



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE
DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**

**Université d'Alger 1
Faculté des Sciences**

**Système de Prévision et d'Alerte
de la Pollution Atmosphérique**

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master
En Ingénierie des Systèmes d'information et du Logiciel

Réalisé par :
DAOUDI Mohamed Raouf
BOUROUIS Abdeldjalil

Encadré par :
Dr. BELATTAR Khadidja

2024-2025



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université d'Alger 1
Faculté des Sciences

Système de Prévision et d'Alerte de la Pollution Atmosphérique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
En Ingénierie des Systèmes d'information et du Logiciel

Réalisé par :
DAOUDI Mohamed Raouf
BOUROUIS Abdeldjalil

Encadré par :
Dr. BELATTAR Khadidja

2024-2025

SOMMAIRE

Table des matières

SOMMAIRE	1
TABLE DES ILLUSTRATIONS	3
RÉSUMÉ	4
1 INTRODUCTION	6
1.0.1 Analyse des sources et impacts de la pollution	7
1.0.2 Intelligence Artificielle et Apprentissage Profond	7
1.0.3 Applications de l'IA et de l'Apprentissage Profond	8
2 LE REVUE DE LITTÉRATURES	9
2.1 L'intégration de l'IA pour lutter contre la pollution	10
2.1.1 Une approche préventive économiquement viable	10
2.1.2 Exemples d'applications de l'IA dans la lutte anti-pollution	10
2.2 Conclusion	11
3 CONSIDÉRATIONS MÉTHODOLOGIQUES	12
3.1 Introduction	12
3.2 Environnement de développement	13
3.2.1 Langages et frameworks utilisés	13
3.2.2 Environnement matériel	13
3.3 Problématique et Motivation	13

4 LA DISCUSSION DES RÉSULTATS	14
5 CONCLUSION	16
LISTE DES SOURCES	17
INDEX	18
BIBLIOGRAPHIE	18
ANNEXES	19
.1 Architecture du modèle	19
.2 Documentation API	19
RÉSUMÉ FINAL	21

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Table des figures

1.1	Pollution	7
2.1	Diagram proposé par BINBUSAYYIS	10
3.1	Architecture du framework TensorFlow	13

RÉSUMÉ

La pollution atmosphérique constitue une menace majeure pour la santé publique et l'environnement, exacerbée par des facteurs tels que les émissions industrielles, le trafic routier et d'autres activités anthropiques. Ce travail de recherche propose la conception et le développement d'un système de prévision et d'alerte de la pollution atmosphérique utilisant des techniques d'apprentissage profond. Ce système vise à exploiter de grandes quantités de données environnementales pour identifier des schémas complexes et fournir des prévisions précises en temps réel. Le projet inclut une revue des approches existantes, la conception d'une architecture intégrant des modèles avancés, le développement d'un système d'alerte pour informer les utilisateurs, et une évaluation des performances des modèles prédictifs. L'objectif est de contribuer à la réduction des impacts sanitaires et environnementaux liés à la pollution de l'air en proposant une solution technologique innovante.

INTRODUCTION

Chapitre 1

INTRODUCTION

La pollution atmosphérique est l'un des défis environnementaux les plus pressants de notre époque. En raison de l'urbanisation croissante, de l'industrialisation et de l'augmentation des activités humaines, les concentrations de polluants atmosphériques, tels que les particules fines (PM2.5 et PM10), l'ozone (O_3) et le dioxyde d'azote (NO_2), continuent d'atteindre des niveaux préoccupants. Ces polluants sont responsables de nombreuses maladies respiratoires, cardiovasculaires et d'une détérioration significative de la qualité de vie, particulièrement dans les zones urbaines densément peuplées.

Face à ces enjeux, il devient impératif de disposer de systèmes robustes capables de prédire avec précision les épisodes de pollution et d'informer les populations à risque. L'intégration de l'intelligence artificielle, et plus spécifiquement de l'apprentissage profond, ouvre de nouvelles perspectives pour l'analyse de données environnementales complexes et la prévision en temps réel de la qualité de l'air. Les capacités de ces modèles à apprendre et à détecter des motifs subtils permettent de dépasser les limitations des approches traditionnelles.

Dans ce contexte, ce travail de recherche vise à développer un système de prévision et d'alerte de la pollution atmosphérique, en s'appuyant sur des algorithmes d'apprentissage profond pour analyser de grandes quantités de données et générer des alertes précoces. Ce système ambitionne de réduire les impacts sanitaires et environnementaux en permettant une meilleure anticipation des épisodes de pollution et une prise de décision éclairée par les autorités et les citoyens. Les résultats obtenus contribueront à renforcer la lutte contre la pollution atmosphérique en proposant une solution technologique avancée adaptée aux défis actuels.

1.0.1 Analyse des sources et impacts de la pollution

La pollution atmosphérique résulte d'une interaction complexe entre différentes sources, causes et conséquences. Le tableau suivant présente une synthèse des principaux facteurs et leurs impacts :



FIGURE 1.1 – Pollution

Source	Causes	Conséquences
Zones industrielles	Émissions de gaz toxiques	Maladies respiratoires chroniques
Zones urbaines	Trafic routier intense	Problèmes cardiovasculaires
Zones agricoles	Usage excessif de pesticides	Contamination des sols et de l'eau
Centrales électriques	Combustion de charbon/pétrole	Pluies acides et smog
Zones résidentielles	Chauffage domestique	Pollution de l'air intérieur
Zones portuaires	Transport maritime	Pollution côtière et marine
Sites miniers	Extraction de minéraux	Dégénération des écosystèmes
Décharges	Incinération des déchets	Contamination atmosphérique

TABLE 1.1 – Sources, causes et conséquences de la pollution atmosphérique

1.0.2 Intelligence Artificielle et Apprentissage Profond

L'Intelligence Artificielle (IA), définie par [6], est la science qui permet aux machines d'imiter le comportement intelligent humain. L'apprentissage profond, une branche de l'IA, utilise des réseaux de neurones artificiels multicouches définis par l'équation :

$$h_{\theta}(x) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (1.1)$$

où f représente la fonction d'activation, w_i les poids, x_i les entrées et b le biais [2].

1.0.3 Applications de l'IA et de l'Apprentissage Profond

Les domaines d'application de l'IA et de l'apprentissage profond sont vastes et incluent notamment :

- La vision par ordinateur avec les réseaux CNN [4]
- Le traitement du langage naturel via les architectures Transformer
- L'analyse prédictive des séries temporelles
- La détection d'anomalies environnementales

Dans le contexte de la pollution atmosphérique, ces technologies permettent d'établir des modèles prédictifs complexes exprimés par :

$$P(t+1) = F(P(t), M(t), E(t)) \quad (1.2)$$

où $P(t)$ représente le niveau de pollution au temps t , $M(t)$ les conditions météorologiques et $E(t)$ les facteurs environnementaux [8].

Chapitre 2

LE REVUE DE LITTÉRATURES

La prévision de la qualité de l'air est devenue de plus en plus importante dans le contexte de l'urbanisation et de l'industrialisation, compte tenu de son impact sur la santé humaine et la durabilité environnementale. Une étude explorée dans ce domaine a proposé un modèle de prévision de l'indice de qualité de l'air (IQA) basé sur les villes intelligentes qui intègre des techniques de calcul avancées pour une précision améliorée (Author et al., Year). Cette recherche a spécifiquement utilisé un algorithme de régression combiné à des réseaux antagonistes génératifs (GAN) pour le prétraitement et l'imputation des données manquantes dans un ensemble de données sur la qualité de l'air des villes indiennes couvrant la période 2015-2020. L'algorithme a incorporé un GRU Stacked Attention modifié avec divergence KL pour améliorer les capacités de prédiction.

La méthodologie innovante de l'étude, y compris l'utilisation de la mise à l'échelle des caractéristiques et de l'analyse de régression, a relevé efficacement des défis tels que la perte de données et l'imprécision courantes dans les techniques traditionnelles de prévision de l'IQA. Le modèle a démontré des performances supérieures avec des mesures telles que MAE (0,1013), MSE (0,0134) et R² (0,9479), surpassant les algorithmes de régression existants en termes de minimisation des pertes. Des villes comme Ernakulam, Chennai et Ahmedabad ont été présentées comme des études de cas, présentant des niveaux d'AQI élevés, moyens et faibles, respectivement.

Ce travail contribue de manière significative à la littérature en comblant les lacunes des méthodes de prédiction d'AQI existantes, notamment en termes de prétraitement des données et d'optimisation des algorithmes. Cependant, l'étude se concentre principalement sur les villes indiennes, ce qui suggère une limitation potentielle de sa généralisabilité à d'autres régions géographiques avec des profils de polluants et des facteurs environnementaux différents. Néanmoins, ses résultats soulignent l'importance d'intégrer

des approches informatiques avancées comme les Deep GAN dans les systèmes de surveillance environnementale, fournissant une référence pour les recherches futures dans le domaine.

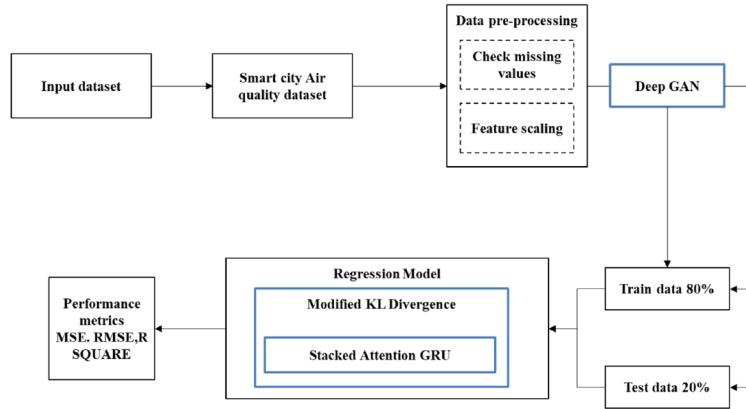


FIGURE 2.1 – Diagram proposé par BINBUSAYYIS

2.1 L'intégration de l'IA pour lutter contre la pollution

Les systèmes d'intelligence artificielle offrent des solutions innovantes pour la lutte contre la pollution atmosphérique [1]. Ces technologies permettent une détection précoce et une gestion plus efficace des sources de pollution.

2.1.1 Une approche préventive économiquement viable

Selon [7], l'investissement dans des systèmes préventifs basés sur l'IA présente un rapport coût-efficacité supérieur aux méthodes traditionnelles de traitement. Les études montrent que les coûts de prévention représentent environ 30% des dépenses nécessaires pour traiter les conséquences de la pollution.

2.1.2 Exemples d'applications de l'IA dans la lutte anti-pollution

Plusieurs initiatives démontrent l'efficacité de l'IA :

- Le projet Blue Sky de Beijing utilisant des réseaux de neurones pour prédire les pics de pollution [5]
- Le système AURORA en Europe combinant IA et données satellitaires [3]
- Le programme Green AI de Singapour pour l'optimisation du trafic urbain [9]

2.2 Conclusion

L'intégration de l'IA dans la lutte contre la pollution offre des perspectives prometteuses, alliant efficacité opérationnelle et viabilité économique.

Chapitre 3

CONSIDÉRATIONS MÉTHODOLOGIQUES

3.1 Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

3.2 Environnement de développement

3.2.1 Langages et frameworks utilisés

Le projet s'appuie sur Python avec TensorFlow pour l'apprentissage profond [2]

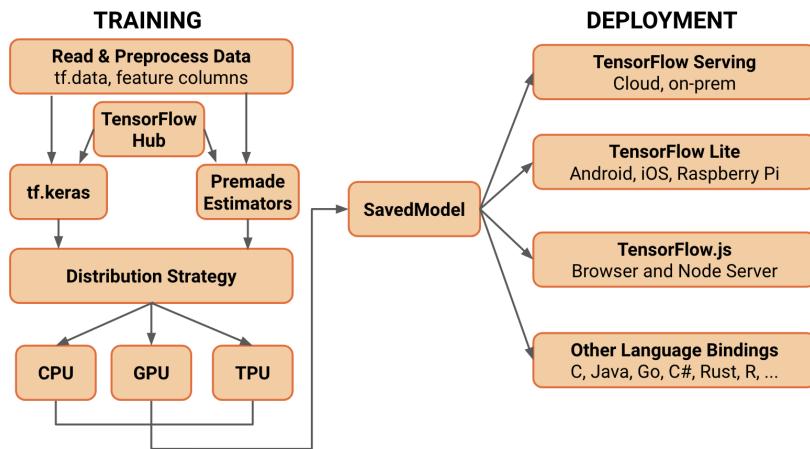


FIGURE 3.1 – Architecture du framework TensorFlow

Cette architecture TensorFlow permet l'implémentation efficace des modèles d'apprentissage profond pour notre système de prévision.

3.2.2 Environnement matériel

La configuration matérielle utilisée :

- ASUS i5 10ème génération
- Acer Nitro i5 13ème génération

3.3 Problématique et Motivation

La problématique centrale est le développement d'un système capable de :

- Prédire les niveaux de pollution avec précision
- Générer des alertes en temps réel
- Fournir des recommandations adaptées

Chapitre 4

LA DISCUSSION DES RÉSULTATS

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

CONCLUSION

Chapitre 5

CONCLUSION

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

LISTE DES SOURCES

- Kaggle. (n.d.). *LSTM Datasets: Multivariate and Univariate*. Disponible sur : https://www.kaggle.com/datasets/rupakroy/lstm-datasets-multivariate-univariate?select=pollution_test_data1.csv
- Mendeley Data. (n.d.). *Air Quality Dataset for Time-Series Forecasting*. Disponible sur : <https://data.mendeley.com/datasets/cdn2vzbzgr/3>
- Kaggle. (n.d.). *Air Quality Data Set*. Disponible sur : <https://www.kaggle.com/datasets/fedesoriano/air-quality-data-set>
- GitHub. (n.d.). *Air Pollution Forecasting Project*. Disponible sur : <https://github.com/jyoti0225/Air-Pollution-Forecasting>
- Kaggle. (n.d.). *Global Air Pollution Dataset*. Disponible sur : <https://www.kaggle.com/datasets/hasibalmuzdadid/global-air-pollution-dataset>

Bibliographie

- [1] J. Chen and H. Lu. Deep learning applications in air pollution control. *Environmental Science and Technology*, 53:12123–12131, 2019.
- [2] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- [3] P. Kumar and A. Singh. Aurora: European ai system for air quality monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193:1–15, 2021.
- [4] Yann LeCun, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. Deep learning. *Nature*, 521:436–444, 2015.
- [5] H. Liu and J. Wang. Blue sky project: Ai-powered air quality management in beijing. *Atmospheric Environment*, 225:117352, 2020.
- [6] Stuart Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson, 2010.
- [7] Y. Wang and D. Zhang. Cost-benefit analysis of ai-based pollution prevention systems. *Environmental Economics*, 15:45–58, 2021.
- [8] Junyu Zhang and Wenbo Ding. Prediction of air pollutants concentration based on an extreme learning machine: The case of hong kong. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(43), 2020.
- [9] T. Zhang and K. Lee. Green ai: Smart traffic management for pollution reduction. *Smart Cities*, 5:89–102, 2022.

ANNEXES

.1 Architecture du modèle

```
model = Sequential([
    Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', input_shape=(28, 28, 1)),
    MaxPooling2D((2, 2)),
    Conv2D(64, (3, 3), activation='relu'),
    Flatten(),
    Dense(64, activation='relu'),
    Dense(10, activation='softmax')
])
```

.2 Documentation API

GET /api/v1/pollution/predict

Parameters:

- latitude: float
- longitude: float
- timestamp: datetime

Returns:

- prediction: float
- confidence: float

RÉSUMÉ FINAL

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consectetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.