 a révolutionné le traitement du langage naturel (NLP). L'attention se calcule ainsi :

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V \quad (3.1)$$

Cette architecture permet de paralléliser les calculs, contrairement aux réseaux récurrents (RNN) précédents. L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque

tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

Chapitre 4

Infrastructure de l'IA : Embeddings et Bases Vectorielles

C'est ici que réside le cœur des systèmes RAG (Génération Augmentée par la Réécupération) modernes.

4.1 Le Concept d'Embedding (Plongement Lexical)

Les embeddings transforment des données non structurées (texte, image, son) en vecteurs denses de dimension d . L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

4.2 Mesure de la Similarité

Comme vu précédemment, la similarité cosinus est la métrique standard pour évaluer la proximité sémantique :

$$\text{sim}(A, B) = \cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2}} \quad (4.1)$$

4.3 Les Bases de Données Vectorielles

Pour gérer des millions de vecteurs, des solutions spécialisées sont nécessaires. Les bases de données relationnelles classiques (SQL) ne sont pas optimisées pour ce type de calcul.

4.3.1 Comparatif Technique

- **FAISS (Meta)** : Bibliothèque bas niveau, optimisée pour la recherche par similitude dense et le clustering. Utilise l'indexation IVF.
- **ChromaDB** : Solution open-source conviviale pour les développeurs, idéale pour les applications LLM légères et le prototypage.
- **Pinecone / Qdrant** : Solutions gérées (SaaS) ou robustes (Rust) pour la production à grande échelle.

4.3.2 Exemple d'implémentation (Python)

Voici comment on initialise une recherche simple avec la librairie ChromaDB :

```

1 import chromadb
2
3 # Initialisation du client (en mémoire pour l'exemple)
4 client = chromadb.Client()
5 collection = client.create_collection("mon_dataset_ia")
6
7 # Ajout de documents (texte brut + métadonnées)
8 collection.add(
9     documents=["L'IA vectorielle est puissante", "Le chat mange des
10     croquettes"],
11     metadatas=[{"source": "cours"}, {"source": "vie"}],
12     ids=["id1", "id2"]
13 )
14
15 # Recherche sémantique (Le plus proche voisin)
16 results = collection.query(
17     query_texts=["Base de données vecteur"],
18     n_results=1
19 )

```

Listing 4.1 – Exemple de code ChromaDB pour la recherche sémantique

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

Chapitre 5

Défis Éthiques et Avenir

5.1 Biais Algorithmiques et Équité

Les modèles d'IA peuvent reproduire, voire amplifier, les biais présents dans leurs données d'entraînement. L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

5.2 Régulation (AI Act)

L'Union Européenne et d'autres instances travaillent sur des cadres légaux. L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distrait par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

Chapitre 6

Conclusion

En conclusion, l'intelligence artificielle traverse une phase de maturation industrielle. L'intégration des bases de données vectorielles comme mémoire à long terme pour les LLM ouvre la voie à des agents autonomes plus performants et contextuels. L'intelligence artificielle est un domaine en pleine expansion qui transforme profondément notre société. Les algorithmes d'apprentissage automatique permettent aux ordinateurs d'apprendre à partir de données sans être explicitement programmés pour chaque tâche. Dans ce contexte, les réseaux de neurones profonds et les bases de données vectorielles jouent un rôle crucial pour traiter des informations non structurées. Ce paragraphe sert de remplissage pour simuler le volume de texte du rapport final, permettant d'apprécier la mise en page sans être distract par du latin. Les avancées technologiques récentes, notamment les architectures Transformers, ont ouvert la voie aux modèles de langage massifs (LLM).

Bibliographie

- [1] Vaswani, A., et al. (2017). *Attention Is All You Need* (L'attention est tout ce dont vous avez besoin). Advances in Neural Information Processing Systems.
- [2] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). *Deep learning* (L'apprentissage profond). Nature, 521(7553), 436-444.
- [3] Johnson, J., Douze, M., & Jégou, H. (2017). *Billion-scale similarity search with GPUs* (Recherche de similarité à l'échelle du milliard avec GPU). IEEE Transactions on Big Data.