



Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique
Département de Mathématiques et informatique

Filière : Informatique

MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique
Option : **Intelligence Artificielle pour l'internet des objets (IA4IoT)**

THÈME :

**ITS AI: Développement d'un Système de Transport Public
Multimodal Intelligent Basé sur l'IA**

Présenté par :

BENBACHIR Ayoub

HIBER Neda Ikhlas

Soutenu le : 02/07/2024

Devant le jury composé de :

DR.ABDALLAH BENSALLOUA Charef	Université de Mostaganem	Président
MR.KHELIFA Noredine	Université de Mostaganem	Examineur
DR.MIDOUN Mohamed	Université de Mostaganem	Encadreur

Année Universitaire 2023-2024

Résumé

Ce projet est mené dans le cadre de l'Arrêté ministériel n°1275 : Création de valeurs.

L'objectif est de développer une solution informatique (ITSAI) qui intègre des modèles prédictifs pour les flux de transport multimodaux, des itinéraires optimisés pour les usagers des transports publics, ainsi qu'une meilleure compréhension des schémas de mobilité dans les environnements urbains complexes. Les résultats auront un impact significatif sur l'amélioration de l'efficacité des transports publics, réduisant les temps de trajet des usagers, diminuant les émissions de gaz à effet de serre et contribuant ainsi à la création de villes plus durables et conviviales.

Le plan de travail comprend la collecte et la préparation des données, le développement des modèles d'intelligence artificielle, la validation et l'optimisation des algorithmes, ainsi que des tests sur des scénarios réels de transport multimodal. Une approche itérative permettra d'affiner les modèles en fonction des retours d'expérience, assurant ainsi leur pertinence et leur précision.

Mots-clés :

ITS : Systèmes de Transport Intelligents, IA : Intelligence Artificielle, ITSAI : start-up .

Abstract

This project is undertaken under Ministerial Decree No. 1275: Creating Value.

The goal is to develop an IT-based solution (ITSAI) that includes predictive models for multimodal transportation flows, optimized routes for public transportation users, and a better understanding of mobility patterns in complex urban environments. The results will have a significant impact on improving public transportation efficiency, reducing travel times for users, decreasing greenhouse gas emissions, and contributing to the creation of more sustainable and livable cities.

The work plan includes data collection and preparation, development of AI models, validation and optimization of algorithms, and testing on real multimodal transportation scenarios. An iterative approach will allow us to refine the models based on feedback, ensuring their relevance and accuracy.

Keywords

ITS : Intelligent Transport System., AI : Artificiel Intelligence, ITSAI : start-up.

ملخص

يعمل هذا المشروع بموجب القرار الوزاري رقم 1275.

لإنشاء حل لتكنولوجيا المعلومات، تتضمن مخرجاته نماذج تنبؤية لتدفقات النقل متعدد الوسائط، والطرق الأمثل لمستخدمي النقل العام بالإضافة إلى فهم أفضل لأنماط التنقل في البيئات الحضرية المعقدة، وسيكون لهذه النتائج تأثير كبير على تحسين كفاءة وسائل النقل العام مما يقلل من أوقات السفر. للمستخدمين، والحد من انبعاثات الغازات الدفيئة وبالتالي المساهمة في إنشاء مدن أكثر استدامة وسهولة الاستخدام. وسيضمن جدول العمل جمع وإعداد تطوير البيانات والتحقق من صحة نماذج الذكاء الاصطناعي وتحسين الخوارزميات بالإضافة إلى اختبارات على سيناريوهات النقل الحقيقي متعدد الوسائط. وسيتيح النهج التكراري تحسين النماذج بناءً على التعليقات، وبالتالي ضمان ملاءمتها ودقتها

كلمات مفتاحية

أنظمة النقل الذكية , ذكاء اصطناعي , شركة ناشئة.

Dédicaces

Je Dédie ce travail à :

Mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

Mes grands-parents, pour leur sagesse, leurs encouragements constants et l'exemple qu'ils représentent., et leur soutien moral,

Toute ma famille et mes amis et tous ceux qui ont cru en moi et m'ont inspiré à atteindre cet objectif.

Ayoub

Dédicaces

Tout d'abord grâce à Allah

Je dédie ce travail à :

Ma mère (الله يرحمها) et mon père qui m'ont toujours soutenu et m'ont donné tout ce qu'ils pouvaient.

Mon encadreur (Dr Midoun) de nous aider et de nous soutenir.

Mes frères(Housseem, Tarik et Mohamed), ma petite sœur(Rihab).

Toute la famille (Hiber, Beldjirouet) et mes amis.

Ikhlas

Remerciements

Je souhaite avant tout remercier notre encadreur monsieur Mohammed MIDOUN, pour le temps qu'il a consacré à nous apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de répondre à mes questions.

Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi.

Je remercie mes grands-parents, et toute ma famille et amis pour leurs encouragements

Ayoub

Remerciements

Ces remerciements vont tout d'abord à mon encadreur Midoun Mohamed qui nous a encadrés, orientés, aidés et conseillés.

J'exprime ma gratitude et ma reconnaissance à mon père et à mes frères et ma sœur pour leurs contributions, leurs soutiens, leurs patiences qui m'ont entourés de leurs affections et de leurs encouragements pour l'accomplissement de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Que ce soit à travers des discussions enrichissantes, des conseils ou simplement par leur présence, leur contribution a été précieuse.

Merci à tous et à toutes

Ikhlas

Liste des figures

Figure N°	Titre de la figure	Page
Figure 1.1	Les axes de smart city	7
Figure 1.2	Exemple d'un schéma de Transport multimodal	9
Figure 1.3	Les systèmes intelligents de transport	11
Figure 1.4	Évolution des ITS depuis 1914	12
Figure 2.1	Le diagram de classe	21
Figure 2.2	Les données des station de tramways	22
Figure 2.3	PyCharm EDU	23
Figure 2.4	Couches spatiales des zones chargée sur QGIS	24
Figure 2.5	Les bibliothèques utilisées	26
Figure 3.1	Interface du Logiciel réalisée	30
Figure 3.2	Bouton de chargement de couches	31
Figure 3.3	Bouton de modification du style	31
Figure 3.4	Bouton de l'analyse	32
Figure 3.5	Couches et buffer	33
Figure 3.6	La sélection de station à analyser	33
Figure 3.7	Sélection de la période à prédire	34
Figure 3.8	L'analyse les ascendants	35
Figure 3.9	Lancement serveur couche deep learning	35
Figure 4.1	Préparations et prétraitements des données	40
Figure 4.2	Stations de Tramways	42
Figure 4.3	Les données de tramway par semaine, mois et année	43
Figure 4.4	Data du tramway	44
Figure 5.1	Le Business Model Canvas	55

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre du tableau	Page
Tableau 4.1	Tableau pour définir la base des données	44

Liste des abréviations

Abréviation	Expression Complète	Page
IA	L'intelligence Artificielle	3
IoT	Internet des objets(Internet of Things)	8
MaaS	Mobility as a Service	9
STI	Systèmes de transport intelligents	10
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication	12
SIG	Systèmes d'information géographique	28
ITSAI	Système de Transport Intelligent par l'Intelligence Artificielle	30
CNN	Réseau de Neurones Convolutif	39
LSTM	Long Short-Term Memory	40

Table des matières

Introduction Générale	3
Chapitre 1:	5
1.1. Introduction :	6
1.2. La gestion du transport public dans les villes intelligentes :	6
1.3. Les Systèmes de transport intelligents :	10
1.4. Application de l'Intelligence artificielle dans le domaine des transports :	13
1.5. Conclusion :	14
Chapitre 2 :	16
2.1. Introduction :	17
2.2. Description de l'étude de cas :	17
2.3. Conception de la base de données :	19
2.4. Conception du système :	20
2.5. Collecte de données :	26
2.6. Analyse des données :	27
2.7. Conclusion :	28
Chapitre 3:	29
3.1. Introduction :	30
3.2. Développement du Système de Transport Intelligent (STI) :	30
3.3. Conclusion :	36
Conclusion Générale	37
Annexes	39
Bibliographie	48
Business Model Canevas	52
5.2.1. Segments de Clientèle:	52
5.2.2. Proposition de Valeur:	52
5.2.3. Relation Client:	53
5.2.4. Canaux de Distribution:	53
5.2.5. Activités Clés:	53
5.2.6. Ressources Clés:	53

5.2.7. Partenaires Clés:	54
5.2.8. Structure de Coûts:	54
5.2.9. Flux de Revenues:	54
5.3. Conclusion :	55

Introduction Générale

Les transports publics sont essentiels pour les villes et les régions, mais ils sont souvent confrontés à des problèmes de congestion, de sécurité et de gestion efficace. La thèse présente un projet de ville intelligente pour gérer les transports publics dans une ville de taille moyenne en développant un système de transport public multimodal intelligent basé sur l'intelligence artificielle (IA). Ce projet vise à améliorer l'efficacité et la facilité d'utilisation des transports publics. Les transports publics jouent un rôle crucial dans la vie des citoyens, en facilitant les déplacements quotidiens et en réduisant la congestion routière. Cependant, les systèmes de transit traditionnels peuvent être inefficaces et difficiles à gérer, en particulier en raison de la complexité des différents réseaux de transport et des flux de passagers à différents moments.

La justification du projet repose sur plusieurs facteurs. Tout d'abord, l'intelligence artificielle (IA) offre des possibilités inédites pour améliorer l'efficacité et la convivialité des transports publics. Elle permet de collecter et d'analyser des données en temps réel, ce qui permet de prendre des décisions éclairées et de réagir rapidement aux changements dans les flux de passagers. De plus, l'IA peut aider à réduire les coûts et à améliorer la sécurité des transports publics en identifiant les zones à risque et en optimisant les itinéraires.

L'objectif générale du sujet est :

- Amélioration de l'efficacité : réduire les temps d'attente et les temps de trajet pour les passagers.[1]
- Amélioration de la convivialité : offrir des informations précises et en temps réel pour aider les passagers à planifier leurs déplacements.
- Intégration des modes de transport : Permettre aux utilisateurs de choisir entre différents modes de transport (bus, métro, tramway, etc.) et de planifier leurs déplacements de manière efficace.
- Gestion efficace : Utiliser des systèmes de gestion des ressources pour optimiser l'utilisation des véhicules, des conducteurs et des infrastructures.

Le contenu de ce mémoire est séparé en trois chapitres. Tout d'abord, le chapitre 1 présentera une introduction à l'intelligence artificielle dans le domaine du transport, la gestion du transport public dans les villes intelligentes, les systèmes de transport intelligents et l'application de l'intelligence artificielle dans le domaine des transports. Ensuite, le chapitre 2 expliquera la méthodologie, qui constitue le fondement de toute recherche structurée, et décrira l'étude de cas, la conception de la

base de données, la conception du système, la collection de données et l'analyse des données. Enfin, le chapitre 3 présentera les résultats de ce projet.

Chapitre 1:

État de l'art

1.1. Introduction :

L'intelligence artificielle (IA) est un processus d'imitation de l'intelligence humaine qui repose sur la création et l'application d'algorithmes exécutés dans un environnement informatique dynamique. Son but est de permettre à des ordinateurs de penser et d'agir comme des êtres humains. [2]

L'intelligence artificielle (IA) offre des solutions prometteuses qui incluent des méthodes informatiques avancées qui imitent le travail du cerveau humain, ce qui aide les autorités de transport à améliorer la congestion et la fiabilité du temps de déplacement. Dans ce chapitre, nous présenterons la gestion de transport dans les villes intelligentes, Les Systèmes de transport intelligents et Application de l'Intelligence artificielle dans le domaine des transports.

1.2. La gestion du transport public dans les villes intelligentes :

Une smart city, ou ville intelligente, est une ville où la plupart des objets urbains sont connectés. Une telle ville s'appuie sur une multitude de capteurs et transmetteurs de faible puissance afin de maintenir une connexion permanente. Les données collectées en temps réel sont traitées par une intelligence informatique qui optimise le fonctionnement des éléments de la ville. L'objectif affiché est d'améliorer la vie des citoyens en rendant leur quotidien plus agréable et efficace. Voici les principaux concepts et caractéristiques de la gestion des villes intelligentes et des transports publics dans ces villes.[3]

1.2.1. Concepts et caractéristiques des smart cities :

Pour se transformer en smart city, une ville dispose de multiples domaines où agir. Six directions fondamentales d'action lui permettent d'orienter ses objectifs dans cette voie, selon la définition des smart cities de Boyd Cohen, un chercheur en développement urbain : comme le montre la (Figure 1.1)

- **La smart économie** : c'est la ville qui veut se positionner comme une capitale de la nouvelle économie et de l'innovation ainsi que pôle d'attraction.
- **La smart gouvernance** : c'est la ville dont les services publics sont entrés dans l'ère numérique via des services en ligne efficaces, le wi-fi ou encore l'exploitation des données numériques produites dans la ville.

- **Le smart environnement** : c'est la ville qui concilie ses fonctions d'habitat, de mobilité, de pôle économique... tout en réduisant son empreinte sur la planète (consommation réduite d'énergie et de ressources naturelles et réduction des émissions polluantes).
- **La smart mobilité** : c'est la ville qui s'organise pour offrir une alternative à la congestion et à la pollution automobiles en favorisant l'efficacité des moyens de déplacement collectifs et durables.
- **La smart population** : c'est la ville qui privilégie le développement de ses citoyens en résorbant les inégalités et les poussant à se former.
- **Les smart conditions de vie** : c'est la ville qui se hisse au meilleur niveau en termes de santé ou de sécurité par exemple.[4]



Figure 1.1 – Les axes de smart city [4]

Une ville intelligente ou ville durable recourt à des infrastructures basées sur les technologies et l'innovation. Pour être considérée comme smart city, une agglomération doit posséder certaines caractéristiques[5], comme :

1. Économie d'énergie et réduction de la pollution : Une ville intelligente met en place des initiatives pour optimiser la consommation d'électricité et réduire les émissions polluantes, par exemple en utilisant des énergies renouvelables, en améliorant l'efficacité énergétique des bâtiments, et en favorisant des transports plus écologiques.[6]
2. Réseau de transports publics optimisé : Une ville intelligente dispose d'un système de transports en commun performant, avec des solutions de mobilité innovantes comme le covoiturage, le vélo en libre-service, ou les véhicules autonomes. Cela permet de réduire la congestion et d'améliorer l'accessibilité.
3. Urbanisme et architecture durables : Une ville intelligente accorde une grande importance à l'aménagement du territoire, en favorisant une conception urbaine durable, avec des espaces verts, des bâtiments éco-conçus, et une gestion optimisée des déchets et de l'eau.
4. Écosystème maîtrisé : Une ville intelligente s'appuie sur des technologies de l'information et de la communication pour gérer de manière intégrée et efficace ses différents services et infrastructures, en collectant et en analysant les données pour prendre de meilleures décisions.[7]

1.2.2. La gestion du transport public dans les villes intelligentes :

Le transport en commun ou transport public est un mode de transport consistant à déplacer plusieurs personnes ensemble sur un même trajet et dans un même véhicule.

La planification des déplacements en transports en commun dans les villes intelligentes joue un rôle crucial dans l'aménagement urbain contemporain. Elle s'appuie sur l'exploitation de technologies de pointe comme l'Intelligence Artificielle (IA) et l'Internet des Objets (IoT) pour optimiser la circulation et rendre plus agréable le trajet des voyageurs.[8]

1.2.3. Solutions technologiques existantes pour la gestion du transport public :

Voici quelques solutions pour la gestion du transport public:

Optimisation des itinéraires : Les villes intelligentes peuvent utiliser l'analyse des mégadonnées pour identifier les itinéraires pour différents types de véhicules et les planifier en fonction de cette information, réduisant non seulement la circulation des véhicules, mais également leur temps de trajet.[8]

Systèmes de réseaux connectés : Les villes intelligentes peuvent s'appuyer sur les capteurs et les caméras pour réduire l'intensité du trafic et soutenir en temps réel l'éclairage dans les parties les plus en demande de la ville, offrant ainsi un niveau additionnel d'intégration.[9]

Infrastructures propres et connectées : Ils déploient des infrastructures pour les transports publics qui sont bien entretenues et nettoyées en permanence, de cette manière, les déplacements deviennent non seulement confortablement courts mais également sûrs. De plus, il est également important de noter que cela entraîne moins de pollution de l'air.

Mobilité comme service (MaaS) : Les applications MaaS offrent aux usagers une expérience de transport personnalisée et flexible, combinant différents modes de transport public et privé.[10]

1.2.4. Le transport multimodal définition et caractéristiques :

Le transport multimodal, aussi parfois appelé transport combiné, désigne un mode de transport consistant à acheminer des marchandises d'un point A à un point B, en utilisant au moins deux modes de transport différents successifs (routier, maritime, fluvial, ferroviaire). [11] voir (Figure 1.2)



Figure 1.2 – Exemple d'un schéma de Transport multimodal [12]

Il se caractérise par sa flexibilité, sa rapidité, sa traçabilité et son immédiateté, puisque la clé est l'expédition rapide de n'importe quelle marchandise vers n'importe quelle destination, de porte à porte.

1.3. Les Systèmes de transport intelligents :

Le système de transport intelligent (STI) est un système interactif de collecte, de traitement et de diffusion d'information appliqué aux transports, basé sur l'intégration des technologies de l'information et de la communication aux infrastructures et aux véhicules utilisés, de manière à améliorer la gestion et l'exploitation des réseaux de transport et des services aux utilisateurs associés.[13] On les dit "Intelligents" parce que leur développement repose sur des fonctions généralement associées à l'intelligence : capacités sensorielles, mémoire, communication, traitement de l'information et comportement adaptatif.[14]

Le secteur du transport et de la mobilité enregistre depuis quelques années de profondes révolutions et doit désormais s'appréhender de manière systémique en embrassant les dynamiques urbaines.

Dans cet écosystème en construction Figure (1.3), composé de nouveaux acteurs et de technologies innovantes, le modèle économique des acteurs traditionnels du secteur des transports et de la mobilité est remis en cause.[15]

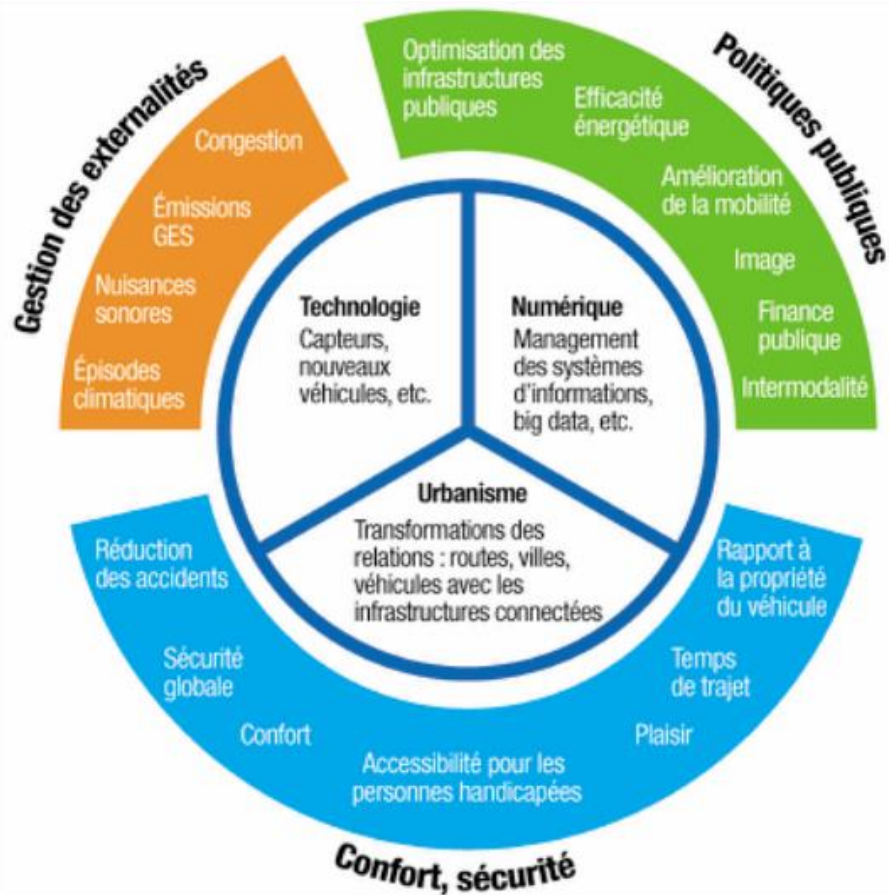


Figure 1.3 – Les systèmes intelligents de transport [15]

1.3.1. Concept et évolution des systèmes de transport intelligents :

Système interactif de collecte, de traitement et de diffusion d'information appliqué aux transports, basé sur l'intégration des technologies de l'information et de la communication aux infrastructures et aux véhicules utilisés, de manière à améliorer la gestion et l'exploitation des réseaux de transport et des services aux utilisateurs qui y sont associés.

Le monde de la recherche a commencé à se mobiliser autour des années 1960 pour lutter contre les effets néfastes des congestions. En effet, la congestion globale des infrastructures de transport représente un coût socio-économique important en termes de pollution de l'air, de consommation de carburant ainsi que de temps perdu par les usagers dans les transports. Elle a été en constante augmentation dans le monde, résultat de l'accroissement de l'urbanisation, de la croissance démographique et du nombre d'automobiles qui a permis le phénomène dit de rurbanisation, principalement dans les pays développés. On peut distinguer 4 grandes périodes dans le développement des STI : voir (Figure 1.4)

Années 1960-1970 : prémices .

Années 1980-1995 : investissement dans l'information routière embarquée .

Années 1995-2000 : interopérabilité, billettique et autoroute automatisée .

Années 2000-2005 : mobilité durable, multimodalité et sécurité routière.[16].

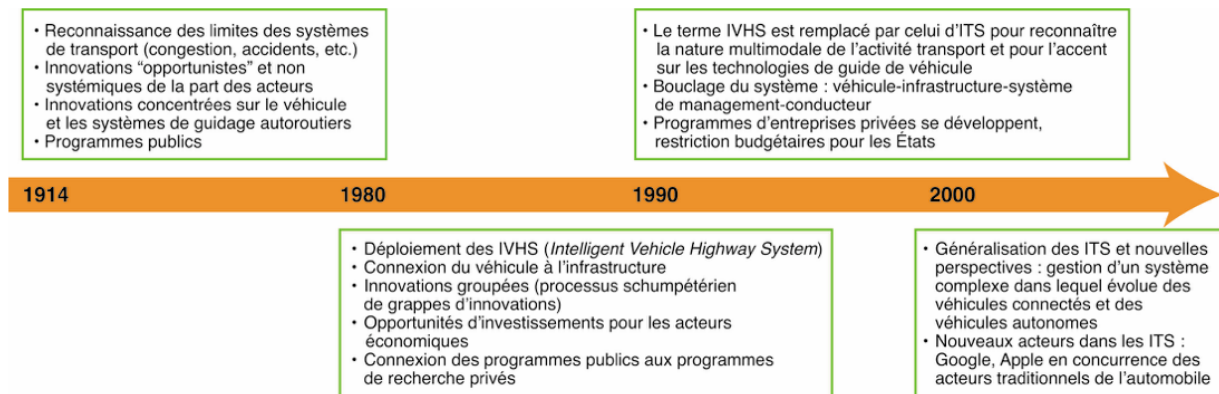


Figure 1.4 – Évolution des ITS depuis 1914 [17]

1.3.2. Composants des systèmes de transport intelligents (ITS) :

Les composants des systèmes de transport intelligents (ITS) comprennent une variété de technologies et d'éléments essentiels pour améliorer la gestion et l'exploitation des réseaux de transport. Voici des principaux composants des systèmes de transport intelligents :

Infrastructures de Transport : Les infrastructures de transport sont l'ensemble des installations fixes qu'il est nécessaire d'aménager pour permettre la circulation des véhicules et plus généralement le fonctionnement des systèmes de transport.[18]

Véhicules : Véhicules équipés de technologies de l'information et de la communication (systèmes de navigation, communication, surveillance, etc.)

Véhicules autonomes utilisant des systèmes de reconnaissance et de commande automatiques.

Technologies de l'Information et de la Communication(TIC) :

technologies de l'information et de la communication, regroupent tous les outils, logiciels ou matériels de traitement et de transmission des informations : appareils photos numériques, téléviseurs, téléphones portables, ordinateurs, etc.[19]

Systèmes de Gestion : Les systèmes de gestion sont des outils destinés à soutenir votre organisation dans l'amélioration continue de sa performance en matière de santé, de sécurité et d'environnement. Ils contiennent des éléments organisationnels qui suivent un cycle perpétuel de planification, de mise en œuvre, de vérification et d'amélioration.[20]

Services aux Utilisateurs :

Gestion des réseaux, des véhicules, des utilisateurs.

Systèmes de réservation, de planification de trajets, de gestion des itinéraires.

Interopérabilité : L'interopérabilité est un terme informatique désignant des systèmes capables de s'adapter et de collaborer avec d'autres systèmes indépendants déjà existants ou encore à créer.

Dictionnaire de l'IoT.[21]

1.3.3. Apports de l'implémentation des systèmes de transport intelligent :

L'amélioration du transport en commun est essentielle pour assurer la qualité de vie et la vitalité économique des centres urbains , et les STI offrent de grandes possibilités d'améliorer les services de transport entre les collectivités.

Parmi les principes apports de l'implémentation des STI :

- Réduction des accidents.[22]
- Optimisation des flux de trafic.
- Promotion des transports alternatifs.
- Facilitation des déplacements.
- Réduction des coûts de transport.
- Maintenance prédictive.
- Gestion des infrastructures.
- Intégration technologique (Véhicules connectés et autonomes/Smart Cities).[23]

1.4. Application de l'Intelligence artificielle dans le domaine des transports :

L'intelligence artificielle (IA) est une technologie qui a connu un essor rapide dans les dernières années, et son application dans le domaine des transports est devenue un enjeu majeur pour améliorer l'efficacité et la sécurité des déplacements et Les transports sont un secteur qui nécessite une gestion efficace pour répondre aux besoins des utilisateurs et réduire les coûts. L'IA peut aider à

optimiser les processus de gestion des transports en utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique et des données pour prendre des décisions éclairées.

1.4.1. Introduction à l'intelligence artificielle dans le domaine des transports :

L'intelligence artificielle (IA) a le potentiel de transformer le secteur du transport terrestre de manière significative. En appliquant des technologies d'IA avancées, nous pouvons améliorer l'efficacité, la sécurité et la durabilité des systèmes de transport, il est nombreuses utilisations pratiques grâce à des services de vision tels que le repérage ou le suivi d'objets. Bien que les applications de l'IA dans les transports, telles que les voitures autonomes et les autoroutes intelligentes, soient très populaires, il y a d'autres applications qui sont moins populaires mais très utiles.[24]

1.4.2. Domaines d'application de l'intelligence artificielle dans la gestion des transports :

L'IA dans le domaine des transports étudie les schémas de circulation pour comprendre les raisons des retards ou des embouteillages ,surveille les intersections et les chemins empruntés par les piétons et les cyclistes afin de détecter les accidents et d'améliorer la sécurité,et l'optimisation des itinéraires de transport, la réduction des temps d'attente et l'amélioration de la gestion des stocks sont des domaines dans lesquels l'IA peut être appliquée aux entreprises.

Les principaux domaines d'application de l'IA dans la gestion des transports :

- Optimisation des itinéraires et de la logistique.
- Sécurité routière.
- Gestion intelligente du trafic.
- Maintenance prédictive des véhicules.
- Vision par ordinateur.

1.5. Conclusion :

Le chapitre a permis de dresser un panorama complet des technologies et des approches actuelles en matière de gestion des transports publics dans les villes intelligentes. Nous avons

exploré les concepts et les caractéristiques des villes intelligentes, en mettant l'accent sur la gestion du transport public et les solutions technologiques existantes.

Chapitre 2 :

Méthodologie

2.1. Introduction :

La méthodologie constitue le fondement de toute recherche structurée, offrant un cadre rigoureux pour la collecte, l'analyse et l'interprétation des données. Dans cette étude sur les transports publics intelligents, notre approche méthodologique vise à explorer et optimiser les flux de passagers dans les réseaux multimodaux à l'aide de technologies avancées comme l'intelligence artificielle (IA) et l'analyse spatiale, le contenu de ce chapitre est donne la description de l'étude de cas , après presenter la conception de la base de données et la conception du système, enfin la collecte des données et l'analyse des données.

2.2. Description de l'étude de cas :

L'étude de cas que nous allons présenter est une analyse approfondie d'un projet de ville intelligente qui vise à améliorer la gestion des transports publics dans une ville moyenne. Cette étude de cas nous permettra de comprendre comment les technologies de l'information et de la communication (TIC) peuvent être utilisées pour optimiser les processus de gestion des transports publics et améliorer la qualité de vie des habitants.

2.2.1. Contexte de l'étude de cas :

Le planning de travail comprendra la collecte et la préparation des données, le développement des modèles d'IA, la validation et l'optimisation des algorithmes, ainsi que des tests sur des scénarios réels de transport multimodal. L'approche itérative permettra d'affiner les modèles en fonction des retours d'expérience, assurant ainsi leur pertinence et leur précision. Les résultats attendus de ce projet incluent des modèles prédictifs pour les flux de transport multimodaux, des itinéraires optimisés pour les usagers des transports publics, ainsi qu'une meilleure compréhension des schémas de mobilité dans les environnements urbains complexes. Ces résultats auront un impact significatif sur l'amélioration de l'efficacité des transports publics, réduisant les temps de trajet des usagers, diminuant les émissions de gaz à effet de serre et contribuant ainsi à la création de villes plus durables et conviviales.

2.2.2. Objectifs de l'étude de cas :

L'objectif principal est de transformer les systèmes de transport public en réseaux intelligents et intégrés qui améliorent la mobilité urbaine, avec:

- Promouvoir la durabilité environnementale.

- Identifier et comprendre les flux de passagers entre différents modes de transport pour réduire les temps de correspondance et améliorer la fluidité des déplacements.
- Optimiser l'utilisation des ressources de transport.
- Mettre en place des mécanismes de gestion et d'adaptation rapide aux perturbations pour garantir une mobilité fluide même en cas d'incidents ou de changements imprévus.
- Élever l'expérience utilisateur.

2.2.3. Description de la zone d'étude :

Le domaine d'étude se concentre sur Oran, une ville urbaine dense caractérisée par une variété de réseaux de transport public et de mobilité multimodale.

Géographie et Démographie :

➤ **Superficie** : La métropole couvre une superficie de 2121 km², incluant des zones résidentielles, commerciales, industrielles et des espaces verts.

➤ **Population** : Elle a une population de 1213839 habitants répartis sur une superficie de 2114 km², incluant des travailleurs, des étudiants, des touristes, et des résidents de longue date.

Réseaux de Transport :

- **Transports en commun** :

➤ **Bus** : Plusieurs lignes de bus desservent la ville, couvrant à la fois les zones centrales et les périphéries.

➤ **Taxi** : Plusieurs lignes de taxi desservent la ville, couvrant à la fois les zones centrales et les périphéries.

➤ **Tramway** : Un réseau avec plusieurs lignes interconnectées, facilitant les déplacements rapides à travers la ville

➤ **Train de banlieue** : Des lignes qui relient les zones urbaines aux régions suburbaines et rurales.

➤ **Telepherique** : Est dans les villes aux reliefs accidentés, comme un vecteur de cohérence, un trait permettant de désenclaver les zones les moins accessibles.

2.3. Conception de la base de données :

Pour concevoir un système de transport public intelligent intégrant des fonctionnalités multimodales et des optimisations en temps réel, une architecture robuste et modulaire est essentielle. et Pour concevoir une base de données pour un système de transport public intelligent intégrant divers composants tels que les arrêts de bus, les lignes de transport, les gares, et les statistiques de zones, nous utiliserons une modélisation relationnelle.

La base des données qui nous avons utilisés il contient des entités suivants :

- Les arrêts de bus dans le réseau de transport. Chaque arrêt est identifié de manière unique et possède des informations spécifiques pour sa localisation et son nom.
- Les lignes de chemin de fer. Chaque ligne est identifiée de manière unique et a un nom.
- Les équipements installés dans le réseau de transport, tels que les bancs, les abris, et les automates de vente
- Les gares ferroviaires où les trains s'arrêtent pour embarquer et débarquer des passagers.
- Les gares routières où les bus interurbains s'arrêtent pour embarquer et débarquer des passagers.
- Les lignes:
 - Les lignes de bus desservant divers arrêts de bus.
 - Les lignes de bus interurbains desservant des arrêts de bus dans différentes villes ou communes.
 - Les lignes de téléphérique desservant diverses stations de téléphérique.
 - Les lignes de tramway desservant diverses stations de tramway.
- Les données d'origine-destination entre les différents secteurs, indiquant le nombre de personnes se déplaçant d'un secteur à un autre.
- Le réseau routier desservant les diverses gares, stations et autres infrastructures de transport.
- Les secteurs où il y a une émission ou une attraction significative de population, souvent utilisé pour les études de mobilité.
- Les stations:
 - Les stations de bus où les bus s'arrêtent pour embarquer et débarquer des passagers.
 - Les stations de téléphérique où les téléphériques s'arrêtent pour embarquer et débarquer des passagers.
 - Les stations de tramway où les tramways s'arrêtent pour embarquer et débarquer des passagers.
- Les statistiques:
 - Les statistiques démographiques et économiques des secteurs.

- Les statistiques démographiques et économiques des zones spécifiques, qui peuvent être des subdivisions des secteurs.
- Les zones géographiques spécifiques qui composent les secteurs.

2.4. Conception du système :

La conception du système est une étape cruciale pour déterminer comment les différents composants interagissent pour former un système cohérent et fonctionnel en utilisant les étapes suivantes:

2.4.1. Architecture du système :

L'architecture d'un système est un modèle conceptuel d'un système qui décrit ses propriétés externes et internes et la manière dont elles se projettent dans ses éléments, leurs relations et les principes de conception et d'évolution du système. Voici une description détaillée de l'architecture du système. [25]

2.4.1.1. Schéma de l'architecture :

Représentation graphique d'un système d'information, représentant les différents composants qui le composent, ainsi que la manière dont ils communiquent entre eux. Voici les diagramme qui présente la base des données:

Diagram de classe :

Le diagramme de classe est l'un des types de diagrammes UML les plus utiles, car ils décrivent clairement la structure d'un système particulier en modélisant ses classes, ses attributs, ses opérations et les relations entre ses objets.[26] Il est représenté sous la forme figure (2.1) .

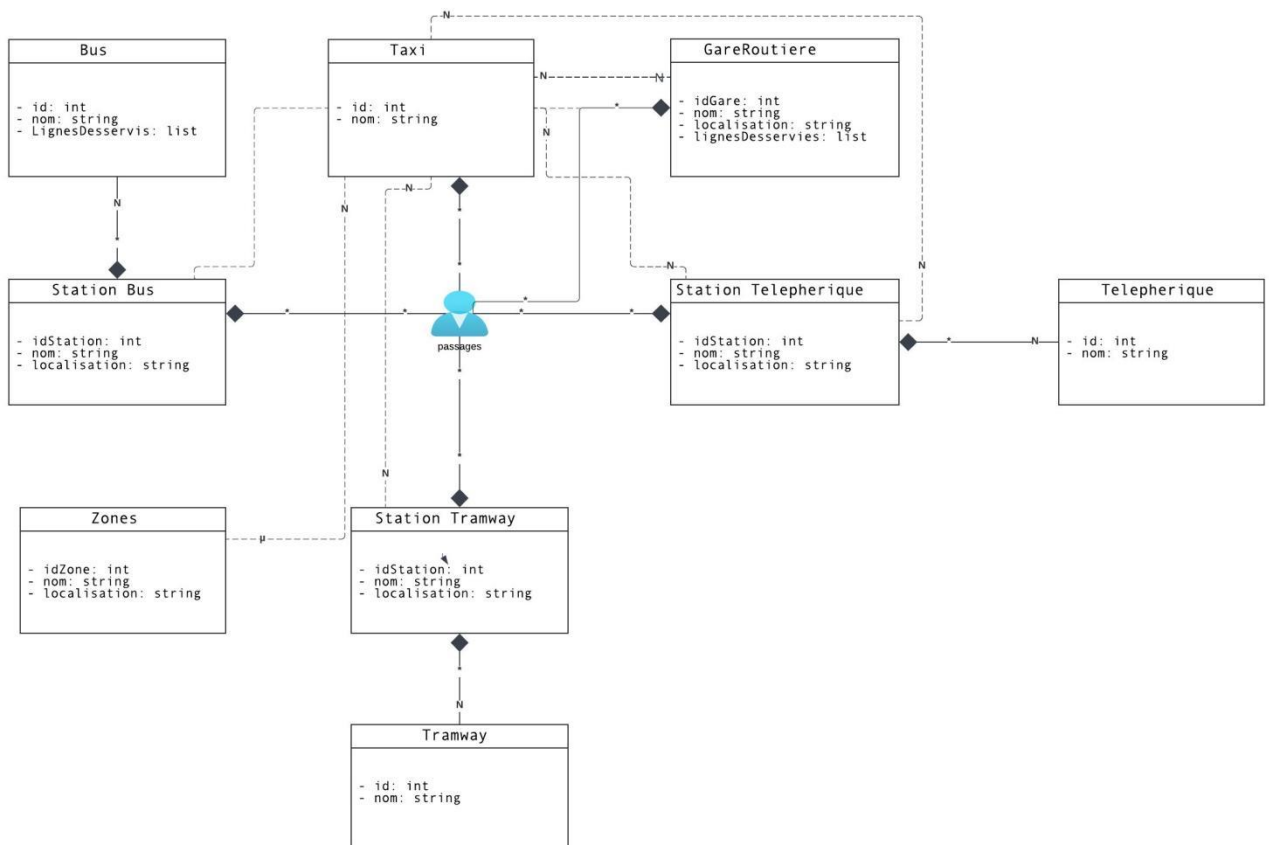


Figure 2.1 – Le diagram de classe

2.4.1.2. Description des composants :

Compose de :

Interface Utilisateur (Client) :

- L'utilisateur interagit avec le système via une interface utilisateur, qui peut être une application web ou mobile.
- Permet d'entrer les points de départ et d'arrivée et d'afficher les résultats des trajets optimaux.

Base de Données :

- Stocke toutes les informations pertinentes : arrêts, lignes, horaires, statistiques des secteurs et zones. par exemple des données csv comme la figure (2.2)

apprentissage.csv — LibreOffice Calc

File Edit View Insert Format Styles Sheet Data Tools Window Help

Liberation Sans 10 pt B I U A

F14 $f_x \Sigma = 16$ Align Bottom

	A	B	C	D	E	F	G
1	Timestamp	Station_ID	Station_Name	Latitude	Longitude	Boardings	Alightings
2	2023-01-01 00:00:00	1	Gare routière Sidi Marouf	35.6944427330171	-0.568521244499609	7	10
3	2023-01-01 00:00:00	2	Université USTO	35.7040505028811	-0.577368154521351	5	19
4	2023-01-01 00:00:00	3	Hopital 1er Novembre	35.7021211467753	-0.584552454053427	19	19
5	2023-01-01 00:00:00	4	Cités USTO	35.702083274641	-0.59083160205062	14	12
6	2023-01-01 00:00:00	5	Carrefour 3 cliniques	35.7023808940847	-0.598786535489688	10	9
7	2023-01-01 00:00:00	6	Mosquée Ibn Badis	35.6967693759073	-0.605058575637033	10	5
8	2023-01-01 00:00:00	7	Hammou Moktar - Les castors	35.6970796308946	-0.613762186576891	9	7
9	2023-01-01 00:00:00	8	Carrefour Maalem	35.6980745944246	-0.618133809479637	6	17
10	2023-01-01 00:00:00	9	Place Moulay	35.6990626961421	-0.625316832470088	10	10
11	2023-01-01 00:00:00	10	1er Boulevard	35.6986645244936	-0.630781136519067	12	5
12	2023-01-01 00:00:00	11	Pont voies ferrées	35.6987779111189	-0.634976811349362	14	5
13	2023-01-01 00:00:00	12	Gare SNTE	35.6996442737528	-0.638603347233523	7	9
14	2023-01-01 00:00:00	13	Mellah Ali	35.6997411606312	-0.644034841967506	16	17
15	2023-01-01 00:00:00	14	Emir Abdelkader	35.7012673754984	-0.646141360371095	5	12
16	2023-01-01 00:00:00	15	Place du 1er Novembre	35.7037986454115	-0.648965550722852	14	6
17	2023-01-01 00:00:00	16	Place Mokrani	35.7012626494017	-0.650170571002003	11	6
18	2023-01-01 00:00:00	17	Tlemcen Houaha	35.697466063589	-0.651321897918541	19	13
19	2023-01-01 00:00:00	18	M'Dina El Djadida	35.69447718935	-0.650667169215837	11	5
20	2023-01-01 00:00:00	19	Ghaouti	35.6915205870357	-0.649683619945313	16	15
21	2023-01-01 00:00:00	20	Palais des sports	35.6890167855583	-0.648404757010941	11	7
22	2023-01-01 00:00:00	21	Sûreté de la Wilaya	35.6859001116486	-0.647004815127356	11	17
23	2023-01-01 00:00:00	22	Cité Universitaire	35.6796525476893	-0.64340953619311	12	6
24	2023-01-01 00:00:00	23	Lycée Les Palmiers	35.6728192509245	-0.639084159795009	7	5
25	2023-01-01 00:00:00	24	Cité Volontaire - ENSET	35.6639422982526	-0.633607155703165	16	19
26	2023-01-01 00:00:00	25	Moulay AEK	35.6532544554726	-0.627205924933962	15	11
27	2023-01-01 00:00:00	26	Sénia Centre	35.6495468009009	-0.624796272596263	12	12
28	2023-01-01 00:00:00	27	Sénia-Terminus	35.6473785879226	-0.623086637668978	8	18
29	2023-01-01 00:15:00	1	Gare routière Sidi Marouf	35.6944427330171	-0.568521244499609	15	5
30	2023-01-01 00:15:00	2	Université USTO	35.7040505028811	-0.577368154521351	17	17
31	2023-01-01 00:15:00	3	Hopital 1er Novembre	35.7021211467753	-0.584552454053427	16	17
32	2023-01-01 00:15:00	4	Cités USTO	35.702083274641	-0.59083160205062	8	11
33	2023-01-01 00:15:00	5	Carrefour 3 cliniques	35.7023808940847	-0.598786535489688	16	6

Figure 2.2 – Les données des station de tramways

Visualisation et Gestion des Données Géospatiales :

- ☐ Gère et visualise les données géospatiales, y compris les cartes des réseaux de transport.

2.4.2. Environnement de développement :

Un environnement de développement est un espace de travail qui permet aux développeurs de construire une application ou d'y apporter des modifications sans affecter la version active du produit logiciel. Ces modifications peuvent inclure la maintenance, le débogage et les correctifs.[27] Dans notre cas on utilise PyCharm avec sa version 2023.1, voir la figure (2.3).

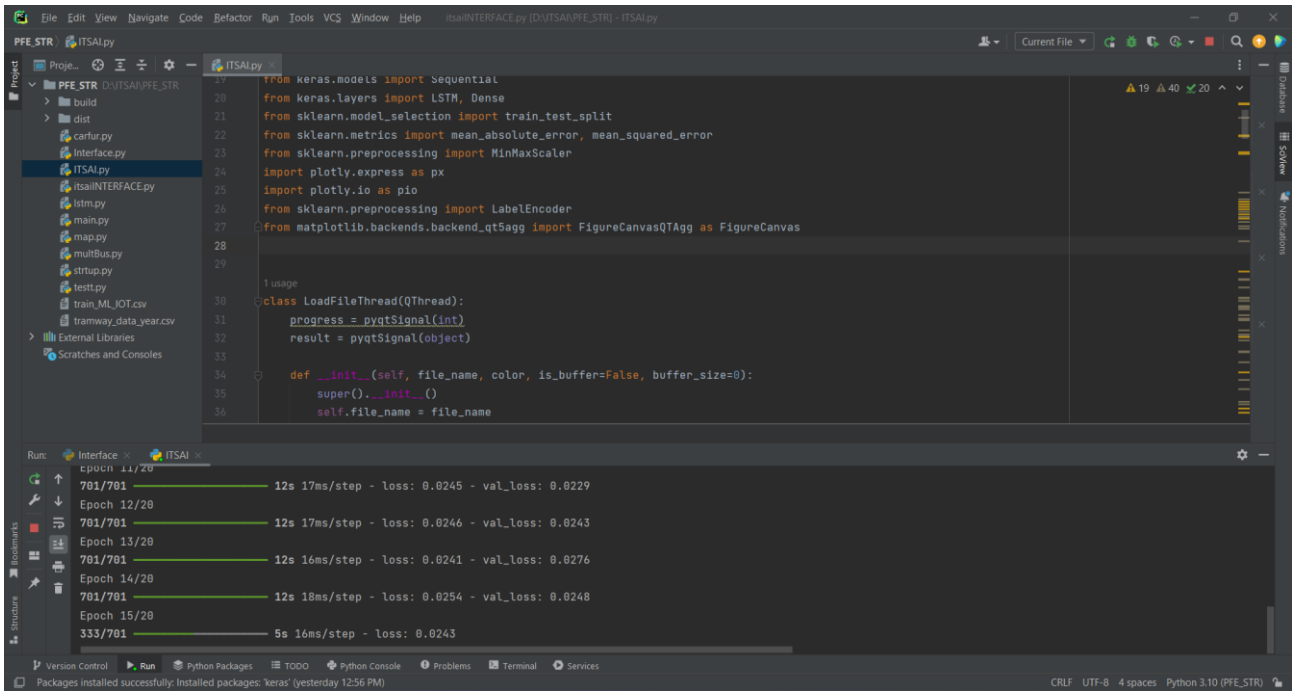


Figure 2.3 – L’interface de PyCharm EDU

2.4.2.1. Langages de programmation :

Les langages de programmation choisis doivent correspondre aux exigences du projet, et nous avons choisi les langages suivants:

Python 3.10: Utilisé pour le développement de la logique métier et les scripts de gestion des données.

QGIS 3.36: c’est une plate-forme pour charger et analyser les différents types des données du système géographique. Voir la figure (2.4)

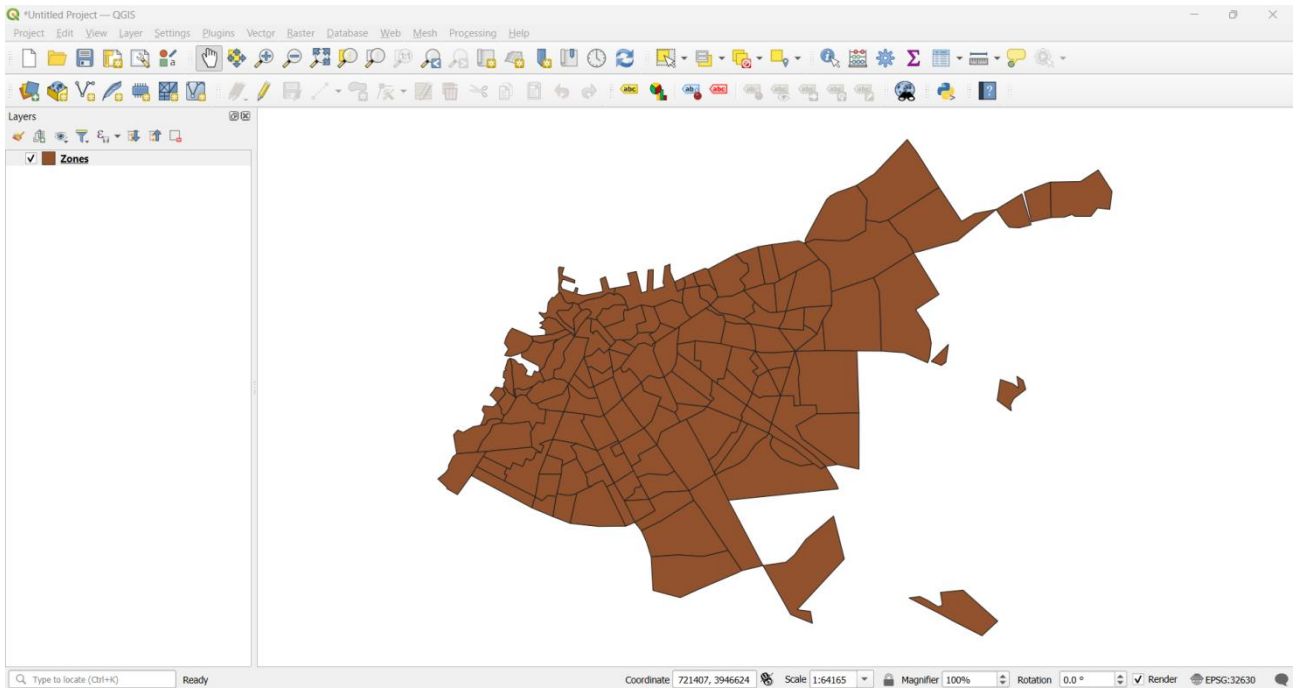


Figure 2.4 – Couches spatiales des zones chargée sur QGIS

2.4.2.2. Bibliothèques utilisées :

Les Bibliothèques utilisées dans la (Figure 2.5)

SYS :

Description : Contient des fonctions et des variables utilisées pour effectuer des opérations sur un environnement d'exécution Python spécifique.

Utilisation : Principalement utilisé pour accéder à la configuration et aux paramètres de l'environnement d'exécution, tels que les arguments de ligne de commande et la gestion des exceptions[38].

OS :

Description : Fournit une interface pour le système d'exploitation, offrant ainsi la possibilité de travailler avec des fichiers et des dossiers.

Utilisation : Utilisé pour accéder au système de fichiers, créer/supprimer des dossiers, lire/écrire des fichiers, etc[37].

Folium :

Description : Une bibliothèque de visualisation utilisée pour créer des cartes interactives.

Utilisation : Utilisé pour visualiser des données géospatiales sur des cartes. Principalement utilisé en association avec des données géographiques (GeoJSON)[34].

Matplotlib.pyplot :

Description : Un module de matplotlib utilisé pour fournir une interface de traçage 2D, qui est essentiellement un clone de MATLAB.

Utilisation : Utilisé pour créer des graphiques animés, statiques et interactifs en Python[35].

Geopandas :

Description : Extension de Pandas pour la manipulation de données géospatiales.

Utilisation : Utilisé pour lire, écrire et manipuler des données géographiques sous forme de DataFrames, y compris les opérations géométriques[42].

PyQt5.QtWidgets :

Description : Module de PyQt5 utilisé pour la création d'interfaces utilisateur graphiques.

Utilisation : Utilisé pour créer et gérer les widgets de l'application tels que les boutons, les fenêtres, les boîtes de dialogue, les listes, etc[41].

PyQt5.QtWebEngineWidgets :

Description : Cette classe permet d'intégrer du contenu Web dans les applications PyQt.

Utilisation : Utilisé pour afficher des pages Web dans une application PyQt5. Un bon exemple en est les cartes interactives qui peuvent être utilisées à l'aide de la bibliothèque Folium[41].

PyQt5.QtCore :

Description : Un module de PyQt5 qui inclut des classes pour les fonctionnalités de base telles que les threads et les signaux.

Utilisation : Utilisé pour la gestion des événements, des threads et d'autres fonctionnalités de base d'une application[41].

Zipfile :

Description : Un module pour lire et écrire des fichiers ZIP[39].

Utilisation : Utilisé pour compresser et décompresser des dossiers et des fichiers au format ZIP.

Tempfile :

Description : Un module qui permet de créer des fichiers et des dossiers temporaires.

Utilisation : Principalement utilisé pour gérer les fichiers temporaires dans un programme et est souvent utilisé pour stocker des données temporaires[40].

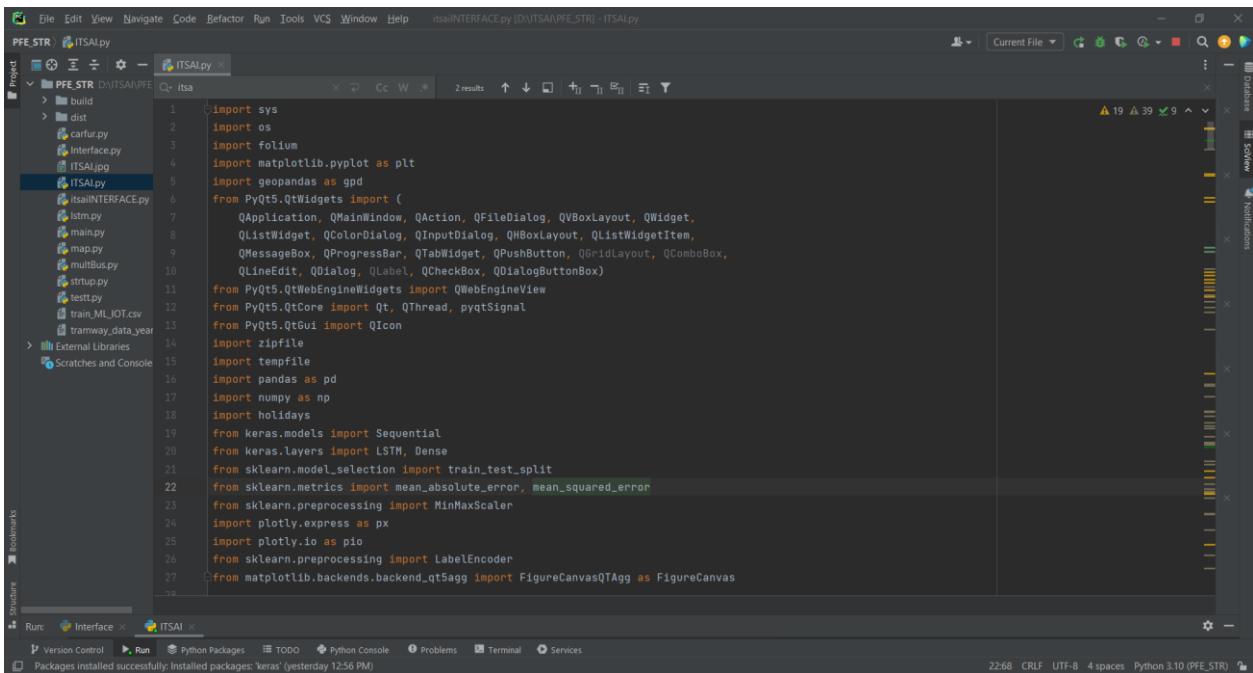
Pandas :

Description : Une puissante bibliothèque de manipulation de données.

Utilisation : Un outil très utilisé pour analyser et travailler avec des ensembles de données tabulaires, il fournit des structures de données et des opérations pour la manipulation de tables numériques et de séries temporelles[36].

Numpy :

Description : Une bibliothèque de calcul scientifique en Python[35].



```
1 import sys
2 import os
3 import folium
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import geopandas as gpd
6 from PyQt5.QtWidgets import (
7     QApplication, QMainWindow, QAction, QFileDialog, QVBoxLayout, QWidget,
8     QListWidget, QColorDialog, QInputDialog, QHBoxLayout, QListWidgetItem,
9     QMessageBox, QProgressBar, QTabWidget, QPushButton, QGridLayout, QComboBox,
10    QLineEdit, QDialog, QLabel, QCheckBox, QDialogButtonBox)
11 from PyQt5.QtWebEngineWidgets import QWebEngineView
12 from PyQt5.QtCore import Qt, QThread, pyqtSignal
13 from PyQt5.QtGui import QIcon
14 import zipfile
15 import tempfile
16 import pandas as pd
17 import numpy as np
18 import holidays
19 from keras.models import Sequential
20 from keras.layers import LSTM, Dense
21 from sklearn.model_selection import train_test_split
22 from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error
23 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
24 import plotly.express as px
25 import plotly.io as pio
26 from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
27 from matplotlib.backends.backend_qt5agg import FigureCanvasQTAgg as FigureCanvas
```

Figure 2.5 – Les bibliothèques utilisées

2.5. Collecte de données :

La collecte de données est la procédure de collecte, de mesure et d'analyse d'informations précises pour la recherche à l'aide de techniques standard validées. Cette partie décrit les sources des données, les méthodes de collecte et le prétraitement des données.

2.5.1. Sources de données :

Les sources de données sont des lieux physiques ou numériques où les informations sont stockées dans une table de données[28]. Nous avons travaillé sur :

- Données de fréquentation : Statistiques sur le nombre de passagers à différentes heures de la journée, jours de la semaine et saisons. Voir la figure (2.2)

●Fichier SHP et GEOJSON : sont des fichiers contient des données comme les lignes ou les stations pour les poser sur le map en utilisant Qgis ou autres outils. Voir la figure (2.4)

2.5.2. Prétraitement des données :

Nous avons étudié précédemment un certain nombre d’algorithmes de machine learning. Chaque algorithme peut être performant dans des conditions précises qui l’arrangent. Aussi, le choix du bon algorithme est toujours important. Nous allons voir qu’avec le choix du bon algorithme, un prétraitement des données est indispensable pour la réussite du processus data mining, et l’obtention des meilleures performances par le modèle construit. La quantité et la qualité des données disponible pour l’apprentissage du modèle, a un impact direct sur sa qualité. Malheureusement, dans la réalité les données disponibles ne sont jamais parfaites, et nécessitent toujours des traitements pour une meilleure utilisation par l’algorithme de machine learning. Ces prétraitements sont nombreux et diversifiés . Nous distinguerons 4 types de prétraitement :

- La discrétisation d’un attribut numérique va avoir sûrement un impact sur les performances du modèle.
- Le nettoyage de la base de données, en traitant les valeurs manquantes et les valeurs aberrantes va aussi sûrement une nouvelle vision à l’algorithme.
- La sélection d’attribut est des opérations les plus importantes un prétraitement, car elle enlève certains attributs jugés non pertinent de la base.
- La transformation des données peut elle aussi transformer leur perception par l’algorithme de machine learning.[29]

2.6. Analyse des données :

L’analyse des données consiste à extraire des informations significatives à partir des données collectées et prétraitées, nous avons utilises IA et l’analyse spatiale.

2.6.1. Utilisation de modèles d'IA :

L’utilisation de modèles d’IA permet d’automatiser l’analyse des données, de découvrir des modèles cachés et de faire des prédictions précises, voici les étapes utilises:

Prédiction de la demande :

- Réseaux de neurones : Utilisés pour analyser les tendances historiques et prévoir la demande future en transport public.

2.6.2. Utilisation de l'analyse spatiale :

L'analyse spatiale permet d'exploiter les dimensions géographiques des données pour détecter plus en profondeur les schémas de mobilité et les infrastructures de transport.

Cartographie des réseaux de transport : Nous utilisons des systèmes d'information géographique (SIG) pour visualiser l'infrastructure de transport et analyser sa couverture spatiale, tandis que nous utilisons des cartes thermiques pour identifier les zones à forte demande et les points de congestion.

Analyse de l'accessibilité des transports publics : joue un rôle important dans ce contexte, en définissant des indicateurs d'accessibilité pour identifier et comparer l'accessibilité des transports publics dans différentes régions.

Analyse des flux de trafic : Nous utilisons des modèles spatiaux pour simuler et analyser les flux de trafic, identifier les points de congestion et les voies à haute densité, ainsi que d'étudier les itinéraires de déplacement des utilisateurs pour comprendre les modèles de mobilité et améliorer les réseaux de transport.

Nous modélisons les effets des scénarios de développement urbain sur les réseaux de transport, et assistons à la planification stratégique, ainsi qu'à l'analyse spatiale des émissions de gaz à effet de serre et des polluants associés aux flux de circulation, afin de promouvoir des solutions de transport durables.

2.7. Conclusion :

La méthodologie décrite dans cette étude a été conçue pour aborder de manière systématique et rigoureuse les défis posés par la gestion des transports publics intelligents dans un environnement urbain complexe. En intégrant des approches avancées comme l'intelligence artificielle (IA) et l'analyse spatiale, nous avons pu développer des outils et des techniques permettant d'optimiser les flux de transport multimodal et d'améliorer l'efficacité globale des systèmes de transport public.

Chapitre 3:

Implémentation

3.1. Introduction :

Dans ce chapitre en va présenter d’abord les outils pour la réalisation de notre projet, et en va tracer quelques étapes de réalisation, après nous passons à la présentation de logiciel (ITSAI) , le backend de système et map spécialisé avec des capture écran ainsi les composants et les fonctionnalités de chacune d’elle.

3.2. Développement du Système de Transport Intelligent (STI) :

3.2.1. Interfaces Utilisateur :

Les figures suivantes représentent l’interface principale de notre solution ITSAI et ses composants :

(Figure 3.1),(Figure 3.2),(Figure 3.3),(Figure 3.4)

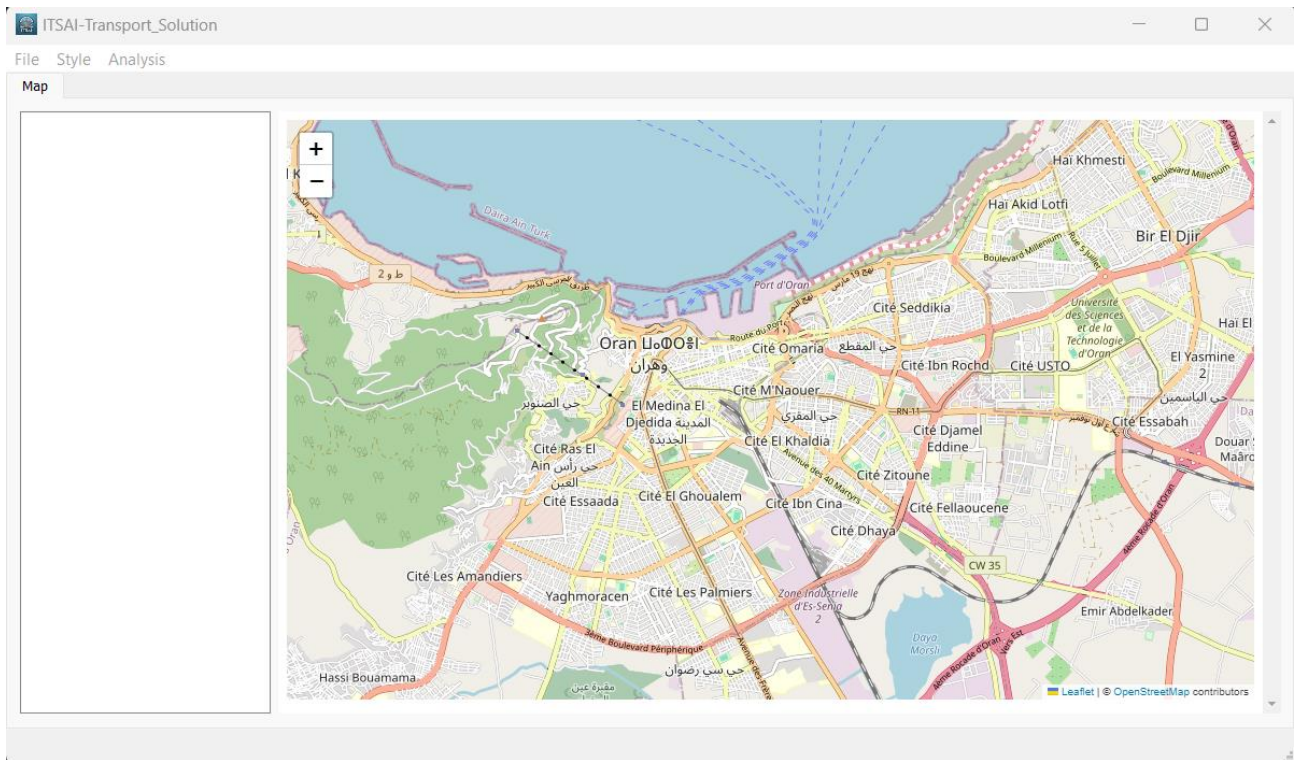


Figure 3.1 – Interface du Logiciel réalisée.

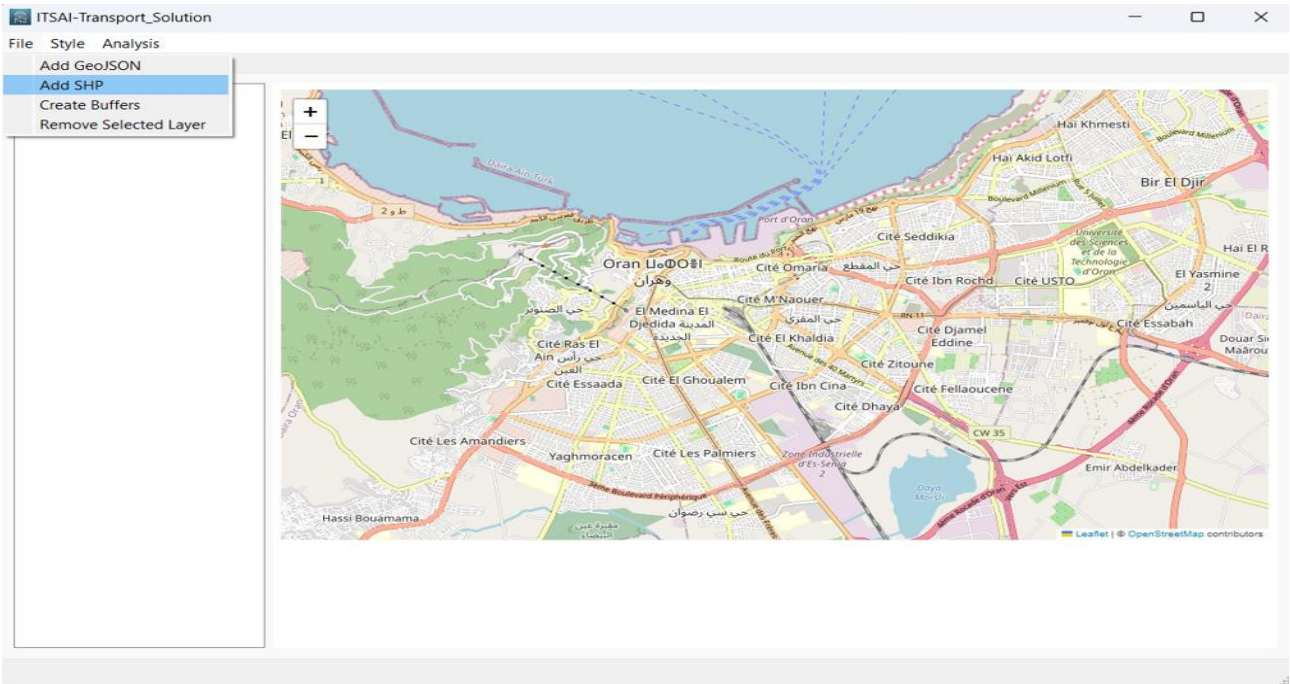


Figure 3.2 – Bouton de chargement de couches

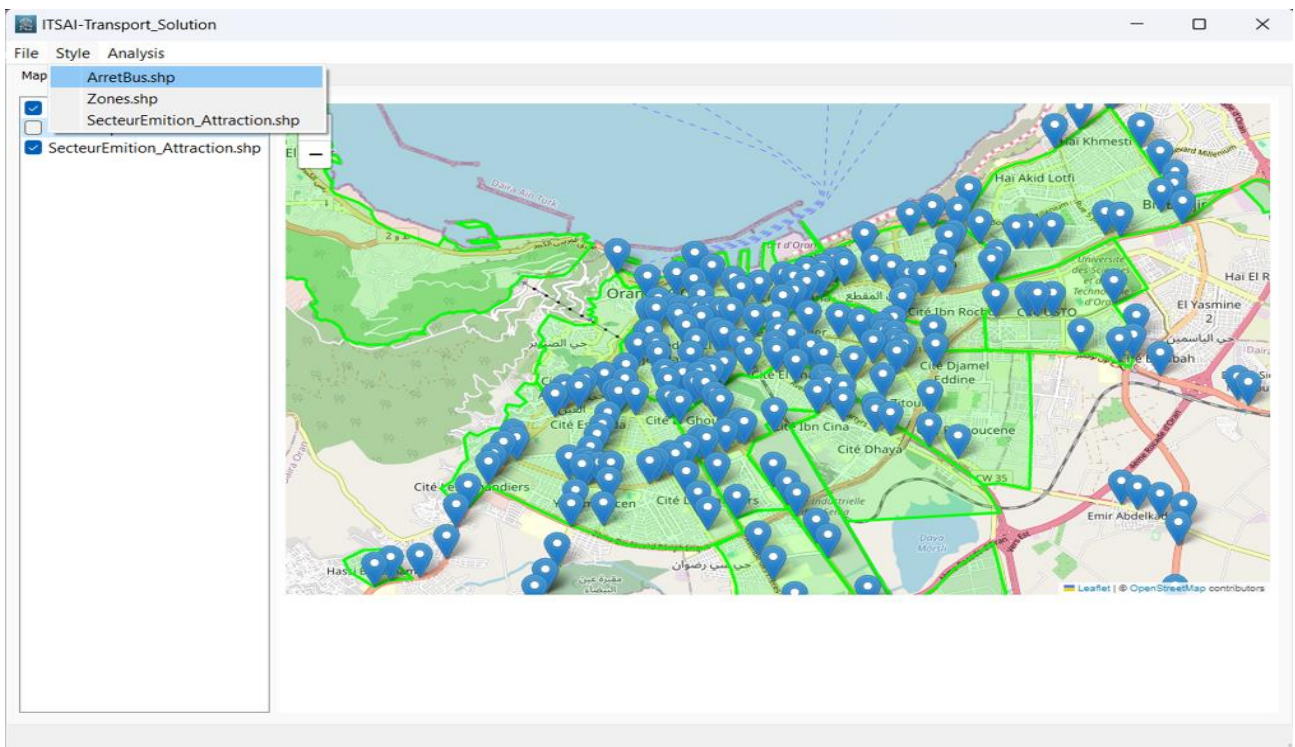


Figure 3.3 – Bouton de modification du style

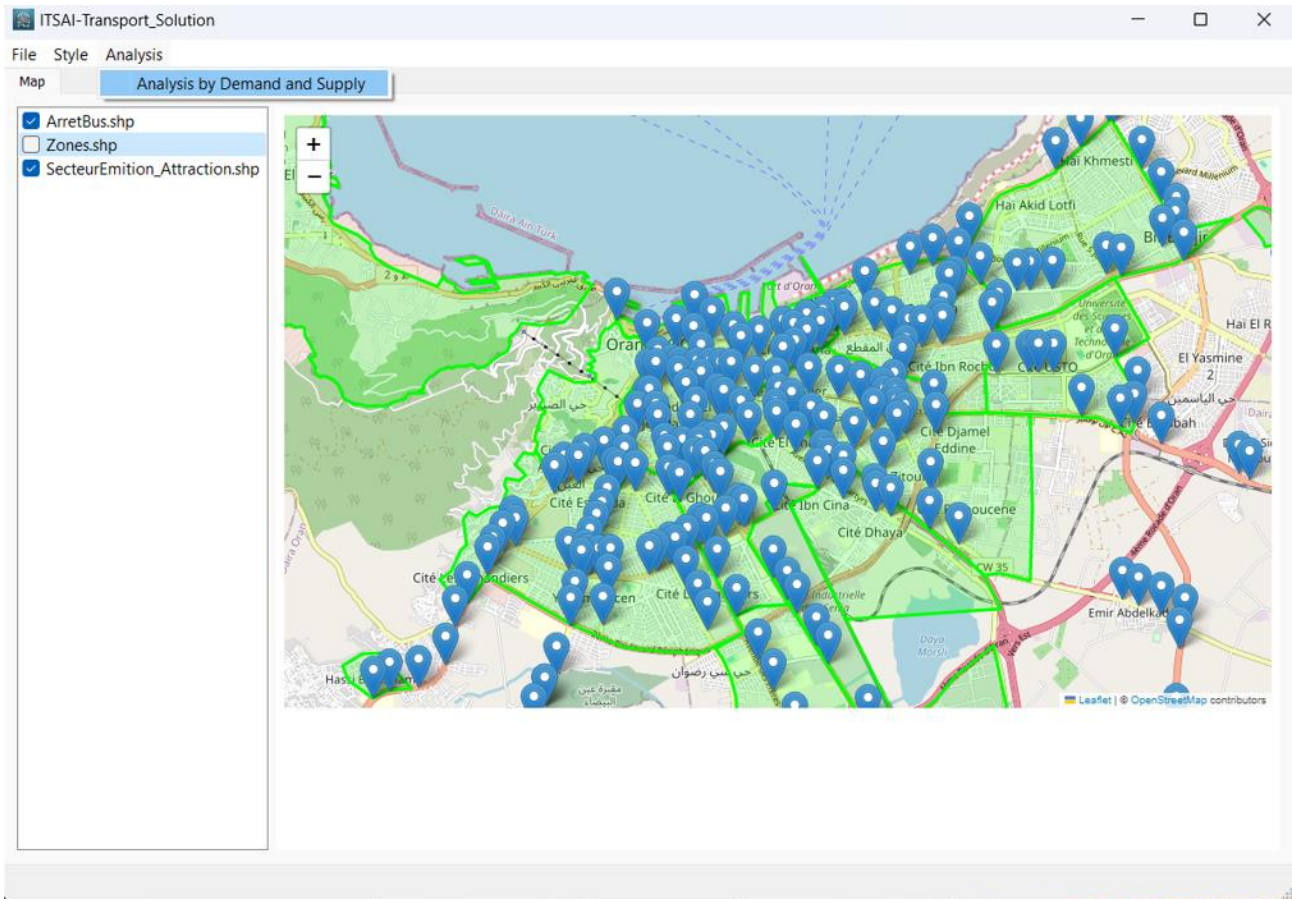


Figure 3.4 – Bouton de l’analyse

Dans cette (Figure 3.5), (Figure 3.6), (Figure 3.7) on trouve les différents couches et buffer à charger pour lancer l’analyse et on a sélectionné les couches station tramway est la couche de sa ligne :

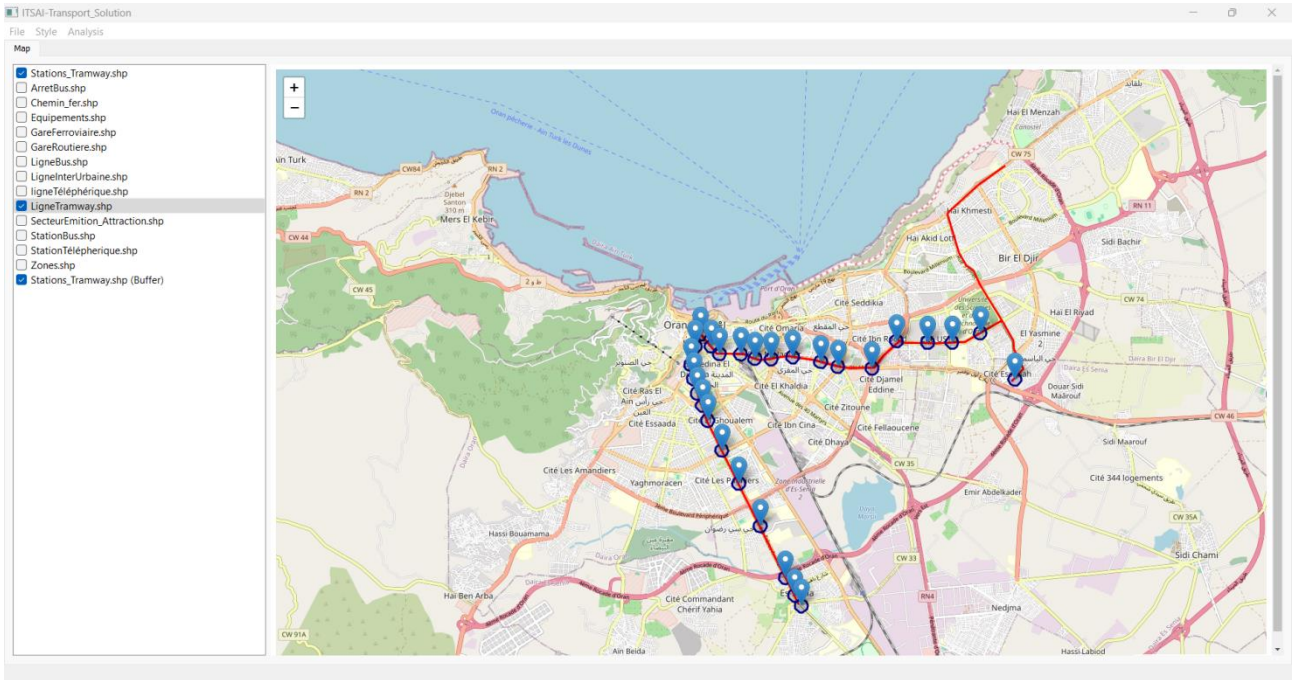


Figure 3.5 – Couches et buffer

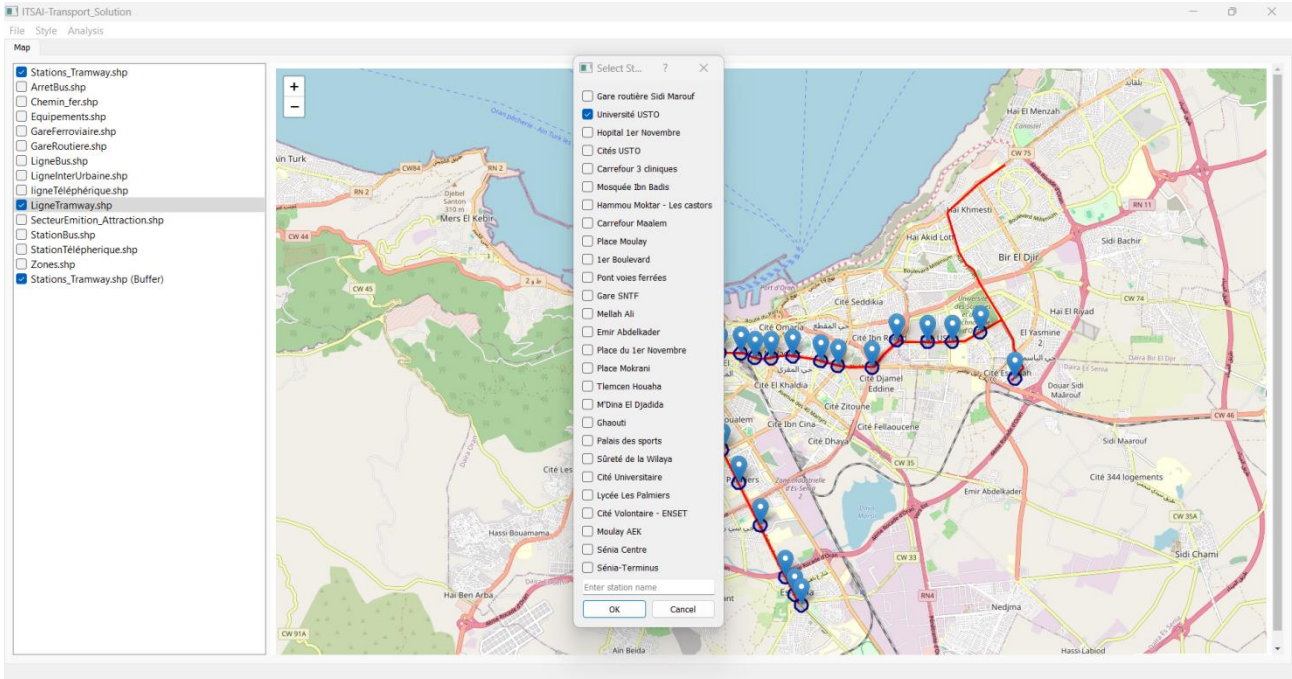


Figure 3.6 – La sélection de station à analyser

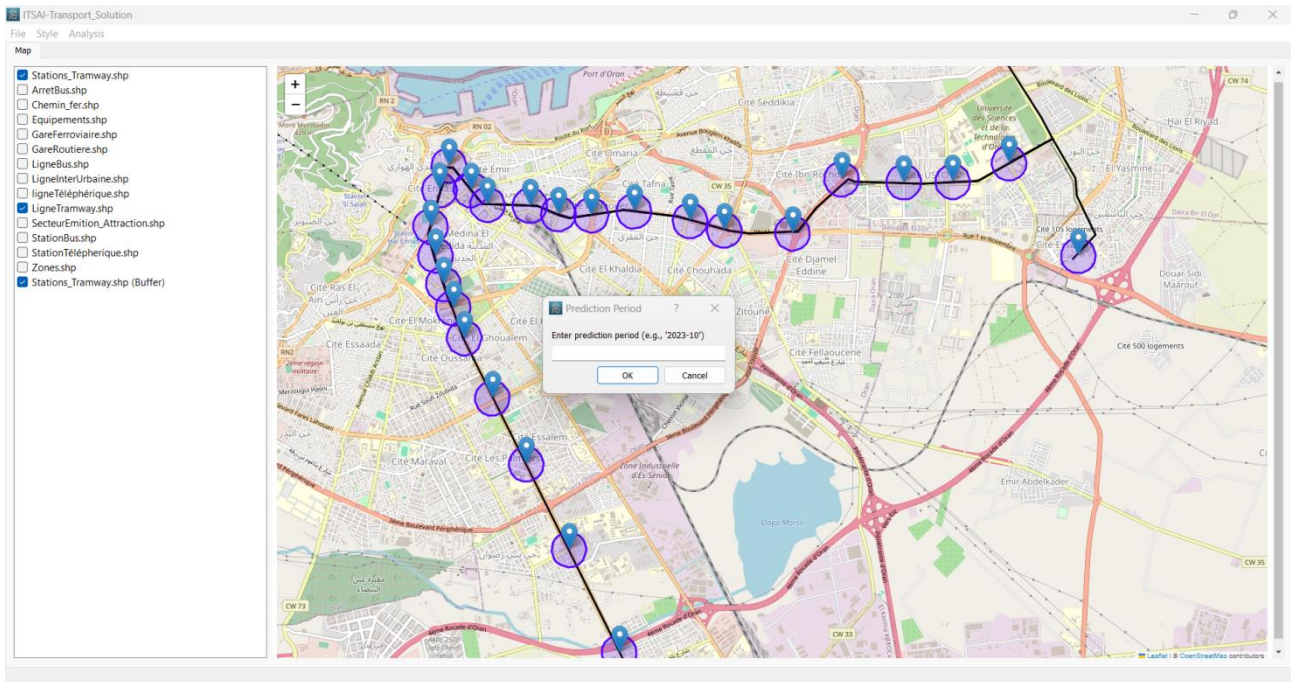


Figure 3.7-- Sélection de la période à prédire

3.2.2. Module d'analyse des données :

Le module d'analyse des données est crucial pour exploiter les informations collectées et en extraire des connaissances utiles pour la planification et l'optimisation du réseau de transport.

3.2.2.1. Analyses spatiales pour la planification du réseau de transport multimodal :

Identifier les zones à forte demande, améliorer l'accessibilité et optimiser l'extension du réseau.pour l'analyse .

3.2.2.2. Analyse de l'accessibilité aux différents modes de transport (de notre cas Tramways) en fonction de la localisation géographique des utilisateurs :

L'analyse des ascendants en jour de tramway pendant les mois 2023 dans ce cas station université USTO, la (Figure 3.8).



Figure 3.8 – L’analyse les ascendants

3.2.2.3. Analyses basées sur l'IA :

Les analyses basées sur l'intelligence artificielle (IA) peuvent fournir des insights avancés pour la planification et l'optimisation des réseaux de transport en commun. en utilise l'apprentissage profond (Deep Learning). voir (Figure 3.9).

```

Run: Interface x ITSAI x
Do not pass an 'input_shape'/'input_dim' argument to a layer. When using Sequential models, prefer using an 'Input(shape)' object as the first layer in the model instead.
Epoch 1/20
701/701 16s 18ms/step - loss: 0.0364 - val_loss: 0.0306
Epoch 2/20
701/701 12s 17ms/step - loss: 0.0287 - val_loss: 0.0260
Epoch 3/20
701/701 15s 21ms/step - loss: 0.0269 - val_loss: 0.0252
Epoch 4/20
701/701 12s 17ms/step - loss: 0.0260 - val_loss: 0.0253
Epoch 5/20
701/701 16s 23ms/step - loss: 0.0260 - val_loss: 0.0264
Epoch 6/20
701/701 12s 17ms/step - loss: 0.0258 - val_loss: 0.0276
Epoch 7/20
699/701 0s 15ms/step - loss: 0.0261
Version Control Run Python Packages TODO Python Console Problems Terminal Services
PEP 8: E114 indentation is not a multiple of 4 (comment) 23:57 CRLF UTF-8 4 spaces Python 3.10 (PFE_STR)

```

Figure 3.9 – Lancement serveur couche deep learning

3.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les outils et logiciel du projet. Par la suite, nous avons élaboré quelques aperçus du fruit de notre travail à travers des interfaces résultant et testes le projet. Cette version de ITSAI a largement atteint les objectifs établis par rapport à un produit minimum viable (MVP).

Conclusion Générale

Récapitulation des contributions du projet :

Ce projet a permis de dresser un état de l'art complet sur la gestion du transport public dans les villes intelligentes et les systèmes de transport intelligents (STI). Nous avons exploré les concepts, les caractéristiques, et les solutions technologiques existantes pour améliorer la gestion des transports urbains. De plus, nous avons analysé l'application de l'intelligence artificielle (IA) dans ce domaine, en soulignant ses contributions significatives à l'optimisation des services de transport. L'étude de cas, intégrée dans ce projet, a démontré comment une base de données bien conçue et un système de transport intelligent peuvent être implémentés pour répondre aux besoins spécifiques d'une zone urbaine.

Limites de l'étude :

L'étude présente certaines limites. Tout d'abord, l'accès aux données réelles et actualisées a été restreint, ce qui peut limiter la précision des analyses et des prédictions. L'intégration de nouvelles technologies dans les systèmes de transport existants peut rencontrer des résistances en raison des contraintes budgétaires, des politiques locales, et des infrastructures déjà en place.

Perspectives futures de recherche :

Les perspectives de recherche futures comprennent l'amélioration des modèles d'IA pour améliorer la précision prédictive, le transport de masse et l'adaptation précise aux conditions réelles. Des études sont en cours pour intégrer les technologies émergentes telles que l'Internet des objets (IoT) et les véhicules autonomes dans les STI. En outre, une étude comparative des différentes approches de gestion des transports dans diverses villes intelligentes du monde entier pourrait fournir des informations précieuses et des meilleures pratiques.

Recommandations pour les acteurs du domaine des transports intelligents :

Pour les décideurs et les acteurs du domaine des transports intelligents, il est recommandé de:

- Encourager l'innovation technologique .
- Favoriser la collaboration intersectorielle.
- Renforcer la formation et la sensibilisation.

Annexes

4.1. Détails des méthodes et des algorithmes utilisés :

Construction du Modèle de Réseau de Neurones Convolutif (CNN) :

Un réseau neuronal convolutif (CNN ou ConvNet) est un type d'architecture de réseau de neurones spécialement conçu pour traiter et analyser des données structurées en grille, comme les images. Il utilise des couches de convolution pour extraire des caractéristiques locales, des couches de pooling pour réduire la dimensionnalité, et des couches entièrement connectées pour effectuer des classifications ou des régressions. Les CNN sont particulièrement efficaces pour les tâches de vision par ordinateur, telles que la reconnaissance d'images et la détection d'objets, car ils peuvent automatiquement apprendre des filtres de détection de caractéristiques directement à partir des données d'entrée.[43][44]

Les algorithmes utilisés :

1. Interface Utilisateur avec PyQt5 :

Widgets et Classes:

Utilisation de QMainWindow pour la fenêtre principale de l'application.

Utilisation de QTabWidget pour gérer différents onglets, dans ce cas, un onglet pour afficher la carte.

Utilisation de QWebView pour intégrer et afficher des cartes Folium dans l'interface utilisateur de PyQt5.

Utilisation de différentes boîtes de dialogue (QFileDialog, QColorDialog, QInputDialog, QMessageBox) pour permettre à l'utilisateur de sélectionner des fichiers, choisir des couleurs, entrer des informations et afficher des messages d'erreur.

Utilisation de QProgressBar pour afficher une barre de progression lors du chargement des fichiers.

Utilisation de QListWidget pour lister les couches ajoutées à la carte.

2. Cartographie avec Folium :

Création de Cartes: Utilisation de Folium pour créer des cartes centrées sur des coordonnées géographiques spécifiques.

Ajout de Couches: Ajout de fichiers GeoJSON et SHP à la carte en utilisant des objets Folium pour afficher des données géospatiales.

3. Manipulation des Données Géospatiales avec GeoPandas :

Lecture des Fichiers: Utilisation de GeoPandas pour lire des fichiers GeoJSON et SHP.

Simplification de la Géométrie: Réduction de la complexité des formes géométriques tout en préservant la topologie pour améliorer les performances.

Création de Buffers: Création de zones tampons autour des géométries existantes, ce qui est utile pour des analyses de proximité ou des zones d'influence.

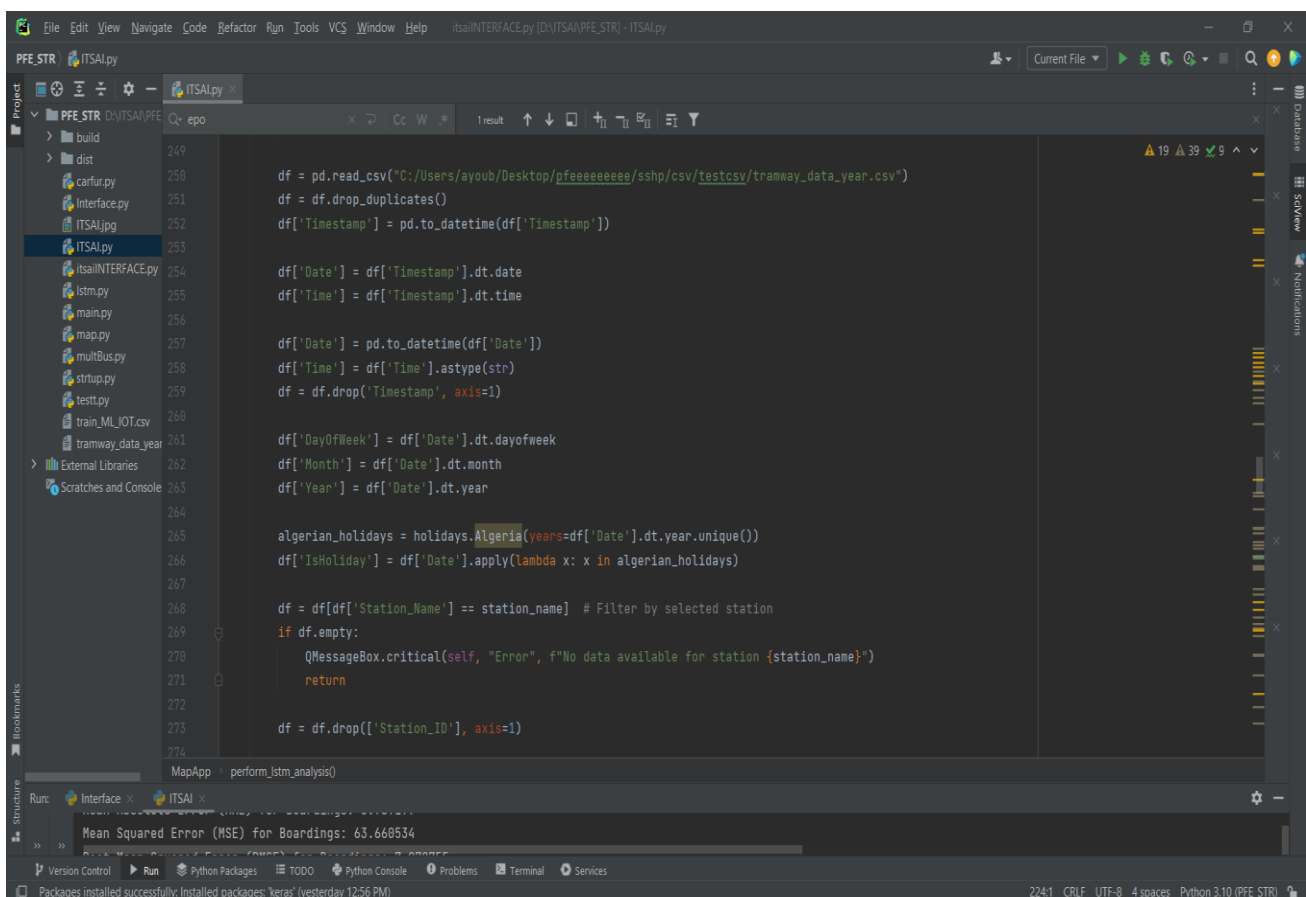
4. Multithreading pour le Chargement de Fichiers :

QThread : Utilisation de threads pour charger et traiter les fichiers en arrière-plan, afin de ne pas bloquer l'interface utilisateur pendant ces opérations.

5. Analyse de la Demande et de l'Offre avec les Réseaux de Neurones LSTM (Long Short-Term Memory) :

Cette étape de notre travail consiste à préparer et à prétraitées les données de transport.

cette étapes pour garantit que les données brutes sont prêtes à être analysées et vous permet d'extraire des informations significatives. Dans la (Figure 4.1).



```
249 df = pd.read_csv("C:/Users/ayoub/Desktop/pfeeeeeeee/sshp/csv/testcsv/tramway_data_year.csv")
250 df = df.drop_duplicates()
251 df['Timestamp'] = pd.to_datetime(df['Timestamp'])
252
253 df['Date'] = df['Timestamp'].dt.date
254 df['Time'] = df['Timestamp'].dt.time
255
256 df['Date'] = pd.to_datetime(df['Date'])
257 df['Time'] = df['Time'].astype(str)
258 df = df.drop('Timestamp', axis=1)
259
260 df['DayOfWeek'] = df['Date'].dt.dayofweek
261 df['Month'] = df['Date'].dt.month
262 df['Year'] = df['Date'].dt.year
263
264
265 algerian_holidays = holidays.Algeria(years=df['Date'].dt.year.unique())
266 df['IsHoliday'] = df['Date'].apply(lambda x: x in algerian_holidays)
267
268 df = df[df['Station_Name'] == station_name] # Filter by selected station
269 if df.empty:
270     QMessageBox.critical(self, "Error", f"No data available for station {station_name}")
271     return
272
273 df = df.drop(['Station_ID'], axis=1)
274
```

Figure 4.1 – Préparations et prétraitements des données

Prétraitement des Données:

Chargement des données depuis des fichiers CSV.

Conversion des timestamps en objets datetime pour extraire des caractéristiques temporelles (jour de la semaine, mois, année).

Identification des jours fériés en utilisant une bibliothèque de jours fériés spécifique au pays.

Normalisation des données pour les rendre compatibles avec les modèles de machine learning.

Modélisation avec LSTM:

Construction de modèles LSTM pour la prédiction de séries temporelles, spécifiquement pour prédire le nombre de montées et descentes dans les stations de tramway.

Entraînement des modèles sur les données historiques pour capturer les tendances et les motifs dans les données temporelles.

Évaluation des Modèles:

Utilisation de métriques d'évaluation telles que l'erreur absolue moyenne (MAE), l'erreur quadratique moyenne (MSE), et la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) pour évaluer la précision des prédictions des modèles.

Préparation des Données pour LSTM:

Transformation des données en séquences pour les rendre adaptées à l'entrée des modèles LSTM, en utilisant une fenêtre glissante pour créer des séquences temporelles.

Algorithmes en Détail:

Simplification de la Géométrie:

Réduction de la complexité des géométries en supprimant des sommets inutiles tout en conservant la structure générale des formes. Cela aide à améliorer les performances d'affichage et de traitement.

Création de Buffers:

Génération de zones tampons autour des entités géométriques existantes pour analyser les zones d'influence ou les proximités.

Prétraitement des Données pour LSTM:

Extraction de caractéristiques temporelles à partir des timestamps pour enrichir les données avec des informations contextuelles comme le jour de la semaine, le mois et les jours fériés.

Normalisation des données pour s'assurer que toutes les valeurs sont sur une échelle comparable, ce qui améliore la convergence des modèles de machine learning.

Modèles LSTM:

Construction et entraînement de modèles LSTM pour capturer les dépendances temporelles dans les données de séries chronologiques.

Utilisation des LSTM pour prédire les futurs points de données en fonction des séquences passées, ce qui est particulièrement utile pour les prévisions de trafic.

4.2. Code source des implémentations logicielles :

Module de collecte et d'intégration de données :

Le développement du Système de Transport Intelligent (STI) nécessite une collecte et une intégration efficaces des données. Ce module est responsable de l'acquisition des données de différentes sources et de leur intégration pour une analyse ultérieure.

Sources de données : Les données proviennent de différentes sources, les données GPS, les directions de transport.

Formats de données: Des données collectées sous forme CSV. Comme le montre la (figure 4.2), (figure 4.3)

Données de fréquentation: Informations sur le nombre d'utilisateurs à chaque station de tramway et arrêt de bus.

Données géospatiales: Localisation des arrêts, des stations, des zones résidentielles...etc.

Normalisation et nettoyage des données : Normalisées et nettoyées les données collectées pour assurer une cohérence dans les formats.

```

ID_Station,Nom_Station,Y,X,Latidue,Longitude
1,Gare routière Sidi Marouf,35.6944427330171,-0.568521244499609,720006.899,3952783.256
2,Université USTO,35.7040505028811,-0.577368154521351,719179.937,3953829.350
3,Hopital 1er Novembre,35.7021211467753,-0.584552454053427,718535.106,3953599.278
4,Cités USTO,35.702083274641,-0.59083160205062,717967.002,3953581.108
5,Carrefour 3 cliniques,35.7023808940847,-0.598786535489688,717246.344,3953596.481
6,Mosquée Ibn Badis,35.6967693759073,-0.605058575637033,716693.977,3952960.067
7,Hammou Moktar - Les castors,35.6970796308946,-0.613762186576891,715905.492,3952975.299
8,Carrefour Maalem,35.6980745944246,-0.618133809479637,715507.198,3953076.070
9,Place Moulay,35.6990626961421,-0.625316832470088,714854.518,3953169.936
10,1er Boulevard,35.6986645244936,-0.630781136519067,714361.099,3953113.811
11,Pont voies ferrées,35.6987779111189,-0.634976811349362,713981.112,3953117.231
12,Gare SNTF,35.6996442737528,-0.638603347233523,713650.620,3953205.442
13,Mellah Ali,35.6997411606312,-0.644034841967506,713158.850,3953204.376
14,Emir Abdelkader,35.7012673754984,-0.646141360371095,712964.165,3953369.119
15,Place du 1er Novembre,35.7037986454115,-0.648965550722852,712701.873,3953643.809
16,Place Mokrani,35.7012626494017,-0.650170571002003,712599.571,3953359.856
17,Tlemcen Houaha,35.697466063589,-0.651321897918541,712505.467,3952936.172
18,M'Dina El Djadida,35.69447718935,-0.650667169215837,712572.654,3952606.008
19,Ghaouti,35.6915205870357,-0.649683619945313,712669.519,3952280.136
20,Palais des sports,35.6890167855583,-0.648404757010941,712791.913,3952005.139
21,Sûreté de la Wilaya,35.6859001116486,-0.647004815127356,712926.902,3951662.415
22,Cité Universitaire,35.6796525476893,-0.64340953619311,713268.942,3950977.123
23,Lycée Les Palmiers,35.6728192509245,-0.639084159795009,713678.684,3950228.450
24,Cité Volontaire - ENSET,35.6639422982526,-0.633607155703165,714198.210,3949255.584
25,Moulay AEK,35.6532544554726,-0.627205924933962,714806.377,3948083.867
26,Sénia Centre,35.6495468009009,-0.624796272596263,715034.505,3947677.816
27,Sénia-Terminus,35.6473785879226,-0.623086637668978,715195.131,3947441.020

```

Figure 4.2 – Stations de Tramways

```

Timestamp,Station_ID,Station_Name,Latitude,Longitude,Boardings,Alightings
2023-01-01 00:00:00,1,Gare routière Sidi Marouf,35.6944427330171,-0.568521244499609,19,10
2023-01-01 00:00:00,2,Université USTO,35.7040505028811,-0.577368154521351,9,10
2023-01-01 00:00:00,3,Hopital 1er Novembre,35.7021211467753,-0.584552454053427,5,8
2023-01-01 00:00:00,4,Cités USTO,35.702083274641,-0.59083160205062,16,13
2023-01-01 00:00:00,5,Carrefour 3 cliniques,35.7023808940847,-0.598786535489688,15,14

```

Figure 4.3 – Les données de tramway par semaine, mois et année

Tables principales de la base de données :

Pour définir une base de données comprenant les entités mentionnées, nous avons créer un tableau répertoriant chaque entité avec ses attributs associés . voici la (Figure 4.4) et le (Tableau 4.1):

Timestamp	Station_ID	Station_Name	Latitude	Longitude	Boardings	Alightings
2023-01-01 00:00:00	1	Gare routière Sidi Marouf	35.6944427330171	-0.588521244499609	15	14
2023-01-01 00:00:00	2	Université USTO	35.7040505028811	-0.577368154521351	19	19
2023-01-01 00:00:00	3	Hopital 1er Novembre	35.7021211467753	-0.584552454053427	18	19
2023-01-01 00:00:00	4	Cités USTO	35.702083274641	-0.59083160205062	6	8
2023-01-01 00:00:00	5	Carrefour 3 cliniques	35.7023808940847	-0.598786535489688	10	10
2023-01-01 00:00:00	6	Mosquée Ibn Badis	35.6967693759073	-0.605058575637033	5	10
2023-01-01 00:00:00	7	Hammou Moktar - Les castors	35.6970796308946	-0.613762186576891	6	18
2023-01-01 00:00:00	8	Carrefour Maalen	35.6980745944246	-0.618133809479637	6	7
2023-01-01 00:00:00	9	Place Moulay	35.6990626961421	-0.625318632470088	9	10
2023-01-01 00:00:00	10	1er Boulevard	35.6986645244938	-0.630781136519067	11	17
2023-01-01 00:00:00	11	Pont voies ferrées	35.6987779111189	-0.634976811349362	10	5
2023-01-01 00:00:00	12	Gare SNIF	35.6996442737528	-0.638603347233523	19	8
2023-01-01 00:00:00	13	Mellah Ali	35.6997411606312	-0.644034841967506	8	6
2023-01-01 00:00:00	14	Emir Abdelkader	35.7012673754984	-0.646141360371095	10	10
2023-01-01 00:00:00	15	Place du 1er Novembre	35.7037986454115	-0.648965503722852	15	15
2023-01-01 00:00:00	16	Place Mokrani	35.7012626494017	-0.650170571002003	6	8
2023-01-01 00:00:00	17	Tlemcen Houaha	35.697469063589	-0.651321897918541	16	18
2023-01-01 00:00:00	18	M'Dina El Djadida	35.69447718935	-0.650667189215837	10	17
2023-01-01 00:00:00	19	Ghazouli	35.6915205870057	-0.649683618945313	13	6
2023-01-01 00:00:00	20	Palais des sports	35.6890167855583	-0.648404757010941	11	11
2023-01-01 00:00:00	21	Sûreté de la Wilaya	35.6859001116486	-0.647004815127356	8	9
2023-01-01 00:00:00	22	Cité Universitaire	35.6796525476893	-0.64340953619311	19	7
2023-01-01 00:00:00	23	Lycée Les Palmiers	35.6728192509245	-0.639084159795009	18	19
2023-01-01 00:00:00	24	Cité Volontaire - ENSET	35.6639422982526	-0.633607155703165	16	19
2023-01-01 00:00:00	25	Moulay AEK	35.6532544554726	-0.627205924833962	18	8
2023-01-01 00:00:00	26	Sénia Centre	35.6495468009009	-0.624796272596263	5	18
2023-01-01 00:00:00	27	Sénia-Terminus	35.6473785879226	-0.62308637868978	6	15
2023-01-01 00:15:00	1	Gare routière Sidi Marouf	35.6944427330171	-0.588521244499609	12	14
2023-01-01 00:15:00	2	Université USTO	35.7040505028811	-0.577368154521351	15	16
2023-01-01 00:15:00	3	Hopital 1er Novembre	35.7021211467753	-0.584552454053427	17	17
2023-01-01 00:15:00	4	Cités USTO	35.702083274641	-0.59083160205062	13	16
2023-01-01 00:15:00	5	Carrefour 3 cliniques	35.7023808940847	-0.598786535489688	6	8

Figure 4.4 – data du tramway.

	Entité	Attributs
1.	ArretBus	- Id_Arret - nom: - localisation - lignesDesservies
2.	Chemin_fer	- idChemin - nom - garesDesservies
3.	Equipements	- idEquipement - type - localisation
4.	GareFerroviaire	- idGare - localisation - lignesDesservies
5.	GareRoutiere	- idGare - nom - localisation - lignesDesservies

6.	LigneBus	- idLigne - nom - arrêtsDesservis
7.	LigneInterUrbaine	- idLigne - nom - arrêtsDesservis
8.	LigneTelepherique	- idLigne - nom -stationsDesservies
9.	Ligne_tramway	- idLigne - stationsDesservies
10.	OD_Secteurs	- OBJECTID - IDSecteurO - IDSecteurD - NBPersonne
11.	Reseau_routier	- idReseau
12.	SecteurEmission_Attraction	- idSecteur - nom - population
13.	StationBus	- idStation - nom - localisation
14.	StationTelepherique	- idStation - nom - localisation
15.	StationTramway	- idStation - nom - localisation
16.	Statistiques_Secteurs	- OBJECTID - IdSecteur - Id_Statistique - Date - POPULATION - EMPLOI - SCOLAIRE - UNIVERSITAIRE - CITES_UNIV
17.	Statistiques_Zones	- OBJECTID - IdZone - Id_Statistique - Date - Commune - IdSecteur - Population - Universitaires

18.	Zones	<ul style="list-style-type: none"> - idZone - nom - localisation
-----	-------	---

Tableau 4.1 – tableau pour définir la base des données.

5. Autres startup sur ce domaine:

5.1. Moovit MaaS Solutions:

Moovit MaaS (Mobility as a Service) Solutions est une plateforme technologique qui permet d'intégrer divers services de transport en une seule application mobile. Moovit propose des solutions de transport multimodal, combinant les transports publics, les services de covoiturage, les vélos en libre-service, les scooters électriques et d'autres moyens de transport partagés. La plateforme utilise des données en temps réel pour fournir des informations précises sur les horaires, les itinéraires et les conditions de circulation, aidant ainsi les utilisateurs à planifier leurs trajets de manière plus efficace et pratique. Moovit est également connu pour ses partenariats avec les municipalités, les opérateurs de transport et les entreprises privées afin de créer des solutions de mobilité sur mesure adaptées aux besoins locaux. En plus des informations sur les transports, Moovit propose des fonctionnalités telles

que la réservation de billets, le paiement intégré et des recommandations personnalisées basées sur les préférences de l'utilisateur et les conditions actuelles du réseau de transport[30].

5.2. Remix by Via:

Remix est une plateforme de planification de transport public développée par Via qui permet aux planificateurs urbains de concevoir, d'analyser et de visualiser les réseaux de transport. Remix offre des outils pour la planification des itinéraires, la simulation des changements de service, et l'évaluation de l'impact des nouvelles lignes ou modifications sur la communauté. La plateforme intègre des données géospatiales et des retours des utilisateurs pour créer des plans de transport efficaces et inclusifs. Remix aide également les villes à optimiser leurs ressources en identifiant les zones nécessitant des améliorations et en facilitant la collaboration entre les différentes parties prenantes[31].

5.3. Optibus:

Optibus est une plateforme basée sur le cloud qui vise à optimiser et améliorer l'efficacité des services de transport en commun. Elle couvre plusieurs aspects de la gestion des transports, y compris la planification des itinéraires, la programmation des horaires, la gestion des équipes et l'exploitation en temps réel. Optibus utilise des données en temps réel et des algorithmes d'optimisation pour améliorer la ponctualité des services, réduire les coûts opérationnels et améliorer l'expérience des passagers. Des entreprises comme Grupo Ruiz en Espagne et RBU Santiago au Chili ont constaté des améliorations significatives en utilisant les solutions d'Optibus[32].

5.4. Trapeze TransitMaster CAD/AVL:

Trapeze TransitMaster CAD/AVL est une solution technologique avancée pour la gestion des flottes de véhicules en temps réel. Cette plateforme maximise l'efficacité des répartiteurs en fournissant des données organisées et priorisées, facilitant ainsi la prise de décisions rapides et informées.

TransitMaster permet le suivi en temps réel des véhicules, la surveillance automatique, et la gestion proactive de la flotte, tout en réduisant les coûts opérationnels. La plateforme intègre également des fonctionnalités de support décisionnel intelligent et des outils d'intelligence d'affaires pour améliorer les opérations des agences de transport[33].

Bibliographie

- [1] Acorel, Gestion des flux dans les transports et communication en temps réel, 27 février 2024.
- [2] Netapp, Artificial-intelligence, Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?
- [3] Futura-sciences, Smart city : qu'est-ce que c'est ?, par Daniel Ichbiah, journaliste, 16 septembre 2023.
- [4] Paradigm.brussels, Propos de la région, La stratégie Brussels Smart City, 2024.
- [5] Synox.io, Quelles sont les caractéristiques d'une ville intelligente ?
- [6] Intelligence-artificielle.com, Développer une infrastructure d'IA pour la smart city, par Vonintsoa R., 2022.
- [7] Synox.io, IoT Smart City : quel réseau IoT choisir pour une ville intelligente ?
- [8] Mammam Kouadri Youcef, Recommendation de transport dans les villes intelligentes, univ-bejaia.dz, 2022/2023.
- [9] ALE International, Trademarks and Copyright, septembre 2022.
- [10] Yves Crozet, Présentation à l'Université de Lyon, 13 octobre 2020.
- [11] AKANEA, Transport international, 5 intérêts majeurs d'opter pour le transport multimodal international, 19 avril 2023.
- [12] Laetitia Montagne, Intermodalité, multimodalité et géoconfluences : une approche intégrée, 18 juin 2024.
- [13] Nahed Taghouti et Aymen Mechi, Le système de transport intelligent, 2023/2024.

- [14] Steve Mazur, Une introduction au transport intelligent : Avantages et exemples, blog de Digi, 9 décembre 2020.
- [15] IFP Énergies nouvelles, Système de transport intelligent et mobilité 3.0 : définition, enjeux et acteurs, 1er octobre 2017.
- [16] Système de transport intelligent, Wikipédia.
- [17] US Department of Transportation, IFPEN, La voiture sans chauffeur de Google (Salon Viva Technology, Paris), photo par Jean-Pierre Dalbéra/Flickr, CC BY, 5 décembre 2017.
- [18] Techno-science.net, Infrastructure de transport - Définition.
- [19] Université de Sétif, Les Technologies de l'Information et de la Communication « TIC ».
- [20] Cchst.ca, Système de gestion, 17 juin 2024.
- [21] Célia Garcia-Montero, Interopérabilité : définition et synonyme, Journaldunet, 6 mai 2022.
- [22] DGITM, Rapport sur les actions nationales envisagées pour la période 2012-2017 Article 17-2 de la directive 2010/40/UE Systèmes de transport intelligents, 27 août 2012.
- [23] Valérie Claver, Les systèmes de transport intelligents, Université d'Aix-Marseille, 2012.
- [24] MAP Transport S.A., Copyright © 2024 | All Right Reserved.
- [25] ISO/IEC/IEEE 42010, Systems and software engineering — Architecture description, fourni par Olimpia.com.
- [26] Lucidchart, Diagramme de classes UML : définition, avantages, composants et exemples, 2024.
- [27] QuestionPro, Sources de données : ce qu'elles sont, types et exemples, 2024.
- [28] Hostinger.fr, Hébergement Web & Nom de domaine, 2004-2024.

[29] Fasih Khan, Copyright © 2024 Astera Software, 10 mai 2024.

[30] Moovit, Shaping the future of urban mobility with MaaS. Disponible sur :

<https://moovit.com/resources/ebooks-and-infographics/maas-solution-brochure-shaping-the-future-of-urban-mobility-with-maas/>

[31] Via, Remix. Disponible sur : <https://ridewithvia.com/solutions/remix>

[32] Optibus, Improving service punctuality for passengers using optimization algorithms.

Disponible sur : <https://optibus.com/case/improving-service-punctuality-for-passengers-using-optimization-algorithms/>

[33] Trapeze Group, ITS Solution Overview. Disponible sur : <https://go.trapezegrup.com/SS-ITS-ITSSolutionOverview.html>

[34] Real Python, Python Folium: Create Web Maps From Your Data. Disponible sur :

<https://realpython.com/python-folium-web-maps-from-data/>

[35] Kaggle, Introduction to NumPy, Pandas and Matplotlib. Disponible sur :

<https://www.kaggle.com/code/chats351/introduction-to-numpy-pandas-and-matplotlib>

[36] FreeCodeCamp, What is Data Analysis? How to Visualize Data with Python, Numpy, Pandas, Matplotlib & Seaborn Tutorial. Disponible sur : <https://www.freecodecamp.org/news/data-analysis-visualization-with-python-numpy-pandas-matplotlib-seaborn/>

[37] Real Python, Introduction to the Python 'os' Module. Disponible sur :

<https://realpython.com/python-os-module/>

[38] Python Documentation, sys — System-specific parameters and functions. Disponible sur :

<https://docs.python.org/3/library/sys.html>

[39] GeeksforGeeks, Working with zip files in Python. Disponible sur :

<https://www.geeksforgeeks.org/working-zip-files-python/>

[40] Python Documentation, tempfile — Generate temporary files and directories. Disponible sur : <https://docs.python.org/3/library/tempfile.html>

[41] Python Documentation, PyQt5. Disponible sur : <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>

[42] Geopandas Documentation, GeoPandas: Python tools for geographic data. Disponible sur : <https://geopandas.org/>

[43] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.

[44] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

Business Model Canevas

5.1. Introduction :

Ce rapport présente le Business Model Canvas pour une application de planification de trajets multimodaux. L'objectif de cette application est d'améliorer l'efficacité des transports urbains en utilisant les technologies de l'information et de l'intelligence artificielle.

5.2. Presentation de notre Business Model Canvas:

L'analyse détaillée des neuf composantes clés du modèle d'affaires:voir (Figure 5.1)

5.2.1. Segments de Clientèle:

Autorités du transport en commun : Travailler avec les autorités pour améliorer les services de transport publics.

Étus : Collaboration avec les opérateurs de bus pour une meilleure gestion des services.

Setram : Collaboration avec les opérateurs de tramways pour une meilleure gestion des services.

Entreprises privées : Proposer des solutions de transport aux entreprises pour leurs employés. Soit entreprise pour transport en commun,soit entreprise qui assure le transport de ses travailleurs

5.2.2. Proposition de Valeur:

Planification de trajets multimodaux : Aider les utilisateurs à planifier des trajets combinant différents modes de transport pour plus de commodité et de rapidité.

Bonne utilisation des ressources urbaines : Optimisation des infrastructures existantes pour réduire la congestion et améliorer l'efficacité du transport. par:

Meilleure distribution des bus selon la demande : Ajustement des horaires et itinéraires des bus en fonction des besoins réels pour une meilleure couverture et satisfaction des usagers.

Augmenter les revenus : Générer des revenus supplémentaires grâce à des services premium et des partenariats stratégiques.

Système de transport intelligent (ITS) : Intégration de technologies intelligentes pour améliorer la gestion et la performance du réseau de transport. exemple:

Bonne performance et utilisation de l'intelligence artificielle : Prédiction des demandes et optimisation des trajets grâce à l'intelligence artificielle.

Réduire les émissions de CO2 : Contribuer à la diminution des émissions de carbone en optimisant les trajets et encourageant l'utilisation des transports en commun. par exemple :

Minimiser la consommation de carburant : Réduction de la consommation de carburant par une planification plus efficace des trajets.

5.2.3. Relation Client:

Assistance clientèle via l'application : Offrir un support client intégré pour résoudre les problèmes et répondre aux questions des utilisateurs en temps réel.

Feedback des utilisateurs pour améliorer les fonctionnalités : Recueillir les avis des utilisateurs pour continuer à améliorer l'application et ses services.

5.2.4. Canaux de Distribution:

Application mobile : Principal moyen de distribution et d'interaction avec les utilisateurs.

Maintenance et stages : Offrir des services de maintenance et des stages pour assurer une performance optimale de l'application. par exemple:

Services de maintenance libre 24h/24 : Assistance continue pour garantir un service ininterrompu.

Contact direct avec les clients : Interaction directe pour un support et un feedback immédiat. par:

Service clients : Assistance dédiée pour répondre aux besoins et questions des utilisateurs.

5.2.5. Activités Clés:

Développement et maintenance de l'application : Assurer que l'application fonctionne efficacement et est mise à jour régulièrement avec de nouvelles fonctionnalités.

Collecte et analyse des données de transport : Utiliser des technologies avancées pour collecter et analyser des données pour optimiser les trajets et les services.

5.2.6. Ressources Clés:

Développeurs et ingénieurs : Une équipe technique compétente pour le développement et la maintenance de l'application.

Partenariats ou contrats avec les fournisseurs de données de transport : Accès aux données nécessaires pour le bon fonctionnement de l'application.

5.2.7. Partenaires Clés:

Autorités de transport en commun : Collaborer avec les autorités locales pour l'accès aux infrastructures et aux données de transport.

Entreprises pour des offres spéciales : Partenariats avec des entreprises pour offrir des réductions et des offres spéciales aux utilisateurs de l'application.

Fournisseurs de données de transport : Acquérir des données précises et en temps réel sur les horaires, les itinéraires et les conditions de transport.

5.2.8. Structure de Coûts:

Développement logiciel et maintenance de l'application : Coûts liés à la création et à la mise à jour de l'application.

Frais de licence pour l'accès aux données de transport : Coûts pour obtenir les données nécessaires.

Coûts de déplacement et de maintenance : Frais associés aux déplacements et à la maintenance des infrastructures.

Frais et charges du bureau et assurance : Coûts opérationnels et administratifs.

Les droits d'auteur, brevets et la marque commerciale : Protection de la propriété intellectuelle.

5.2.9. Flux de Revenues:

Licence d'utilisation : Vendre des licences d'utilisation de l'application. avec :

Contrat d'utilisation par an renouvelable : Offrir des contrats annuels renouvelables pour les services.

Partenariats avec des entreprises pour des fonctionnalités spécifiques : Générer des revenus à travers des partenariats pour des fonctionnalités personnalisées.

Vente des actifs : Vendre des actifs liés à l'application ou aux données. par:

Une version finale avec une licence illimitée : Proposer une version premium avec une licence permanente.

Maintenance : Services de maintenance payants après une période gratuite initiale de trois mois, incluant quatre séances de réparation gratuites pendant cette période.

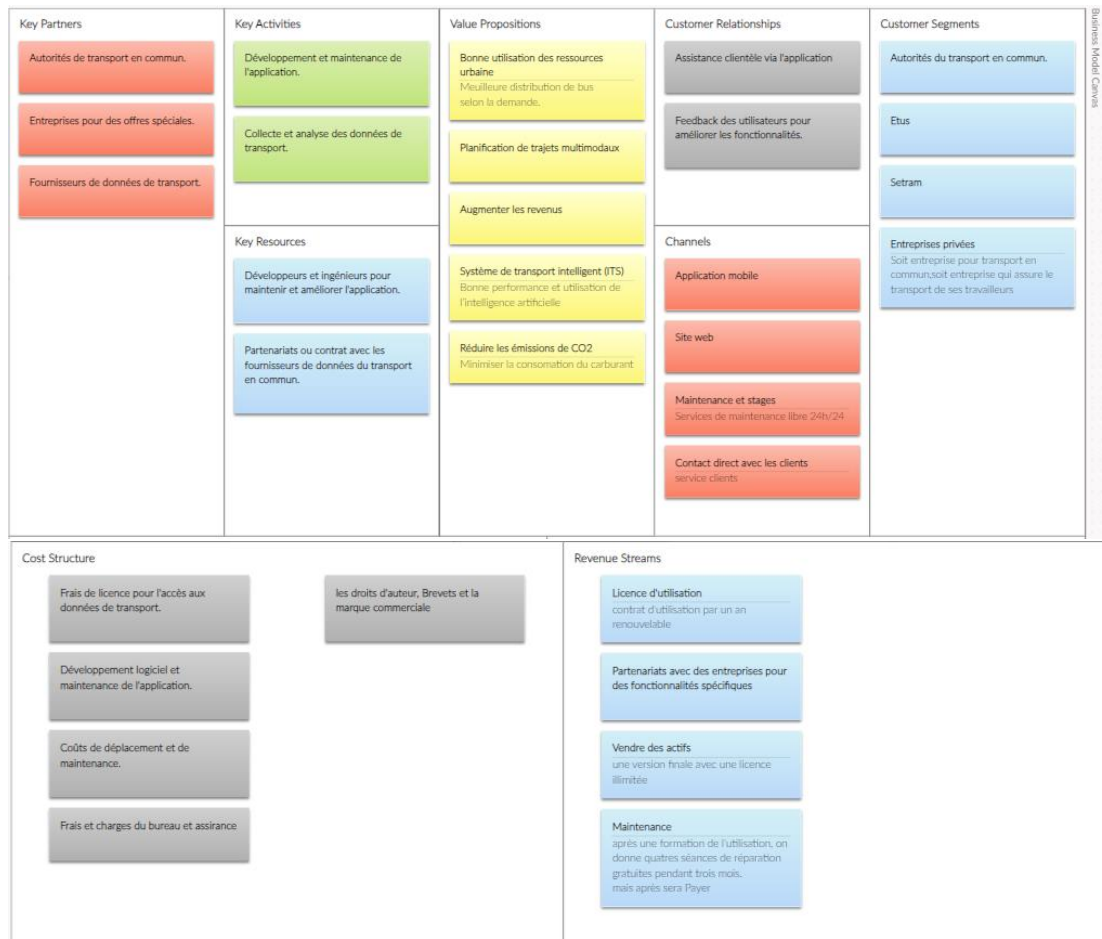


Figure 5.1 – Le Business Model Canvas

5.3. Conclusion:

Le Business Model Canvas décrit ici montre une stratégie bien pensée pour une application de planification de trajets multimodaux. En mettant l'accent sur l'utilisation de la technologie et des données pour améliorer l'efficacité des transports urbains, ce modèle vise à réduire les émissions de CO2 et optimiser l'utilisation des ressources. Les multiples sources de revenus et les partenariats stratégiques assurent la viabilité financière et l'évolution continue de l'application.