République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Ben Ahmed Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Géographie et Aménagement du Territoire

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de

Master en Géographie et Aménagement de territoire,

Option : Géomatique

Intitulé :

Modélisation du Trafic Routier par le Big-Data Spatial : Cas de l'Entrée Sud de la Ville d'Oran

Réalisé par : BENALLOU Ismail Abdelaziz
TURKEMAN Abdelmalek

Jury :	M. ALLAL Nadir Ouassini	M.A.A	Président
	Mme GOURINE BELMEHDI Farida	M.A.A.	Examinatrice
	M. BRAHMI Abderrezak	M.C.B	Encadreur

Année universitaire 2024/2025

Résumé

La gestion du trafic routier constitue un enjeu majeur pour les villes modernes, confrontées à une urbanisation rapide et à une augmentation constante du nombre de véhicules. Dans ce contexte, l'utilisation des technologies avancées telles que le Big Data spatial offre de nouvelles perspectives pour comprendre, modéliser et optimiser les flux de circulation. Le mémoire intitulé *« Modélisation du Trafic Routier par le Big-Data Spatial : Cas de l'Entrée Sud de la Ville d'Oran »* s'inscrit dans cette dynamique en proposant une approche innovante combinant géographie, informatique et intelligence artificielle. À travers une analyse approfondie des données spatiales massives, ce travail vise à améliorer la gestion du trafic routier urbain, en prenant pour exemple concret l'entrée sud de la ville d'Oran en Algérie.

Ce mémoire explore comment les données massives spatiales peuvent être exploitées pour modéliser et gérer efficacement le trafic routier urbain, en prenant pour cas d'étude l'entrée sud de la ville d'Oran, en Algérie. Il combine des approches géographiques, informatiques et d'intelligence artificielle pour proposer des solutions innovantes à la problématique de la congestion routière.

Mots clés : Modélisation du Trafic routier, la gestion du trafic routier, les données spatiales massives, ville d'Oran.

Abstract

Road traffic management is a major challenge for modern cities facing rapid urbanization and a constant increase in the number of vehicles. In this context, advanced technologies like spatial Big Data offer new opportunities to understand, model, and optimize traffic flows. The thesis, titled "Road Traffic Modeling with Spatial Big Data: A Case Study of the Southern Entrance to the City of Oran," addresses this issue by proposing an innovative approach that combines geography, computer science, and artificial intelligence. Through an in-depth analysis of massive spatial data, this research aims to improve urban traffic management, using the southern entrance of Oran, Algeria, as a concrete case study.

This thesis explores how massive spatial data can be leveraged to effectively model and manage urban road traffic, focusing on the case study of the southern entrance to the city of Oran, Algeria. It combines geographical, computer science, and artificial intelligence approaches to propose innovative solutions to the problem of traffic congestion.

Keywords: Road Traffic Modeling, traffic management, spatial big data, Oran city.

ملخص

تُمثل إدارة حركة المرور تحديًا كبيرًا للمدن الحديثة التي تواجه توسعًا عمرانيًا سريعًا وزيادة مستمرة في عدد المركبات. في هذا السياق، يتيح استخدام التقنيات المتقدمة مثل البيانات الضخمة المكانية (Spatial Big Data) آفاقًا جديدة لفهم تدفقات حركة المرور ونمذجتها وتحسينها. تندرج مذكرة التخرج المعنونة بـ **»نمذجة حركة المرور باستخدام البيانات الضخمة المكانية: دراسة حالة المدخل الجنوبي لمدينة وهران «**ضمن هذه الديناميكية، حيث تقترح مقاربة مبتكرة تجمع بين الجغرافيا والمعلوماتية والذكاء الاصطناعي. من خلال تحليل معمق للبيانات المكانية الضخمة، يهدف هذا العمل إلى تحسين إدارة حركة المرور الحضرية، متخذًا المدخل الجنوبي لمدينة وهران بالجزائر كحالة تطبيقية. يستعرض هذا الملخص المحاور الرئيسية التي تناولها البحث، مسلطًا الضوء على المفاهيم الأساسية، والمنهجيات المتبعة، والتطبيقات المرتَقَبة.

يستكشف هذا البحث كيفية استغلال البيانات المكانية الضخمة لنمذجة وإدارة حركة المرور الحضرية بفعالية، مع التركيز على دراسة حالة المدخل الجنوبي لمدينة وهران بالجزائر. وهو يجمع بين المقاربات الجغرافية والمعلوماتية والذكاء الاصطناعي لاقتراح حلول مبتكرة لإشكالية الازدحام المرور.

كلمات مفتاحية: نمذجة الحركة المرورية، تسيير الحركة المرورية، البيانات الفضائية الضخمة، مدينة وهران.

Remerciement

Avant tout, je remercie Allah, le tout puissant qui nous aide et donne la volonté et le courage d'avancer tous les jours pour mener à bien tous ce que nous entreprenons.

Ce travail ne serait pas ce qu'il est à ce jour sans l'aide et l'encadrement de Mr BRAHMI Abderrezak ; nous le remercions pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa disponibilité, ses conseils éclairés et les encouragements durant notre préparation de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Madame la Cheffe Département GOURINE MEHDI Farida et Mr Gourine Bachir et toute l'ensemble du personnel du département d'Aménagement Territoire et Géographique ainsi à mon employeur Mr le chef département Dala Nasreddine et Mr le Coordonnateur Mr Amer Mehali ismail qui grâce à eux nous avons eu la chance de poursuivre nos études dans les meilleures conditions.

Nous remercions également Mme Sidi Ykhlef Soraya et Mr Benkheira Med Lamine et, pour toute l'aide et les conseils qu'il nous a donnés pour le succès de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble des enseignants qui nous ont prodigué une bonne formation de la Géomatique ».

Au final, nous remercions tous ceux qui nous ont apporté leur aide et leur soutien de près ou de loin pour nous aider à y parvenir à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes parents ;

Mon Très Cher Père (Paix à son âme),

Pour son éducation ses conseils et les sacrifices ont façonné la personne que je suis aujourd'hui ; bien qu'il ne soit plus parmi nous. Que dieu lui accorde sa miséricorde et l'accueil en son vaste paradis

Ma très chère maman,

Pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières tout au long de mes études

Merci de m'avoir supportée et soutenue à tous les niveaux pendant ces longues années de travail riches en émotions. J'ai toujours trouvé du réconfort à vos côtés à la maison ou à distance et je ne l'oublierai pas... J'espère que vous êtes fiers de la personne que je suis devenue et de mon parcours, sachez que vous y êtes pour beaucoup ! Je vous embrasse.

Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie.

A ma chère femme et enfants Jouri & Ayoub ;

Avec qui j'ai passé les meilleures années de ma vie, mes enfants ceux qui m'ont apporté de la bonne humeur Merci d'être toujours là pour moi.

A mes chères sœurs et mes frères ;

Avec qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offres de la chance et de bonheur.

Merci d'être toujours là pour moi.

Benallou Ismail Abdelaziz

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes parents ;

Mon Très Cher Papa,

Pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. C'est à travers vos critiques que je me suis réalisée.

Ma très chère maman,

Pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières tout au long de mes études

Merci de m'avoir supportée et soutenue à tous les niveaux pendant ces 6 longues années de travail riches en émotions. J'ai toujours trouvé du réconfort à vos côtés à la maison ou à distance et je ne l'oublierai pas... J'espère que vous êtes fiers de la personne que je suis devenue et de mon parcours, sachez que vous y êtes pour beaucoup ! Je vous embrasse.

Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie.

.

A ma chère sœur et mon frère;

qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offres de la chance et de bonheur.

Merci d'être toujours là pour moi.

- *Merci pour ces bons moments*

Turkeman Abdelmalek

Table des matières

Résumé ..... a
Remerciement ..... b
Dédicace c
Dédicace ..... d
Table des matières ..... e
1 Table des figures : l
2 Table des tableaux : l
Introduction Générale 1
Chapitre 1 : Modélisation du Trafic Routier 3
3 Introduction 1
4 Le trafic routier : 2
4.1 Différents types de trafics : 2
4.2 Variables Individuelles : 3
4.2.1 Suivre un Seul Véhicule 3
4.2.2 Variables Concernant Deux Véhicules : L'Interaction 4
4.3 Analyse du Trafic Routier : 4
4.3.1 Les Comptages de Trafic 5
4.3.2 La Compréhension des Flux : 5
4.4 Gestion du Trafic 6
4.4.1 Les défis de la gestion du trafic 7
4.4.2 Les éléments de base de la gestion du trafic : 7
4.5 L'évolution historique des systèmes de transport intelligents 9
4.5.1 Les composants clés des systèmes de transport intelligents 10
4.6 Comprendre et Modéliser le Trafic Routier en Ville 11
4.6.1 La modélisation du trafic routier : 11
4.6.2 Modèles de données spatiales 13
4.6.3 Modèles de données temporelles 13
4.6.4 Le Réseau Routier Urbain : Un Système Complexe 13
4.6.5 Hiérarchie des Routes : Artères Principales et Secondaires 14

4.6.6 Comprendre les embouteillages : 14
4.6.7 Pourquoi Modéliser le Trafic ? 14
4.6.8 Les Grandes Familles de Modèles de Trafic Aujourd'hui 15
4.6.9 MODELES DE PRESENTATION DE TRAFIC 16
4.7 L'intelligence artificielle et le trafic : 16
4.7.1 Feux de Circulation Intelligents et Optimisation des Signaux 17
4.7.2 L'IA pour la Gestion Prédictive du Trafic 17
4.7.3 Véhicules Autonomes et Contrôle du Trafic Basé sur l'IA 17
4.8 Buts de modélisation du trafic 17
5 Des exemples de gestion et modélisation du Traffic à travers le monde : 18
5.1 L'IA pour fluidifier et sécuriser la circulation en Arabie Saoudite 20
5.1.1 Points clés : 20
5.2 Le réseau routier en Algérie : 21
5.3 Conclusion 22
Chapitre 2 : Le Big Data Spatial 24
6 Introduction : 25
7 Définitions : 26
7.1 Évolution du stockage des données et genèse du Big Data : 26
7.1.1 Croissance exponentielle des données : 27
7.2 Caractéristiques clés du Big Data (5V): 27
7.2.1 Volume : 27
7.2.2 Vélocité : 27
7.2.3 Variété : 28
7.2.4 Véracité : 28
7.2.5 Valeur : 28
7.3 Architectures du Big Data : 29
7.4 Avantages des architectures du Big Data 29
7.5 Big Data et Cloud : 30
7.5.1 Définition et Relation entre Big Data et Cloud 30
7.5.2 Avantages de l'utilisation du Cloud pour le Big Data 31
7.5.3 Défis de l'intégration du Big Data dans le Cloud 32

7.6 Les domaines d'application du Big Data 32
7.6.1 Santé plus intelligente 32
7.6.2 Ventes multicanaux 32
7.6.3 Sécurité intérieure 33
7.6.4 Télécommunications 33
7.6.5 Contrôle du trafic 33
7.7 Négociation boursière Analyse des tendances du marché : 33
7.7.1 Analyses 33
7.7.2 Fabrication 34
7.7.3 Recherche 34
7.7.4 Qualité 34
7.8 Cycle de vie du Big Data : 34
7.8.1 Génération des données : 34
7.8.2 Collecte des données : 35
7.8.3 Stockage des données : 35
7.8.4 Traitement des données : 35
7.8.5 Analyse des données : 35
7.8.6 Visualisation des données : 35
7.8.7 Partage des données : 35
7.8.8 Archivage et suppression des données : 36
7.9 Pourquoi les Données massives (Big Data) sont utiles ? : 36
7.10 Conclusion : 37
7.11 Types de Données Spatiales : 37
7.11.1 Classification des Types de Données Spatiales : 37
7.11.2 Requêtes Spatiales : 38
7.11.3 Données géospatiales versus données géographiques : 38
7.12 Principales sources de données géospatiales open source : 38
7.12.1 USGS Earth Explorer: 38
7.12.2 TIGER/Line Graphic Data : 38
7.12.3 NASA Earth Observations (NEO) : 39

7.12.4 Alaska Satellite Facility : 39
7.12.5 Open Street Map : 39
7.12.6 DIVA-GIS : 39
7.12.7 Esri Sentinel-2 Land Cover Explorer : 40
7.13 Big data spatial : 40
7.13.1 Données massives géospatiales : 40
7.13.2 Caractéristiques des données massives géospatiales 40
7.13.3 Défis spécifiques au Big Data géospatial 41
7.13.4 Sources des Données massives géospatiales : 41
7.13.5 Comprendre l'informatique des données massives pour les applications géospatiales : 42
7.13.6 L'évaluation de la qualité des données spatiales : 42
7.13.7 Présentation de l'informatique des données massives pour les applications géospatiales : 43
7.13.8 Défis liés à la gestion des données géospatiales : 44
7.13.9 Technologies clés pour traiter les dynamiques quantitatives et qualitatives des Données massives géospatiales : 45
7.14 Big data et l'analyse spatial 45
7.14.1 L'impact de la qualité des données sur l'analyse géographique 46
7.15 La géographie face aux données massives : 47
7.15.1 L'impact des big data sur la géographie 48
7.15.2 La Connexion entre la Géographie et les Données massives (Big Data) 49
7.15.3 Pourquoi est-ce Important ? 49
7.15.4 Défis de l'utilisation des Données massives en Géographie 49
7.15.5 Pourquoi les Données massives Géospatiales sont-elles Importantes ? 50
7.16 Le Big Data et ses avantages dans les transports, l'urbanisme et la prise de décision 50
7.16.1 Application du Big Data dans l'industrie des transports : 51
7.17 Systèmes d'Information Géographique et Trafic 52
7.18 Le rôle de la technologie de visualisation du Big Data dans la congestion routière urbaine : 53
7.19 Conclusion : 54

Chapitre 3 : Conception de la Base de Données Spatiale pour le Trafic Routier 55
1 Introduction 56
2 Système de gestion des bases de données 56
3 Répartition temporelle du trafic au rond-point El-Bahia – Oran 57
3.1. Répartition annuelle 57
3.2. Répartition hebdomadaire 57
3.3. Répartition journalière 57
3.1.1 Tranche horaire Niveau de trafic Observations 58
3.4. Analyse du trafic à l'aide d'une application intelligente 58
3.1.2 Méthodologie d'analyse 58
3.1.3 Classification du niveau de trafic 58
3.1.4 Observations générales 59
4 Modélisation du système pour l'analyse du trafic routier 60
4.1. Modèle conceptuel des données 60
4.2. Modèle logique des données 66
4.3. Diagramme de flux (Flowchart) 67
4.4. La régression linéaire 68
La méthode de la régression linéaire et le Traffic routier 69
4.5. La classification supervisée 69
4.6. La méthode d'interpolation 69
La méthode des Splines 70
5 Conclusion 70
Chapitre 4 : Résultats et Discussions 71
1 Introduction 72
2 Présentation de la zone d'Etude 72
2.1 Relief et topographie 73
2.2 Climat 73
2.3 Environnement et urbanisation 73
2.4 Importance Économique 73
2.5 Importance Démographique et Sociale: 74
2.6 Importance Culturelle et Historique : 74
2.7 Importance Stratégique et Logistique : 75

3 Le rond-point d'El Bahia 75
3.1 Caractéristiques et importance 76
3.1.1 Analyse de la carte d'occupation du sol (analyse visuelle) 76
3.1.2 Densité du bâti par rapport à la surface (Analyse visuelle et méthodologie) 77
3.1.3 Localisation : 82
3.1.4 Travaux d'aménagement 82
3.1.5 Contrôle sanitaire 82
3.1.6 Transports en commun 82
3.2 Naissance et fonctionnement initial (avant 2007) 83
3.3 Premières tentatives d'amélioration (2005) 83
3.3.1 Proposition N°01 : 83
3.3.2 Proposition N°02 : 84
3.4 Situation actuelle et nouveaux constats (2024) 84
3.4.1 Analyse visuel: 86
3.4.2 Analyse par Segment (Approche Graphique) : 87
3.5 Proposition d'un Projet futur : un deuxième passage supérieur 106
3.6 Pourquoi ce choix ? 106
3.7 Bilan et perspectives 107
4 De la collecte des données vers la visualisation des données sur Arcgis 107
4.1 L'application phyphox : 107
4.1.1 Comment fonctionne Phyphox ? 107
4.2 Exportation de données depuis Phyphox vers Excel 109
4.3 Identification Géographique 114
4.3.1 Décomposition et Interprétation du Mouvement 114
4.4 ArcGIS 116
4.4.1 Que pouvez-vous faire avec ArcGIS ? 117
4.5 De Excel vers ArcMap : 117
4.6 ModelBuilder 120
5 Conclusion 122
6 L'application TimeTrackVisualizer : 123
6.1 1. Analyse du flux de trafic : 123

6.2 Contrôles avancés de temps et d'échelle de date : 123
6.3 Visualisation de la vitesse par segment : 123
6.4 Visualisation cartographique du flux de trafic : 124
6.5 Cartographie Interactive du Flux de Trafic: 125
6.6 Explication Du Code : 127
6.6.1 Structure et Fonctionnalités Clés : 127
6.6.2 Dépendances Externes (mentionnées dans les imports) : 129
6.6.3 Technologies Utilisées : 129
6.6.4 Nom de la classe : DataProcessor 130
6.6.5 Fonctions de visualisation (Plotly et Folium) 133
6.7 Conclusion 136
Conclusion Générale 137
Bibliographie 139

1 Table des figures :

Figure 1 : Observation générale (croquis) des segments 60
Figure 2 : Modèle conceptuel (Entité-Association) des données.....64
Figure 3 : Flowchart du système d'analyse spatio-temporelle du trafic routier 67
Figure 4 : Carte de la zone d'Etude.....72
Figure 5: la carte d'occupation du sol de la zone d'Etude.....76
Figure 9 : Image qui montre la proposition d'améliorer le Traffic aux niveau du rond-point d'el Bahia ...106
Figure 28 :interface ArcMap.....118
Figure 30 :fenêtre d'ArcGIS pour ajouter les coordonnées.....119

2 Table des tableaux :

Table 1: longueur de routes en Algérie 21
Table 2: nature de véhicules.....22
Table 3 : les données observées (coordonnées des segments).....60
Table 4 : le dictionnaire des données.....66
Table 5 : données de tracé GPS par l'application phyphox.....112

Introduction Générale

La géographie est depuis longtemps familière des grandes masses de données, sous au moins deux formes qui ont précédé de quelques décennies le « déluge » récent du « Big-Data ». Des millions de pixels des images satellitaires qui ont dû être traités pour réaliser par exemple des cartes d'utilisation du sol, et par ailleurs des « interactions spatiales », échanges de toutes sortes (migrations de personnes, commerce de biens, circulation d'information) dont le nombre s'élève au carré celui des unités géographiques considérées ; qui ont posé maints défis face aux capacités, jusqu'à récemment, limitées des ordinateurs.

La géographie s'est aussi très vite jetée dans la vague du Big-Data car beaucoup de ces données apportent des nouveautés intéressantes, du moins dans leur forme mais surtout dans sa valeur d'analyse et d'aide à la décision dans l'aménagement urbain. Les données massives sont individuelles, ce qui intéresse toutes les sciences sociales, mais surtout elles sont très souvent géo-localisées (le pléonasme de l'expression en dit assez la nouveauté), qu'elles soient issues de capteurs disséminés dans l'environnement, des multiples usages de l'Internet, ou d'objets connectés mobiles. (Pumain, 2017).

Cette problématique trouve un écho particulièrement fort au sein de la wilaya d'Oran. En tant que deuxième métropole d'Algérie et hub économique, portuaire et culturel de premier ordre, Oran exerce une attraction qui se traduit par une pression croissante sur son réseau de transport. L'entrée sud de la wilaya, artère névralgique connectant la métropole à son vaste hinterland, est le réceptacle de ces flux convergents. Elle se transforme quotidiennement en un goulot d'étranglement, où la congestion chronique engendre des externalités négatives majeures : pertes économiques, pollution atmosphérique et sonore, et altération de la qualité de vie des résidents et des navetteurs.

Ce constat réel, mais subjectif puisque non quantifié ni analysé, sur le trafic routier souvent congestionné soulève une problématique d'actualité pour les acteurs de l'aménagement urbain : Dans quelle mesure est-il faisable d'exploiter le Big-Data Spatial pour l'analyse du trafic routier autour du rond-point d'El-Bahia ?

En effet, les smartphones fournissent un flux continu de données de localisation des véhicules empruntant la voirie urbaine offrant ainsi une source d'observations assez fiables et pertinentes pour mesurer et analyser le trafic routier. Néanmoins l'exploitation du Big-data engendrer pose un défi de structuration et d'analyse numérique des données.

Face à cette complexité, l'approche scientifique et technique de la géomatique s'impose comme discipline clé. Elle fournit le cadre méthodologique et les outils pour transformer cette masse de données brutes en une connaissance actionnable. Au cœur de l'arsenal géomatique, la synergie

entre le Système d'Information Géographique (SIG) ArcGIS et le langage de programmation Python offre une puissance d'analyse inégalée. ArcGIS, par sa plateforme robuste et son extension Network Analyst, permet de structurer le réseau viaire, d'analyser spatialement les points de congestion et de visualiser les schémas de trafic. Toutefois, c'est l'adjonction de Python, via la bibliothèque arcpy, entre autres, qui permet de transcender l'analyse statique. Python offre la flexibilité nécessaire pour automatiser le traitement de données massives, développer des algorithmes sur mesure et, surtout, construire des modèles de simulation dynamique capables de tester l'impact de différents scénarios d'aménagement (ajout de voies, modification de carrefours, optimisation des feux de signalisation).

L'objectif central de notre étude est donc de mobiliser cette alliance technologique avancée pour modéliser et analyser le trafic routier à l'entrée sud de la wilaya d'Oran. Notre approche s’appuie sur :

- La conception d’une base de données spatio-temporelle robuste et évolutive permettant de caractériser, d’analyser et de visualiser le trafic routier.

- L’élaboration d’une démarche claire déterministe et automatisable pour collecter, traiter analyser et visualiser les données massives spatio-temporelles.

- L’exploration de certaines méthodes d’interpolation et de prédiction pour combler les lacunes éventuelles des observations et/ou pour généraliser aux états du trafic non observé.

Il s'agira, par une analyse géomatique approfondie, de diagnostiquer avec précision les mécanismes de la saturation, puis de développer un modèle de simulation prédictif. In fine, ce travail vise à fournir aux décideurs et planificateurs un outil de suivi des tendances du trafic routier et d'aide à la décision performant pour évaluer des stratégies d'aménagement, optimiser la fluidité du trafic et, ainsi, contribuer à renforcer la durabilité et la compétitivité de la métropole oranaise.

Après cette introduction, le présent manuscrit sera organisé comme suit : le premier chapitre expose les fondements théoriques pour comprendre et modéliser le trafic routier. Le deuxième concerne les notions de base du Big-Data et son rôle dans la modélisation du trafic routier. Ensuite, dans le troisième chapitre, nous décrivant notre solution de modélisation du trafic autour du rond-point d’El-Bahia avant de présenter et discuter les résultats obtenus tout en les rapprochant aux opérations d’aménagement durant les deux dernières décennies et même les propositions en cours d’études.

Chapitre 1 : Modélisation du Trafic Routier

3 Introduction

Le trafic routier est un phénomène complexe d'une part en raison du nombre élevé d'acteurs qui y participent, d'autre part à cause du caractère très maillé du réseau sur lequel il se déroule. Le phénomène le plus marquant dans le trafic routier est la congestion. Pour comprendre la congestion, il faut garder toujours à l'esprit que c'est un phénomène qui survient lorsque la demande (le nombre de véhicules qui cherchent à utiliser une infrastructure donnée) est supérieure à la capacité de cette infrastructure.

La congestion est un problème courant qui touche notre monde sur plusieurs fronts. Que ce soit dans les centres urbains en voie d'extension ou dans les systèmes de transport surchargés. Le grand volume de personnes, de véhicules et d'activités conduit souvent à des embouteillages et à des retards. Les embouteillages encombrent les routes, provoquent des frustrations et font perdre un temps précieux. (Meriem, 2023)

La congestion routière représente aujourd'hui un défi majeur pour de nombreuses villes mondiales, avec des conséquences environnementales (hausse des émissions de gaz à effet de serre, nuisances sonores) et économiques (pertes de temps, retards de livraison) considérables. Pour y remédier, trois principales stratégies sont envisagées : l'expansion des infrastructures, l'amélioration des transports en commun et l'optimisation de la régulation du trafic. (Mouloud, 2021)

. Ce problème a des conséquences négatives sur la qualité de vie des citoyens : temps de parcours long, retards, stress, pollution de l'air et nuisance sonore, etc. Ces embouteillages ont aussi des impacts socio-économiques considérables car ils constituent simultanément : Une perte de temps, un temps qui aurait pu être utilisé pour le travail, les tâches quotidiennes et les loisirs. Et une perte d'argent due à l'augmentation de la consommation du carburant par les automobiles et la perturbation de la régularité dans le transport de marchandises. (Mouloud, 2021)

La croissance démographique et l'augmentation du nombre de véhicules sur les routes engendrent des problèmes significatifs, au premier rang desquels figure la congestion routière. Ce phénomène est une préoccupation majeure pour les spécialistes du transport, car il entraîne une perte de temps considérable pour les conducteurs, génère du stress (facteur potentiel d'accidents et de problèmes de santé) et augmente les risques liés à la pollution atmosphérique due aux émissions des véhicules immobilisés. (Amel, 2022)

Cependant, la construction de nouvelles infrastructures est souvent coûteuse, voire impossible faute d'espace. Une approche plus pragmatique consiste donc à mieux gérer l'infrastructure existante. Cela implique d'optimiser la performance des transports collectifs et de réguler plus

efficacement la circulation, notamment aux intersections complexes, afin d'équilibrer une offre limitée face à une demande de mobilité croissante. (Mouloud, 2021)

Dans cette optique, encourager l'utilisation de transports en commun écologiques, économiques et rapides est essentiel. Le tramway, largement utilisé, peut significativement contribuer à désengorger les routes en réduisant le recours aux véhicules individuels. Il est donc crucial d'améliorer son efficacité (confort, régularité) pour attirer davantage d'usagers. Parallèlement, la régulation du trafic, surtout aux carrefours complexes (trafic mixte), est indispensable pour fluidifier la circulation et répondre aux besoins de sécurité et de temps de parcours des usagers. (Mouloud, 2021)

4 Le trafic routier :

Au niveau le plus haut est la région urbaine, considérée comme une partie de l'infrastructure routière d'une ville. Au niveau suivant, la région est composée de plusieurs objets routiers consistant en tronçons routiers et carrefours, les derniers assurant la connexion des premiers. Au dernier niveau, il Ya les éléments routiers qui sont des parties composant d'un tronçon routier. Les éléments routiers décrivent les différentes situations rencontrées au niveau d'un tronçon. Le trafic routier englobe plusieurs facteurs, entre autres la géométrie des infrastructures routières, le comportement des conducteurs, la diversité des flux de véhicules, etc... Les situations auxquelles sont confrontés les exploitants des réseaux routiers dépendent du type de réseau dont ils ont la charge. En milieu urbain les carrefours à feux côtoient des voies rapides, et le trafic est très hétérogène. En milieu interurbain, le réseau est moins diversifié mais il faudrait tenir compte de certains éléments singuliers comme les rampes d'accès ou les péages. (Samir, 2018)

4.1 Différents types de trafics :

a) ***Trafic normal :***
   C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau projet. (KHIAL)

b) ***Trafic induit :***
   C'est un trafic qui résulte de nouveau déplacement des personnes vers d'autres déviations. (KHIAL)

c) ***Trafic dévié :***
   C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic n'est qu'un transfert entre les différents moyens d'atteindre la même destination. (KHIAL)

d) ***Trafic total :***
   C'est le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme de trafic induit et le trafic dévié. L'accroissement du trafic pose des problèmes très complexes et intervient surtout pour la détermination des caractéristiques des profils en travers et du dimensionnement du corps de chaussées. (KHIAL)

4.2 Variables Individuelles **:**

4.2.1 Suivre un Seul Véhicule

- La Trajectoire :

Le Parcours dans l'espacée le Temps Imaginez que l'on suive une voiture spécifique. Si l'on pouvait noter sa position exacte (par exemple, avec un GPS) à intervalles réguliers (disons, toutes les 10 secondes), on obtiendrait une série de points décrivant son déplacement. (KHIAL)

- Définition :
    - La trajectoire d'un véhicule est l'ensemble des positions successives qu'il occupe dans l'espace, associées aux instants où il passe à ces positions.
    - Simplification : En pratique, on se concentre souvent sur la position longitudinale (x), c'est-à-dire la distance parcourue le long de la route, en fonction du temps (t). On représente cela sur un graphique (plan x, t). La position latérale (rester au milieu de la voie, changer de voie) et la hauteur sont souvent négligées pour les analyses de base du flux.
- Mesurer la Position au Fil du Temps (Mesure en x(t)) Si on enregistre la position x d'un véhicule à chaque seconde, on obtient des points sur le graphique x, t. En reliant ces points, on visualise la trajectoire. (KHIAL)
    - Information Clé : La pente de la courbe x(t) à un instant donné représente la vitesse instantanée du véhicule à cet instant. Une pente forte signifie une vitesse élevée, une pente nulle signifie que le véhicule est arrêté.
    - Précision : Une mesure continue de la vitesse permet de tracer une trajectoire plus réaliste (Figure 1-3b) qu'une simple interpolation entre des points de position discrets.
- Mesurer le Temps de Passage en des Points Fixes (Mesure en t(x)) Une autre approche consiste à placer des observateurs (ou des capteurs) à des positions fixes x le long de la route et à noter l'instant t où le véhicule passe devant chaque point (Figure 1-4). C'est une manière complémentaire d'obtenir des informations sur la progression du véhicule. (KHIAL)
- Autres Variables et Caractéristiques Individuelles Au-delà de la position et du temps, on peut s'intéresser à (KHIAL) :
    - Vitesse (v) : Le taux de changement de la position ($v = dx/dt$).
    - Accélération (a) : Le taux de changement de la vitesse ($a = dv/dt = d^2x/dt^2$). Ces variables décrivent le *mouvement* du véhicule.
- D'autres caractéristiques sont plus *statiques* ou liées au contexte :
    - Véhicule : Longueur, masse, puissance moteur, type...
    - Conducteur : Destination, motif du voyage, style de conduite (calme, agressif) ...
    - Couple Véhicule-Conducteur : La vitesse désirée (vitesse à laquelle le conducteur aimerait rouler si les conditions le permettaient, compte tenu de son véhicule et de la route).

- Temps de Parcours Individuel C'est une mesure très pratique (KHIAL) :
    - Définition : Le temps qu'il faut à un véhicule spécifique pour aller d'un point A (entrée) à un point B (sortie) d'un tronçon de route. C'est la différence entre l'heure de sortie (t_B) et l'heure d'entrée (t_A). Temps Parcours = t_B - t_A.
    - Vitesse Moyenne Individuelle : On peut en déduire la vitesse moyenne du véhicule sur ce tronçon en divisant la distance (D) entre A et B par le temps de parcours : Vitesse Moyenne = D / (t_B - t_A).

4.2.2 Variables Concernant Deux Véhicules : L'Interaction

Le trafic est rarement constitué d'un seul véhicule. Il est donc crucial de décrire comment les véhicules interagissent, notamment lorsqu'un véhicule (suiveur) en suit un autre (leader). On mesure cette relation de deux manières principales (KHIAL) :

- Mesures Spatiales (prises à un instant t donné) :
    - Espacement (ou Distance Inter-Véhiculaire / "Spacing") : La distance entre les points correspondants de deux véhicules successifs (par exemple, entre l'avant du leader et l'avant du suiveur).
    - Créneau Spatial ("Space Gap") : La distance libre entre l'arrière du véhicule leader et l'avant du véhicule suiveur. C'est l'espace "vide" entre eux. Créneau Spatial = Espacement - Longueur du véhicule leader. (KHIAL)
- Mesures Temporelles (prises en un point x fixe de la route) :
    - Temps Inter-Véhiculaire ("Headway") : Le temps qui s'écoule entre le passage du même point (par exemple, l'avant) de deux véhicules successifs devant l'observateur/capteur.
    - Intervalle (ou Créneau Temporel / "Time Gap") : Le temps qui s'écoule entre le passage de l'arrière du véhicule leader et le passage de l'avant du véhicule suiveur devant l'observateur/capteur. C'est le temps "vide" entre leurs passages. Intervalle = Temps Inter-Véhiculaire - (Temps de passage du véhicule leader).

Ces variables décrivant les interactions entre paires de véhicules sont fondamentales pour comprendre les phénomènes de suivi et la capacité des routes. (KHIAL)

4.3 Analyse du Trafic Routier :

L'analyse du trafic est une étape cruciale dans la compréhension des grands flux de circulation au sein d'un territoire (pays ou région). Elle constitue une part significative des études de transport et s'avère fondamentale pour la conception et l'optimisation des réseaux routiers. Cette analyse repose sur plusieurs éléments clés : les statistiques générales, les comptages de trafic sur route (manuels et automatiques), et les enquêtes de circulation (KHIAL).

4.3.1 Les Comptages de Trafic

Les comptages visent à quantifier le volume de véhicules et à déterminer la composition du trafic. C'est un pilier essentiel de toute étude de trafic. On distingue principalement deux méthodes de comptage [1] :

4.3.1.1 Comptages Automatiques :

Réalisés à l'aide d'appareils enregistreurs, souvent équipés de détecteurs pneumatiques (tubes en caoutchouc posés en travers de la chaussée). Ils se subdivisent en :

- Comptages Permanents : Installés de manière continue sur des points stratégiques et représentatifs des axes à fort trafic (réseau autoroutier, routes nationales, chemins de Wilaya les plus fréquentés). Ils fournissent des données sur l'évolution du trafic dans le temps.
- Comptages Temporaires : Effectués périodiquement (par exemple, une fois par an durant un mois de forte affluence) sur le reste du réseau routier, à l'aide de postes de comptage mobiles ou tournants.

4.3.1.2 Comptages Manuels :

Effectués par des observateurs (agents), ces comptages viennent compléter les données issues des systèmes automatiques. Ils permettent notamment de classifier les véhicules de manière plus détaillée et de déterminer la proportion de catégories spécifiques comme les poids lourds ou les transports en commun.

4.3.2 La Compréhension des Flux :

4.3.2.1 Les Enquêtes de Circulation

Pour obtenir une vision plus qualitative du trafic, notamment sur l'origine, la destination et la nature des déplacements, il est souvent nécessaire de compléter les comptages par des enquêtes. Selon les besoins de l'étude, différentes méthodes peuvent être employées :

- Enquêtes "Papillon" ou par Distribution :

  Le principe est de marquer les véhicules entrant dans une zone d'étude délimitée (par exemple, avec un papillon adhésif de couleur différente à chaque entrée ou en distribuant une carte). Aux points de sortie, des observateurs identifient ou récupèrent ces marqueurs, permettant ainsi de reconstituer les itinéraires suivis à l'intérieur de la zone.

- Relevé des Plaques Minéralogiques :

  Cette méthode consiste à enregistrer (souvent à l'aide d'un magnétophone ou d'autres technologies) les numéros d'immatriculation (ou une partie significative) des véhicules passant en différents points clés du réseau. La comparaison des listes de plaques relevées entre différents points permet d'estimer les flux de véhicules et les temps de parcours.

- Interviews de Conducteurs (en bord de route) :

  Méthode directe mais logistiquement complexe et coûteuse. Elle implique d'arrêter un échantillon de véhicules (opération sécurisée, souvent avec l'appui des forces de l'ordre) pour poser quelques questions rapides aux conducteurs (origine, destination, motif du déplacement, fréquence,

itinéraire emprunté). L'enquêteur peut aussi noter le type de véhicule. Bien que contraignante, elle fournit des informations très précises.

- Enquêtes Ménages (à domicile) :

  Une approche plus approfondie où un échantillon représentatif de ménages est interrogé à domicile. L'absence de contrainte de temps permet de poser des questions détaillées sur l'ensemble des déplacements de tous les membres du ménage (tous modes confondus) sur une période donnée. Ce type d'enquête est généralement utilisé pour des études globales de mobilité à l'échelle d'une agglomération, allant au-delà d'un projet routier spécifique. (KHIAL)

4.4 Gestion du Trafic

La gestion du trafic est un moyen de contrôler et d'organiser la circulation des véhicules et des personnes sur les routes. Cela permet à chacun de voyager rapidement et en toute sécurité.

Le trafic peut être géré par de nombreuses approches différentes, mais dépend fortement de la conception des rues. Le premier objectif de la gestion du trafic est de prévenir les conflits entre les usagers de la route. La gestion du volume et de la vitesse du trafic est importante, car ce sont des déterminants fondamentaux du nombre et de la gravité des accidents et des blessures. (Forum, 2021)

La gestion du trafic est un élément très important pour assurer la sécurité et l'efficacité de nos routes. Cela implique de planifier et de contrôler la façon dont les véhicules et les personnes se déplacent sur les routes. Voici un aperçu détaillé de ce que signifie la gestion du trafic et de son importance (Forum, 2021) :

- Qu'est-ce que la gestion du trafic ? La gestion du trafic fait référence aux méthodes et stratégies utilisées pour contrôler la circulation des véhicules et des piétons sur les routes. C'est comme si vous organisiez un grand événement où de nombreuses personnes vont et viennent. Tout comme vous devez diriger les gens pour éviter le chaos, la gestion du trafic permet de diriger les voitures et les vélos afin de prévenir les accidents et les embouteillages.

- Pourquoi la gestion du trafic est-elle importante ?L'objectif principal de la gestion du trafic est d'assurer la sécurité de tous les usagers de la route. Cela inclut les conducteurs, les passagers, les cyclistes et les piétons. Par exemple, si les feux de circulation ne fonctionnent pas correctement, les voitures peuvent ne pas s'arrêter aux intersections, ce qui peut entraîner des accidents. Une bonne gestion du trafic permet de prévenir de telles situations. (Forum, 2021)

- Comment fonctionne la gestion du trafic ? La gestion du trafic utilise différents outils et techniques. Certains d'entre eux incluent :

  a) ***Feux de circulation :***
  Ce sont les feux qui indiquent aux voitures quand elles doivent s'arrêter et partir. Ils aident à organiser la circulation aux intersections achalandées.

  b) ***Panneaux routiers :***
  Les panneaux fournissent des informations importantes, telles que les limites de vitesse ou les directions. Ils guident les conducteurs et contribuent à assurer la sécurité de tous.

  c) ***Caméras de circulation :***
  Elles sont utilisées pour surveiller la circulation et peuvent aider à gérer les embouteillages. Ils peuvent également être utilisés pour attraper les conducteurs qui enfreignent les règles.

d) ***Marquage routier :***
Les lignes sur la route, telles que les séparateurs de voies et les passages pour piétons, aident à organiser la circulation et à assurer la sécurité des piétons.

4.4.1 Les défis de la gestion du trafic

La gestion du trafic peut être difficile en raison de divers facteurs (Croft, 2015) :

a) ***Volume de trafic élevé :***
Aux heures de pointe, de nombreuses voitures circulent, ce qui peut entraîner des embouteillages. La gestion du trafic doit trouver des moyens de faire en sorte que les choses se déroulent sans heurts.

b) ***Accidents :***
Lorsque des accidents surviennent, ils peuvent bloquer les routes et entraîner des retards. La gestion du trafic doit réagir rapidement pour dégager la zone et diriger le trafic.

c) ***Conditions météorologiques :***
La pluie, la neige ou le brouillard peuvent rendre la conduite dangereuse. La gestion du trafic doit ajuster les signaux et émettre des avertissements pour assurer la sécurité de tous.

d) Innovations en matière de gestion du trafic

Les nouvelles technologies modifient la façon dont le trafic est géré. Par exemple :

a) ***Feux de signalisation intelligents :***
Ils peuvent changer en fonction des conditions de circulation en temps réel, ce qui contribue à réduire les temps d'attente.

b) ***Applications mobiles :***
De nombreuses applications fournissent des mises à jour du trafic en temps réel, aidant les conducteurs à choisir les meilleurs itinéraires pour éviter les embouteillages.

4.4.2 Les éléments de base de la gestion du trafic :

La gestion du trafic consiste à s'assurer que les véhicules et les personnes se déplacent en toute sécurité et en douceur sur les routes. Cela implique de planifier et de contrôler les flux de trafic. Voici les éléments de base de la gestion du trafic expliqués en termes simples (Croft, 2015) :

- Flux de circulation : il s'agit de la façon dont les véhicules et les piétons se déplacent sur la route. Une bonne fluidité de la circulation signifie que les voitures, les bus et les vélos peuvent circuler sans trop d'arrêts. Imaginez une rivière qui coule doucement ; s'il n'y a ni rochers ni obstacles, l'eau se déplace librement. Dans le trafic, nous voulons éviter les embouteillages et les retards.

- Dispositifs de contrôle de la circulation : il s'agit de panneaux, de signaux et de marquages routiers qui aident à guider les conducteurs et les piétons. Par exemple, les panneaux d'arrêt indiquent aux conducteurs de s'arrêter, tandis que les feux de signalisation indiquent quand les voitures peuvent rouler ou s'arrêter. Considérez ces appareils comme des professeurs de circulation, qui montrent à chacun comment se comporter sur la route.

- Conception des routes : Cela implique la façon dont les routes sont construites et organisées. Les routes bien conçues ont des voies dégagées, suffisamment d'espace pour les voitures et des passages sûrs pour les piétons. Imaginez un terrain de jeu bien organisé où les enfants peuvent

jouer sans se croiser. Une bonne conception des routes permet de prévenir les accidents et d'assurer la sécurité de tous.

- Règles de circulation : Ce sont les règles que tout le monde doit suivre lorsqu'il utilise la route. Il s'agit notamment des limites de vitesse, des règles concernant le port de la ceinture de sécurité et des lois interdisant la conduite en état d'ébriété. Tout comme dans un jeu où tout le monde doit suivre les règles pour jouer équitablement, le code de la route contribue à assurer la sécurité de tous sur la route.

- Surveillance de la circulation : cela signifie garder un œil sur la façon dont le trafic se déplace. Les autorités utilisent des caméras et des capteurs pour détecter les endroits où la circulation est dense ou les accidents. C'est comme si un entraîneur regardait un match pour voir ce qui va bien et ce qui doit être amélioré. Ces informations permettent de prendre de meilleures décisions en matière de trafic.

- Sensibilisation et éducation du public : Il est très important d'enseigner aux gens la sécurité routière. Les campagnes peuvent informer les conducteurs des dangers liés aux excès de vitesse ou de l'importance d'utiliser les clignotants. C'est comme une école où tout le monde apprend à être prudent et responsable sur la route.

- Intervention d'urgence : c'est la rapidité avec laquelle les secours peuvent arriver en cas d'accident ou de problème sur la route. Les équipes d'intervention rapide, comme la police ou les ambulances, sont essentielles pour résoudre les accidents et aider les personnes blessées. Imaginez un exercice d'incendie à l'école ; tout le monde doit savoir quoi faire en cas d'urgence pour rester en sécurité.

- Pratiques durables : Cela implique l'utilisation de méthodes respectueuses de l'environnement. Encourager les transports en commun, le vélo ou la marche à pied peut réduire la circulation et la pollution. C'est comme choisir de marcher plutôt que de parcourir de courtes distances pour garder l'air propre et sain.

- Les Systèmes de Transport Intelligents :

Les Systèmes de Transport Intelligents (STI) améliorent la sécurité, la fluidité (mobilité) et l'efficacité du transport terrestre en appliquant des technologies de détection, d'analyse, de contrôle et de communication. Ils regroupent de nombreuses applications visant à réduire les embouteillages, optimiser la gestion du trafic, minimiser l'impact environnemental et accroître les bénéfices du transport pour les entreprises et le public. Faisant partie de l'Internet des Objets (IoT), les STI intègrent l'informatique et l'électronique, utilisant les communications sans fil (pour connecter véhicules entre eux (V2V), avec l'infrastructure (V2I), d'autres usagers et le cloud) et filaires. (ABDALLAH BERRHAIL & BENSAHA, 2022)

(Les Systèmes de Transport Intelligents (STI) consistent à appliquer des technologies avancées (détection, analyse, contrôle, communication) au transport terrestre. L'objectif principal est d'en améliorer la sécurité, la mobilité et l'efficacité générale. Concrètement, les STI offrent une vaste gamme d'applications qui exploitent et partagent des données pour fluidifier la circulation (réduire les embouteillages), optimiser la gestion du trafic, limiter l'impact sur l'environnement et rendre le transport plus avantageux pour tous (usagers commerciaux et public). Intégrés à l'Internet des Objets

(IoT), les STI marient l'informatique et l'électronique, reposant sur des communications V2V (véhicule à véhicule) et V2I (véhicule à infrastructure) via des réseaux sans fil et filaires, connectant ainsi les véhicules entre eux, aux autres usagers, et aux infrastructures locales ou dans le cloud.) (ABDALLAH BERRHAIL & BENSAHA, 2022)

4.5 L'évolution historique des systèmes de transport intelligents

L'expression « Systèmes de Transport Intelligents » se traduit par « Systèmes de transport intelligents » (ITS). Ces systèmes sont conçus pour améliorer l'efficacité et la sécurité des transports grâce à la technologie. Décrivons étape par étape le développement historique de ces systèmes. (Meriem, 2023)

- Développements précoces : L'idée d'utiliser la technologie dans les transports est née il y a longtemps. Dans les années 1960 et 1970, les chercheurs ont commencé à explorer comment les ordinateurs pouvaient aider à gérer le trafic. C'était le début de l'utilisation de la technologie pour résoudre les problèmes de transport. Par exemple, les feux de circulation étaient contrôlés manuellement, mais à l'aide d'ordinateurs, ils pouvaient être ajustés en fonction des conditions de circulation en temps réel.

- Les années 1980 et 1990 : Au cours de ces décennies, des technologies plus avancées ont été introduites. L'utilisation de la technologie du système de positionnement mondial (GPS) est devenue populaire. Le GPS aide les gens à connaître leur position exacte et à trouver les meilleurs itinéraires. Il s'agissait d'un grand pas en avant car cela a permis aux conducteurs d'éviter les embouteillages et de se rendre à destination plus rapidement. En outre, le développement de systèmes électroniques de péage a permis aux conducteurs de payer plus facilement les péages sans s'arrêter.

- Le rôle de la communication : À mesure que la technologie progressait, la communication entre les véhicules et les infrastructures (comme les feux de signalisation et les panneaux de signalisation) est devenue importante. C'est ce que l'on appelle la communication véhicule-infrastructure (V2I). Par exemple, un feu de signalisation peut envoyer des informations à une voiture sur le moment où il va changer, aidant ainsi le conducteur à prendre de meilleures décisions. Cette communication permet de réduire les accidents et d'améliorer la fluidité du trafic.

- Les années 2000 et au-delà : Dans les années 2000, les systèmes de transport intelligents sont devenus plus intégrés. Cela signifie que différentes technologies ont commencé à fonctionner ensemble. Par exemple, les centres de gestion du trafic pourraient surveiller le trafic provenant de diverses sources, telles que des caméras et des capteurs, afin de mieux gérer les embouteillages. L'introduction d'applications mobiles a également permis aux utilisateurs de recevoir des mises à jour en temps réel sur les conditions de circulation, les horaires des transports en commun, etc.

- Tendances actuelles : Aujourd'hui, les ITS continuent d'évoluer avec l'essor des villes intelligentes. Il s'agit de zones urbaines qui utilisent la technologie pour améliorer la qualité de vie de leurs habitants. Par exemple, les feux de signalisation intelligents peuvent s'adapter aux conditions de circulation et les systèmes de transport public peuvent fournir des mises à jour en temps réel aux passagers. L'objectif est de créer une expérience de voyage fluide pour tous.

- Conclusion : L'évolution historique des systèmes de transport intelligents montre comment la technologie a transformé les transports. De la simple gestion du trafic aux systèmes complexes qui communiquent et s'adaptent, les ITS jouent un rôle crucial pour rendre les déplacements plus sûrs et plus efficaces. À mesure que la technologie progresse, nous pouvons nous attendre à de nouvelles améliorations dans la façon dont nous nous déplaçons dans nos villes et au-delà.

En résumé, les systèmes de transport intelligents ont parcouru un long chemin depuis leurs débuts. Ils utilisent désormais une technologie de pointe pour gérer le trafic, améliorer la sécurité et améliorer l'expérience de voyage globale. (Meriem, 2023)

4.5.1 Les composants clés des systèmes de transport intelligents

Les systèmes de transport intelligents (STI) sont des systèmes avancés qui utilisent la technologie pour améliorer les transports. Ils contribuent à rendre les voyages plus sûrs, plus efficaces et plus respectueux de l'environnement. Voici les principaux composants de ces systèmes expliqués en termes simples (Meriem, 2023) :

- Systèmes de gestion du trafic :

Ces systèmes surveillent et contrôlent la circulation sur les routes. Ils utilisent des caméras et des capteurs pour recueillir des informations sur le nombre de voitures sur la route et leur vitesse de déplacement.

Par exemple, en cas d'embouteillage, le système peut modifier les feux de signalisation pour aider les voitures à se déplacer plus facilement. C'est comme si un chef d'orchestre dirigeait un orchestre pour s'assurer que tout fonctionne en harmonie. (Meriem, 2023)

- Communication véhicule-infrastructure :

Cette technologie permet aux véhicules de communiquer avec les feux de circulation, les panneaux de signalisation et d'autres infrastructures.

Par exemple, une voiture peut recevoir des informations sur les prochains feux de circulation, lui indiquant quand il faut ralentir ou accélérer. Imaginez que votre voiture discute avec les feux de signalisation pour savoir quand vous devez vous arrêter ou partir, tout comme nous écoutons les instructions d'un professeur. (Meriem, 2023)

- Gestion des transports publics :

Ce volet se concentre sur l'amélioration des services de transport public tels que les bus et les trains. Il permet de planifier, de suivre et de fournir des informations en temps réel aux passagers.

Par exemple, si un bus est en retard, le système peut informer les passagers via une application ou un affichage à l'arrêt de bus. C'est comme avoir un ami qui vous tient toujours au courant de l'arrivée du bus. (Meriem, 2023)

- Systèmes d'intervention d'urgence :

Ces systèmes aident les services d'urgence tels que les ambulances et les camions de pompiers à réagir rapidement en cas d'incident. Ils peuvent faire passer les feux de circulation au vert pour les véhicules d'urgence, ce qui leur permet d'atteindre leur destination plus rapidement.

C'est comme si vous donniez un laissez-passer VIP aux véhicules d'urgence afin qu'ils puissent traverser la circulation sans délai, comme une célébrité pourrait éviter la file d'attente lors d'un concert. (Meriem, 2023)

- Systèmes d'information utilisateur :

Ces systèmes fournissent des informations aux voyageurs sur les conditions de circulation, les fermetures de routes et les temps de trajet. Ils peuvent être trouvés sur des sites Web, des applications ou des panneaux électroniques sur la route.

Par exemple, s'il y a un barrage à venir, le système peut proposer des itinéraires alternatifs. C'est comme si vous disposiez d'une carte qui non seulement vous indique où aller, mais qui vous avertit également des obstacles rencontrés en cours de route. (Meriem, 2023)

- Collecte et analyse des données :

L'ITS s'appuie sur la collecte de données provenant de diverses sources, telles que des caméras de circulation et des capteurs, pour analyser les modèles et améliorer les systèmes de transport.

Par exemple, en étudiant les données de trafic, les villes peuvent décider où construire de nouvelles routes ou ajouter des feux de signalisation. C'est comme si un détective rassemblait des indices pour résoudre un mystère sur la manière d'améliorer la fluidité du trafic. (Meriem, 2023)

- Solutions de stationnement intelligentes :

Ces solutions aident les conducteurs à trouver rapidement les places de stationnement disponibles. Ils utilisent des capteurs pour détecter si une place de parking est libre et partagent ces informations avec les conducteurs via des applications.

Imaginez qu'un ami vous dise exactement où vous garer dans une zone bondée, ce qui vous fera gagner du temps et vous évitera de la frustration. (Meriem, 2023)

4.6 Comprendre et Modéliser le Trafic Routier en Ville

4.6.1 La modélisation du trafic routier :

Le domaine de la modélisation du trafic routier vise à comprendre son évolution. Dans les dernières années, plusieurs modèles du trafic ont été proposés dans l'objectif de géolocaliser embouteillages au sein du trafic, détecter des motifs dans le trafic routier, estimer l'état du trafic etc. La plupart des modèles proposés considèrent le trafic routier en termes de ses constituants ou comme une entité agrégée en fonction de l'échelle choisie et expliquent l'évolution du trafic quantitativement en tenant compte des relations entre les variables de trafic comme le flot, la densité et la vitesse. Ces modèles décrivent le trafic en utilisant des données très précises acquises par différents capteurs. La précision des données rend son calcul coûteux en termes de ressources requises. (Oberoi, 2019)

Les modèles spatio-temporels qualitatifs définissent l'effet des différentes entités les unes sur les autres en termes de relations spatiales. L'evolution spatio-temporelle du phénomène modélisé est représenté par la variation temporelle de ces relations. La prise en compte des en tités du trafic et des relations spatiales formalise une structure qui peut être représentée en utilisant un graphe, où les noeuds modélisent des entités et les arcs des relations spatiales. Par conséquent, l'evolution du trafic, modélisée

via ce graphe, devient l'évolution du graphe et peut être représenté en termes de la variation de la structure du graphe ainsi que celle des attributs de ses noeuds et de ses arcs. Dans cette thèse, nous proposons une modélisation du trafic routier de ce type basée sur la théorie des graphes. (Oberoi, 2019)

Le trafic routier est un phénomène spatio-temporel. C'est un phénomène car il peut être observé soit en termes d'éléments individuels, soit comme un « tout » collectif unique. Il est spatio-temporel car les éléments individuels du trafic se déplacent dans l'espace au fil du temps. De plus, d'un point de vue quantitatif, les données de trafic décrivent l'état du trafic en un point donné de l'espace et du temps, et de telles données, acquises sur un certain intervalle spatio-temporel, montrent l'évolution du trafic sur cet intervalle. (Oberoi, 2019)

Le domaine de la Modélisation Spatio-Temporelle traite de la représentation des phénomènes spatio-temporels des points de vue quantitatif et qualitatif. Les chercheurs en bases de données ont développé divers modèles de données capables de représenter de tels phénomènes dans la base de données, qui peuvent être interrogés pour extraire les informations requises. Les modèles développés considèrent le phénomène comme étant représenté en termes de ses constituants, appelés entités, auxquelles des attributs peuvent être associés. Les bases de données géographiques disposent de fonctionnalités supplémentaires pour extraire des connaissances spatiales sur le phénomène à partir des données stockées. Elles considèrent les entités en termes de leurs primitives géométriques (points, lignes, polygones) et calculent des relations spatiales qualitatives entre elles en utilisant les données quantitatives acquises. Ces relations spatiales sont utiles pour le raisonnement qualitatif sur le phénomène modélisé. (Oberoi, 2019)

- Le module DataSources (Sources de Données) se concentre sur l'acquisition des données brutes de trafic en utilisant différents types de capteurs. Globalement, nous différencions deux types - Perception et Non-Perception. Les capteurs de perception sont des capteurs basés sur la vision comme les caméras, les LiDARs, les RADARs, etc., qui collectent des images et/ou des vidéos de scènes de trafic. De tels capteurs peuvent être montés à bord des véhicules, sur des éléments d'infrastructure en bord de route comme les panneaux de signalisation et les bâtiments, ou aux intersections. Les capteurs de non-perception acquièrent des données de trafic telles que le débit, la densité, les intervalles inter-véhiculaires, la localisation GPS des véhicules ainsi que les données internes des véhicules collectées via le bus CAN (Controller Area Network). Ces capteurs peuvent également être à bord des véhicules, comme le capteur GPS, le bus CAN, etc., ou externes, comme le compteur à boucle inductive qui est intégré sous la surface de la route. Comme il s'agit d'un flux de travail global, nous considérons de nombreux types de capteurs. Cependant, il peut être restreint selon les besoins. (Oberoi, 2019)

- Le module Extraction est responsable de l'extraction des informations pertinentes à partir des données brutes collectées par différents capteurs. Ce module représente les algorithmes existants développés pour le traitement des images, vidéos, nuages de points ainsi que des données de véhicules et de trafic non issues de la perception. Ces algorithmes détectent différentes classes d'objets et les données pertinentes sur chaque classe. Pour le périmètre de cette thèse, le choix de tels algorithmes prêts à l'emploi (« off-the-shelf ») n'importe pas, cependant, ils devraient être comparés selon des critères tels que la performance, le type de données traitées.

Le domaine de la Modélisation du Trafic est au centre des recherches depuis plusieurs décennies. Considérant le trafic comme analogue aux fluides, les physiciens ont développé divers modèles de trafic en appliquant les concepts de la dynamique des fluides. (Oberoi, 2019)

4.6.2 Modèles de données spatiales

Les modèles de données spatiales peuvent être différenciés des modèles de données non spatiaux en termes du type d'entités qu'ils considèrent et des relations (2.2 modélisation spatio-temporelle 17) entre elles. De tels modèles sont utilisés pour représenter les phénomènes spatiaux qui impliquent la description d'entités spatiales avec des relations spatiales entre elles, comme l'a noté Peuquet, 1984[37]. Une description détaillée des entités et relations spatiales est donnée dans la Section 2.2.1.1. Les modèles spatiaux décrivent le monde réel continu qui peut être représenté de manière abstraite selon les besoins de l'application. Goodchild, Haining et Wise, 1992[38] soulignent que l'abstraction requise pour concevoir un modèle numérique à partir de la réalité joue un rôle important dans la détermination de la complexité du modèle et de la quantité d'informations que le modèle représente. (Oberoi, 2019)

4.6.3 Modèles de données temporelles

La modélisation de phénomènes du monde réel variant continuellement nécessite l'incorporation de connaissances temporelles dans le modèle. L'importance du temps dans la modélisation des données peut être comprise du fait que Clifford et Warren, 1983[39] ont plaidé pour le développement de modèles ayant la dimension temporelle comme partie inhérente du modèle lui-même. Il a été avancé que cela conduirait à une modélisation cohérente des variations du phénomène modélisé, car les données passées ne seraient pas « oubliées ». Au fil des ans, divers modèles de données temporelles ont été proposés. Un travail remarquable dans cette direction fut celui de Snodgrass et Ahn, 1986[40] où trois types différents de temps valide, de transaction et défini par l'utilisateur - ont été considérés. Le *temps valide* se réfère au moment où l'information modélisée dans la base de données était ou sera vraie ou valide. Le *temps de transaction*, en revanche, se réfère au moment où les données sur le monde réel ont été ajoutées dans la base de données. Le *temps défini par l'utilisateur* est utilisé pour modéliser des informations temporelles supplémentaires non modélisées avec le temps valide ou de transaction. (Oberoi, 2019)

4.6.4 Le Réseau Routier Urbain : Un Système Complexe

Imaginez une ville : son réseau routier est conçu pour que les gens (les usagers) puissent aller d'un point A à un point B. Ce réseau est un ensemble de routes, plus ou moins larges (avec plus ou moins de voies), reliant les zones où les gens vivent et celles où ils travaillent ou ont des activités. (Faye, 2014)

En ville, les routes se croisent très souvent. Ces points de croisement sont appelés intersections (ou carrefours). Leur rôle est crucial :

- Gérer les conflits : Elles organisent le passage des véhicules venant de directions différentes pour éviter les accidents.
- Assurer la fluidité : Elles préviennent les blocages complets du trafic (interblocages).
- Permettre les changements de direction : Elles offrent aux conducteurs la possibilité de changer de route.

Pour réguler le trafic à ces intersections, on utilise différentes méthodes :

- Règles de priorité : Comme la priorité à droite (courante en France).
- Carrefours giratoires (ronds-points) : Qui fluidifient le trafic dans certains cas.
- Feux de circulation (feux rouges) : Pour gérer les intersections plus complexes ou dangereuses.

En résumé, on peut voir le réseau routier urbain comme un ensemble d'intersections reliées par des routes, sur lequel on ajoute des éléments de gestion comme les panneaux ou les feux. (Faye, 2014)

4.6.5 Hiérarchie des Routes : Artères Principales et Secondaires

Toutes les routes n'ont pas la même importance. On les classe souvent en fonction de leur usage et de leur capacité (combien de véhicules elles peuvent accueillir) : (Faye, 2014)

- Artères Principales : Ce sont les axes majeurs qui concentrent une grande partie du trafic. Elles sont souvent constituées de plusieurs intersections alignées. Pensez aux grands boulevards ou avenues.
- Artères Secondaires : Ce sont les routes moins importantes qui se connectent aux artères principales à chaque intersection. Pensez aux rues de quartier.

Cette distinction est utile pour :

- Coordonner les feux : Traditionnellement, on synchronise les feux le long des artères principales pour créer des "ondes vertes".

4.6.6 Comprendre les embouteillages :

Ils ont tendance à se former d'abord sur les artères principales où le trafic est le plus dense.

4.6.7 Pourquoi Modéliser le Trafic ?

Décrire et comprendre comment le trafic fonctionne sur ce réseau est essentiel. Cela sert à deux choses principales : (Faye, 2014)

- Planification : Savoir comment le trafic circule aide à décider où faire des travaux, comment les organiser, ou s'il faut construire de nouvelles routes ou élargir les anciennes.
- Simulation et Anticipation : Aujourd'hui, on utilise des modèles informatiques pour simuler le trafic. Ces simulations permettent d'anticiper les problèmes (comme les embouteillages ou les zones à risque d'accidents) et de tester virtuellement des solutions avant de les appliquer dans la réalité.
- L'Évolution de la Modélisation du Trafic : L'étude scientifique du trafic n'est pas nouvelle. Dès les années 1930, des chercheurs comme Greenshields ont commencé à analyser des concepts clés : (Faye, 2014)
- Densité : Le nombre de véhicules sur une portion de route.
- Capacité : Le débit maximal qu'une route peut supporter.
- Vitesse : La vitesse moyenne des véhicules.

Dans les années 1950, la recherche s'est intensifiée, explorant :

- Le fonctionnement des intersections (Greenshields).
- Le comportement des conducteurs, notamment comment un véhicule en suit un autre (Chandler).
- Les notions de débit (flux de véhicules) (Lighthill).
- L'application de la théorie des files d'attente (comme les files d'attente au supermarché, mais pour les voitures) (Wardrop).

4.6.8 Les Grandes Familles de Modèles de Trafic Aujourd'hui

Ces travaux pionniers ont posé les bases. Mais depuis, les conditions de circulation ont beaucoup changé (plus de voitures, de technologies), tout comme les outils mathématiques et informatiques. De nombreux nouveaux modèles sont apparus. On les classe généralement en quatre catégories, selon le niveau de détail qu'ils considèrent [HB01] (voir Figure 2.2 pour une illustration de ces niveaux) : (Faye, 2014)

- Modèles Macroscopiques (Vue d'ensemble) :
    - Niveau : Le plus global.
    - Description : Ils ne s'intéressent pas aux voitures individuelles. Ils décrivent le trafic comme un flux continu, un peu comme un fluide, en utilisant des grandeurs moyennes sur des sections de route assez longues (densité, vitesse moyenne, débit).
    - Usage : Utiles pour analyser le comportement général du trafic sur de grands réseaux.
- Modèles Mésoscopiques (Niveau Intermédiaire) :
    - Niveau : Entre macro et micro.
    - Description : Ils modélisent le trafic par paquets ou pelotons de véhicules. Ils ne suivent pas chaque voiture individuellement, mais plutôt le comportement de ces groupes, qui peuvent échanger des véhicules entre eux.
    - Usage : Compromis entre détail et complexité de calcul. Moins courants que les macro/micro.
- Modèles Microscopiques (Vue Détaillée) :
    - Niveau : Individuel.
    - Description : C'est le niveau le plus courant pour les simulations détaillées. Chaque véhicule est modélisé individuellement, avec sa propre vitesse, sa position, ses accélérations/décélérations, ses changements de voie, et ses interactions avec les véhicules voisins.
    - Usage : Très précis pour analyser des phénomènes locaux (embouteillages, fonctionnement d'une intersection), mais demandent plus de puissance de calcul.
- Modèles Sous-Microscopiques (Vue Ultra-Détaillée) :
    - Niveau : Composants du véhicule ou du conducteur.

- Description : Ils vont encore plus loin dans le détail que les modèles microscopiques. Ils peuvent modéliser des éléments à l'intérieur même du véhicule (ex: régime moteur) ou des aspects très fins du comportement du conducteur.
- Usage : Très spécifiques, utilisés pour des recherches pointues, moins courants pour la gestion de trafic générale.

En résumé, pour comprendre et gérer le trafic urbain, on utilise des modèles mathématiques et informatiques qui décrivent le comportement des véhicules à différentes échelles, allant de la vue d'ensemble du réseau (macroscopique) jusqu'au comportement détaillé de chaque voiture (microscopique), voire de ses composants (sous-microscopique). Le choix du modèle dépend de ce que l'on cherche à analyser et du niveau de détail nécessaire. (Faye, 2014)

4.6.9 MODELES DE PRESENTATION DE TRAFIC

Les diverses méthodes utilisées pour estimer le trafic dans le futur sont :

- CORRELATION ENTRE LE TRAFIC ET DES PARAMETRES ECONOMIQUES Elle consiste à rechercher dans le passé une corrélation entre le niveau de trafic d'une part et certains indicateurs macro-économiques : Produit national brut (PNB). Produits des carburants, d'autres part, si on pense que cette corrélation restera à vérifier dans le taux de croissance du trafic, mais cette méthode nécessite l'utilisation d'un modèle de simulation, ce qui sort du cadre de notre étude. (Faye, 2014)
- MODELE GRAVITAIRE Il est nécessaire pour la résolution des problèmes concernant les trafics actuels au futur proche, mais il se prête mal à la projection. (Faye, 2014)
- MODELE DE FACTEUR DE CROISSANCE Ce type de modèle nous permet de projeter une matrice origine –destination. La méthode la plus utilisée est celle de FRATAR qui prend en considération les facteurs suivants : Le taux de motorisation des véhicules légers et leur utilisation. Le nombre d'emploi. La population de la zone. Cette méthode nécessite des statistiques précises et une recherche approfondie de la zone à étudier. (Faye, 2014)

4.7 L'intelligence artificielle et le trafic :

Les technologies de l'IA telles que la vision par ordinateur, le traitement d'images et l'apprentissage automatique sont déjà déployées dans plusieurs villes pour surveiller et réguler le trafic. Des caméras équipées d'algorithmes d'IA peuvent détecter la densité du trafic, identifier les véhicules et évaluer l'état des routes en temps réel. En analysant ces données, les systèmes d'IA peuvent prendre des décisions pour optimiser le flux de trafic sans nécessiter d'intervention humaine. Les systèmes d'IA, notamment ceux basés sur l'apprentissage profond (deep learning), peuvent détecter des objets tels que les véhicules, les piétons et les panneaux de signalisation en temps réel. De tels systèmes sont actuellement utilisés pour la surveillance en temps réel des intersections fréquentées et des autoroutes. (Daten & Wissen, 2025)

Les caméras de circulation basées sur l'IA dans des villes comme Singapour et Pékin analysent les motifs de circulation des véhicules, les passages piétons et la congestion routière. Ces systèmes peuvent ajuster automatiquement la synchronisation des feux de circulation pour gérer le flux de trafic de manière dynamique, prenant des décisions en temps réel bien plus rapidement qu'un humain ne pourrait le faire. (Daten & Wissen, 2025)

4.7.1 Feux de Circulation Intelligents et Optimisation des Signaux

Les algorithmes d'IA sont capables d'optimiser la synchronisation des feux de signalisation en fonction des conditions de trafic en temps réel. Ces systèmes réduisent les temps d'attente aux intersections et évitent les arrêts inutiles, améliorant ainsi le flux global de trafic . (Daten & Wissen, 2025)

- Apprentissage par Renforcement (RL) pour les Feux de Signalisation : Les modèles d'apprentissage par renforcement, qui s'améliorent par essais et erreurs, peuvent être utilisés pour optimiser la synchronisation des feux en apprenant des motifs de trafic au fil du temps. Ces systèmes assurent un flux de trafic fluide sans nécessiter d'intervention manuelle de la police de la circulation.

- Exemple : À Pittsburgh, la ville a mis en œuvre des feux de circulation intelligents pilotés par l'IA qui auraient réduit le temps de trajet de plus de 25 % et les émissions des véhicules de plus de 20 %.

4.7.2 L'IA pour la Gestion Prédictive du Trafic

La modélisation prédictive, permise par l'IA, permet aux urbanistes d'anticiper les conditions de trafic avant qu'elles ne deviennent problématiques. Ces systèmes analysent de grands ensembles de données, incluant les données historiques de trafic, les conditions météorologiques et les événements, pour prédire les motifs de trafic et déployer les ressources en conséquence. (Daten & Wissen, 2025)

- Modèles d'Apprentissage Automatique pour la Prévision du Trafic : Les modèles d'apprentissage automatique tels que les modèles de régression, les réseaux neuronaux et les arbres de décision peuvent prédire la congestion du trafic, permettant des actions préventives comme les déviations d'itinéraires et les ajustements des feux de signalisation.

4.7.3 Véhicules Autonomes et Contrôle du Trafic Basé sur l'IA

L'un des potentiels les plus disruptifs de l'IA dans la gestion du trafic réside dans l'intégration des véhicules autonomes dans les réseaux routiers existants. Ces véhicules peuvent communiquer entre eux et avec l'infrastructure de trafic pour coordonner leurs déplacements efficacement, sans intervention humaine.

- Communication Véhicule-Infrastructure (V2I) : Les véhicules autonomes peuvent interagir avec les systèmes de gestion du trafic basés sur l'IA pour optimiser les décisions de conduite en temps réel. Par exemple, ils peuvent recevoir des mises à jour sur l'état des routes, la congestion du trafic et les accidents, et ajuster leur itinéraire en conséquence (Fig. 3).

- Exemple : Dans des villes comme Phoenix (Arizona) et certaines parties de la Californie, des systèmes basés sur l'IA gèrent le flux des véhicules conduits par des humains et des véhicules autonomes, ajustant les feux de signalisation et réacheminant le trafic de manière dynamique pour éviter les embouteillages et les accidents.

4.8 Buts de modélisation du trafic

Un des objectifs de la régulation du trafic est de résoudre la congestion. Cet objectif se traduit par une fonction de coût exprimée en termes des états du trafic : débits de trafic, densités de trafic, vitesses moyennes, ... Comme le nom *fonction de coût* l'indique, le coût associé à un état de trafic indésirable avec congestion doit être plus élevé que le coût associé à un état de trafic avec moins de congestion. Ainsi,

trouver un état de trafic sans congestion ou où la congestion est aussi faible que possible correspond à rechercher les états de trafic avec la valeur la plus basse de la fonction de coût.

Typiquement, le temps total passé par tous les véhicules dans le réseau de trafic est inclus dans la fonction de coût. Le temps total passé par tous les véhicules dans le réseau peut être calculé à partir de la densité du trafic et des dimensions du réseau de trafic. La congestion entraîne une densité de trafic plus élevée (et des vitesses plus faibles) pendant une durée plus longue, et donc le temps total passé augmentera avec l'augmentation du niveau de congestion. (Bellemens, De Shutter, & De Moor, 2002)

Outre le temps total passé dans le réseau, qui est directement lié à la congestion, d'autres termes peuvent également être ajoutés à la fonction de coût, tels que des termes exprimant des coûts environnementaux (par ex. pollution de l'air, consommation de carburant), des coûts sociaux (par ex. stress) et des coûts économiques (par ex. retards de livraison). Dans ce cas, le régime de trafic correspondant à un coût global minimal sera un compromis entre les coûts décrits par les termes de la fonction de coût. En pondérant les termes, nous pouvons mettre davantage l'accent sur certains coûts. La définition d'une fonction de coût durable est un domaine de recherche à part entière. (Bellemens, De Shutter, & De Moor, 2002)

5 Des exemples de gestion et modélisation du Traffic à travers le monde :

Le modèle des « superblocks » (super-îlots) développé à Barcelone s'est avéré un moyen efficace de redéfinir les priorités d'accès dans les zones centrales de la ville, avec des avantages évidents en matière de sécurité. Les piétons et les cyclistes ont la priorité dans les superblocks. L'espace autrefois occupé par les voitures a été réaffecté aux piétons, aux aires de jeux et aux bancs publics, tout en préservant l'accès essentiel des véhicules motorisés. La circulation automobile est redirigée vers la périphérie de chaque îlot, le trafic à l'intérieur de l'îlot étant autorisé sur une seule rue à sens unique restante, avec des vitesses limitées à 10-20 km/h, pour desservir l'accès local et les livraisons. C'est un exemple très complet d'amélioration de la gestion du trafic en combinant de nouveaux plans de circulation avec des mesures d'apaisement. En créant des superblocks, la ville vise à récupérer de l'espace pour l'usage public afin de favoriser la cohésion sociale. (Forum, 2021)

Depuis 2016, des interventions ont été menées pour mettre en œuvre des superblocks dans trois quartiers : Poblenou, Sant Antoni et Horta. Les effets environnementaux et sanitaires de ces transformations urbaines ont été évalués par l'Agència de Salut Pública de Barcelona (Agence de Santé Publique de Barcelone). La sécurité routière dans ces quartiers s'est améliorée grâce à la réduction du nombre de véhicules motorisés. Les résidents ont signalé un meilleur repos dans un environnement plus calme, plus confortable et plus sûr qui encourage l'interaction entre voisins. Une expansion majeure de l'initiative des superblocks est estimée à 37,8 millions d'EUR sur les dix prochaines années. (Forum, 2021)

- Traitement des Carrefours

La plupart des accidents se produisent aux carrefours, où les chemins des différentes catégories d'usagers de la route se croisent (USDOT, 2020). Les interventions visant à améliorer les carrefours ont donc le potentiel de réduire considérablement le nombre de décès sur les routes. La conception des carrefours doit permettre à tous les usagers de traverser en toute sécurité. Plusieurs mesures différentes existent pour améliorer la sécurité routière aux carrefours. (Forum, 2021)

La canalisation est une mesure qui sépare certains flux de trafic du trafic global. La transformation des carrefours en giratoires ralentit la circulation et modifie l'angle des collisions afin de réduire la gravité des accidents. Les carrefours décalés (ou en baïonnette) remplacent les carrefours en croix par deux intersections en T, réduisant la complexité des points de conflit et facilitant la traversée des carrefours. Les carrefours dénivelés séparent les principaux flux de trafic les uns des autres en les plaçant sur des niveaux distincts ; cette mesure est utilisée pour les routes à fort volume de trafic. D'autres traitements pour réaménager les carrefours incluent des modifications de l'angle entre les routes et des mesures pour améliorer la visibilité et éliminer les objets qui masquent les approches. Le "daylighting" (dégagement de la visibilité aux abords) décrit la suppression des places de stationnement devant les bordures autour d'une intersection, augmentant la visibilité pour les piétons et les conducteurs. (Forum, 2021)

Les évaluations du Système Européen d'Aide à la Décision en matière de Sécurité Routière indiquent que ces traitements de carrefours sont efficaces. De forts effets positifs sont signalés pour la canalisation des virages à gauche et à droite, avec une réduction du nombre d'accidents de 27 % et 19 %, respectivement. La dénivellation des routes qui se croisent est la mesure la plus efficace pour prévenir les collisions aux carrefours, avec des réductions comprises entre 15 % et 45 %, selon le type de carrefour précédent). Cependant, cette mesure implique des coûts très élevés et peut avoir plusieurs effets négatifs. La dénivellation peut provoquer un « effet de halo » où les conducteurs adoptent des vitesses plus élevées. Elle peut également rendre les carrefours plus difficiles à traverser pour les piétons et les cyclistes. (Forum, 2021)

- Carrefours Sûrs à Fortaleza, Brésil

La municipalité de Fortaleza a mis en œuvre un Programme de Carrefours Sûrs en 2017. Le programme a été conçu pour être facile à mettre en œuvre et pour produire des résultats rapides. Les carrefours ont été modifiés principalement avec du marquage au sol très visible pour canaliser le trafic, raccourcir les distances de traversée piétonne et élargir les trottoirs avec une protection légère. D'autres marquages routiers ont été rafraîchis et des panneaux ajoutés pour alerter les automobilistes de l'interdiction existante de stationner près des carrefours. Les interventions ont été soutenues par un réalignement des activités de communication et de contrôle (verbalisation).

Une étude avant-après des mesures mises en œuvre a démontré l'efficacité du programme. Les principaux résultats ont été une réduction de 53 % du nombre total d'accidents et une réduction de 60 % et 48 % respectivement pour les accidents avec blessures et les accidents avec dommages matériels uniquement. L'analyse coûts-bénéfices utilisant ces résultats (et supposant un entretien technique annuel systématique aux intersections traitées) a estimé un retour de 103 USD pour chaque dollar investi. À ce jour, 450 intersections ont été améliorées grâce à ces traitements. (Forum, 2021)

- Signalisation Routière et Systèmes de Transport Intelligents

La technologie joue un rôle de plus en plus important dans la sécurité routière, et une signalisation lumineuse intelligente peut contribuer à l'améliorer. Les solutions innovantes comprennent des systèmes de surveillance et de contrôle du trafic pour assurer le contrôle de la vitesse et émettre des avertissements, des alertes de franchissement de ligne, ainsi que le contrôle et l'échange d'informations avec les systèmes de gestion centralisée du trafic urbain.

Le cadencement (timing) et la configuration des feux de circulation sont particulièrement importants. Par exemple, l'instauration d'intervalles de départ anticipé pour les piétons (indiquant "Traversez" aux piétons

plusieurs secondes avant que les véhicules tournants n'obtiennent le feu vert) améliore la sécurité des piétons. Cette mesure donne aux piétons une avance, ce qui les rend plus visibles et diminue le risque d'être heurtés par une voiture.

Les véhicules deviennent de plus en plus connectés par des dispositifs qui interagissent entre eux et avec l'infrastructure routière. Cette interaction est désignée par le terme Systèmes de Transport Intelligents Coopératifs (STI-C, ou C-ITS en anglais) et les données peuvent être partagées avec les gestionnaires de trafic. Les canaux de communication véhicule-à-véhicule (V2V) et véhicule-à-infrastructure (V2I) sont utilisés pour l'alerte de freinage d'urgence, la détection de distance, la détection de conduite dangereuse, les systèmes anticollisions, les alertes de risque de dérapage lié aux conditions météorologiques et la gestion optimisée des carrefours.

Assistance), obligatoire sur les nouveaux modèles de véhicules dans l'UE à partir de 2022, facilitera une gestion intelligente des limitations de vitesse en milieu urbain. Ces systèmes utilisent une base de données de limitations de vitesse liée au GPS, et parfois des caméras vidéo de reconnaissance des panneaux, pour aider les conducteurs à respecter les limitations de vitesse (ETSC, 2018). Lorsque la vitesse dépasse les limites réglementées, le conducteur est alerté ou la vitesse est automatiquement réduite, réduisant ainsi l'exposition des usagers de la route aux risques d'accident ainsi que le risque d'amendes pour excès de vitesse pour les conducteurs équipés du système. Les collectivités locales doivent numériser leurs cartes de limitations de vitesse et les tenir à jour afin que ces systèmes puissent réaliser leur plein potentiel. Le gouvernement de Stockholm a affecté des fonds dans son budget 2020 pour équiper tous les véhicules municipaux d'adaptation intelligente de la vitesse et utiliser le géorepérage (geofencing) pour les empêcher de dépasser les limitations de vitesse dans toute la ville . (Forum, 2021)

L'amélioration du cadencement des feux de signalisation, comme les intervalles de départ anticipé pour les piétons, peut réduire considérablement le risque d'accidents piétons-véhicules, certaines études rapportant jusqu'à 60 % . L'installation de feux de signalisation aux carrefours non régulés par des feux peut également réduire significativement les collisions de 29 % .Le Conseil Européen pour la Sécurité des Transports (ETSC, 2018) s'attend à ce que l'adoption massive et l'utilisation de la technologie d'adaptation intelligente de la vitesse puissent réduire les collisions de 30 % et les décès de 20 % ; cependant, des bénéfices robustes en matière de sécurité devront être évalués à l'avenir.

L'achat et l'installation d'un système de feux tricolores coûtent environ 215 000 EUR à 430 000 EUR (. Les coûts de maintenance doivent être pris en compte. Les coûts de modification des cadencements des feux sont faibles. (Forum, 2021)

5.1 L'IA pour fluidifier et sécuriser la circulation en Arabie Saoudite

L'article explique comment l'intelligence artificielle (IA) est en train de révolutionner la gestion du trafic routier en Arabie Saoudite, notamment dans des villes congestionnées comme Riyad et Djeddah.

5.1.1 Points clés :

- Problème : La congestion routière et la sécurité sont des défis majeurs.
- Solution : L'IA utilise l'analyse de données en temps réel (provenant de capteurs, caméras, GPS) pour optimiser la circulation.
- Bénéfices Principaux :

- Réduction de la Congestion : L'IA peut ajuster dynamiquement les feux de circulation et anticiper les embouteillages, visant une réduction potentielle allant jusqu'à 25%.
- Amélioration de la Sécurité : L'IA permet une approche proactive en détectant les comportements dangereux, en identifiant les zones à risque et en adaptant les feux pour prévenir les accidents.

- Marché en Croissance : Le marché mondial de l'IA dans l'automobile est en plein essor, et l'Arabie Saoudite investit dans ces technologies dans le cadre de sa Vision 2030 pour des villes intelligentes.
- Applications Spécifiques : L'IA a un potentiel énorme pour gérer des événements complexes comme le Hajj, en optimisant les flux de millions de pèlerins.
- Avenir : L'IA pourrait optimiser les transports publics, permettre une surveillance autonome du trafic et s'intégrer à d'autres services urbains (parking intelligent, recharge VE).

L'IA est présentée comme une technologie clé pour l'Arabie Saoudite, capable de rendre les routes plus sûres, les trajets plus rapides et plus efficaces, contribuant ainsi à une meilleure qualité de vie et à un environnement plus propre. (Saudi arabia Transport and Mobility, s.d.)

5.2 Le réseau routier en Algérie :

L'étendue géographique de l'Algérie et l'importance des échanges de personnes et de marchandises confèrent au secteur des transports un rôle déterminant dans le développement socio-économique. Le réseau routier, assure à lui seul près de 90% du volume des échanges, dont le plus important est enregistré sur le réseau économique de base (autoroutes, routes nationales et chemins de wilaya). Le réseau routier national comptait à l'année 2016 un linéaire de 112 696 Km de routes réparties selon le tableau 1.

Routes nationales (R.N)	29280 Km
Chemins de wilayas (C.W)	23771 Km
Chemins communaux (C.C)	59645 Km
Ouvrages d'Art (O.A)	4910 OA

Table 1: longueur de routes en Algérie

Ce réseau reflète dans sa configuration à la fois les principaux pôles de développement très concentrés sur la frange Nord, mais aussi la spécificité de la géographie du pays. Il suit assez correctement les villes et l'implantation des populations. Les principaux axes structurants sont :

• L'Autoroute Est-Ouest de 1216 km ;

• La Rocade Autoroutière des Hauts plateaux de 1020 km ;

• Les 2ème, 3ème et 4ème Rocades Autoroutières d'Alger ;

• Les liaisons Express ports-Autoroutières Est-Ouest ;

• Les pénétrantes Nord-Sud. Le schéma directeur routier et autoroutier 2005/2025 est le référentiel de développement à court, moyen et long terme des infrastructures routières et autoroutières découlant d'une vision globale et d'une planification stratégique à l'horizon 2025.

Classe	Nature de véhicules
P1	Véhicules particuliers
P2	Véhicules utilitaires (camionnettes)
P3	Bus
P4	Camions à deux essieux
P5	Camions à trois essieux
P6	Véhicules articulés (a remorques

Table 2: nature de véhicules

La vitesse de référence : Elle est dénommée aussi vitesse de circulation ou de base, c'est une vitesse prise pour établir un projet de route, elle est le critère principal pour la détermination des valeurs extrême des caractéristiques géométriques et autres intervenants dans l'élaboration du tracé, et est fixée d'après les conditions géographiques et l'importance de la liaison. Elle dépend de :

- Type de route
- Importance du trafic
- Topographie
- Conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

5.3 Conclusion

Ce chapitre a mis en lumière la complexité inhérente au trafic routier, le présentant comme un défi majeur pour les sociétés modernes, caractérisé principalement par le phénomène de congestion. Partant du constat que la congestion naît d'un déséquilibre entre une demande de mobilité croissante et une capacité d'infrastructure limitée, l'analyse a exploré les multiples facettes de ce problème et les stratégies pour y remédier.

La démarche présentée a suivi une progression logique, allant de la définition fondamentale du trafic à l'élaboration de solutions sophistiquées. Il a d'abord été essentiel de décomposer le phénomène en ses variables élémentaires, qu'elles soient individuelles (trajectoire, vitesse d'un véhicule) ou interactives (espacement, temps inter-véhiculaire). Cette compréhension fine est la pierre angulaire de toute analyse, alimentée par des méthodes de collecte de données variées, allant des comptages automatiques et manuels aux enquêtes qualitatives sur les origines et destinations.

Le cœur du chapitre a ensuite abordé la modélisation comme un outil indispensable pour passer de l'observation à l'action. Il a été démontré qu'il n'existe pas un modèle unique, mais une hiérarchie d'approches — macroscopique, mésoscopique et microscopique — chacune adaptée à une échelle d'analyse différente, de la vision globale d'un réseau à la simulation détaillée du comportement de chaque véhicule. Ces modèles visent un objectif commun : optimiser le système en minimisant une "fonction de coût" qui englobe non seulement le temps de parcours, mais aussi les impacts économiques, environnementaux et sociaux.

Enfin, le chapitre a souligné la révolution apportée par les Systèmes de Transport Intelligents (STI) et l'Intelligence Artificielle (IA). Ces technologies transforment la gestion du trafic d'une approche statique et réactive à une approche dynamique, prédictive et optimisée. Des feux de circulation intelligents qui s'adaptent en temps réel, à l'analyse prédictive des embouteillages, en passant par l'intégration future des véhicules autonomes, l'IA offre des leviers puissants pour fluidifier la circulation, améliorer la sécurité et réduire l'empreinte écologique. Les exemples concrets de Barcelone, Fortaleza ou d'Arabie Saoudite illustrent l'efficacité de ces stratégies lorsqu'elles sont appliquées sur le terrain.

En somme, ce chapitre démontre que la réponse aux défis du trafic routier, notamment dans le contexte du réseau algérien, ne réside plus uniquement dans l'expansion coûteuse des infrastructures. Elle passe désormais par une gestion plus intelligente et une optimisation fine de l'existant, rendues possibles par une modélisation rigoureuse et l'exploitation des technologies de pointe. L'avenir de la mobilité urbaine dépendra de notre capacité à intégrer ces outils pour créer des systèmes de transport plus sûrs, plus efficaces et plus durables pour tous.

Chapitre 2 :

Le Big Data Spatial

6 Introduction :

Le Big Data est un phénomène qui a vu le jour avec l'émergence de données volumineuses qu'on ne pouvait pas traiter avec des techniques traditionnelles. Les premiers projets de Big Data sont ceux des acteurs de la recherche d'information sur le web « moteurs de recherche » tel que Google et Yahoo. En effet, ces acteurs étaient confrontés aux problèmes de la scalabilité (passage à l'échelle) des systèmes et du temps de réponse aux requêtes utilisateurs. (Amrane, 2015)

Les big data sont aujourd'hui désignées comme une des perspectives majeures des sciences, ainsi que des sciences sociales. La géographie, discipline largement impliquée dans la construction et l'analyse de données, n'échappe pas à ce mouvement, bien au contraire. La généralisation des outils de géolocalisation (par GPS, GSM, Wifi ou encore adresse IP) aboutit à

Une explosion de la disponibilité des données à référence spatiale. Envisagées généralement comme

Une opportunité, ces masses de données offriraient au chercheur un champ nouveau et jusqu'alors

Inaccessible, celui de l'exhaustivité et du temps réel. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)

Le Big Data est devenu une tendance incontournable pour beaucoup d'acteurs industriels du fait de l'apport qu'il offre en qualité de stockage, traitement et d'analyse de données. (Amrane, 2015)

Il existe de nombreuses façons de définir ce qu'est le big data, et c'est probablement pourquoi il reste un concept vraiment difficile à saisir. Aujourd'hui, certains décrivent le big data comme un ensemble de données dépassant un certain seuil, par exemple, plus d'un téraoctet, d'autres comme des données qui font planter les outils d'analyse conventionnels comme Microsoft Excel. (Corea, 2019)

Les données massives (Big Data) dans le domaine de la géographie a profondément transformé la manière dont nous comprenons et interagissons avec notre environnement. Cette convergence offre des perspectives inédites pour l'analyse spatiale, la prise de décision et la résolution de problèmes complexes.

L'intégration des données massives en analyse spatiale révolutionne la géographie en permettant d'appréhender les phénomènes territoriaux avec une précision et une échelle inédites. Grâce à la diversité des sources (GPS, images satellites, réseaux sociaux...), les chercheurs peuvent désormais modéliser des dynamiques complexes, optimiser l'aménagement urbain, gérer les risques naturels ou encore analyser les comportements de mobilité en temps réel.

7 Définitions :

Le terme "big data" (Données massives) est un terme générique pour désigner tout ensemble de données si vaste ou complexe qu'il devient difficile de les traiter à l'aide des techniques de gestion de données traditionnelles, telles que, par exemple, les SGBDR (systèmes de gestion de bases de données relationnelles). Le SGBDR largement adopté a longtemps été considéré comme une solution universelle, mais les exigences de la gestion des Données massives ont prouvé le contraire. La science des données implique l'utilisation de méthodes pour analyser des quantités massives de données et en extraire les connaissances qu'elles contiennent. Vous pouvez considérer la relation entre les Données massives et la science des données comme celle entre le pétrole brut et une raffinerie de pétrole. La science des données et les Données massives ont évolué à partir des statistiques et de la gestion de données traditionnelle, mais sont désormais considérées comme des disciplines distinctes. (cielen, Meysman, & ali, 2016)

Le terme Big Data sera employé pour définir les métadonnées produites par l'ensemble des appareils numériques. (Guinamard, 2018)

Le terme "Big Data" (Données massives) désigne de manière générale des ensembles de données extrêmement volumineux qui peuvent désormais être acquis, stockés et interprétés grâce aux technologies modernes. Bien qu'il n'existe pas de définition largement acceptée du Big Data, il est généralement entendu qu'il qualifie les ensembles de données trop volumineux pour être contenus ou traités à l'aide des ressources d'un ordinateur personnel typique ou de la capacité d'analyse des applications de tableur couramment utilisées. (Board, 2015)

Le Big Data est défini comme des collections d'ensembles de données dont le volume, la vélocité ou la variété sont si importants qu'il est difficile de stocker, de gérer, de traiter et d'analyser les données à l'aide de bases de données traditionnelles et d'outils de traitement de données. Ces dernières années, on a observé une croissance exponentielle des données structurées et non structurées générées par les technologies de l'information, les systèmes industriels, les soins de santé, l'Internet des objets et d'autres systèmes. (Bahga & Madisetti, 2019)

Le terme Big Data réfère a l'accroissement exponentielle des données, au traitement de ces dernières ou de manière plus générale a toutes les etapes entrant en jeu dans le processus d'extraction d'informations utiles a partir d'énormes lots de données brutes. (Allemand, 2018)

7.1 Évolution du stockage des données et genèse du Big Data :

Dès la fin du XVIIe siècle, les bases de l'analyse statistique moderne se dessinent avec John Graunt, qui développa un mécanisme d'alerte précoce contre la peste bubonique (maladie mortelle et contagieuse) via l'enregistrement systématique des données de mortalité. Au XIXe siècle, l'innovation se poursuit avec Charles Babbage, pionnier des cartes perforées, ancêtres du stockage numérique utilisant des trous positionnés pour encoder l'information.

Le milieu du XXe siècle marque un tournant avec l'avènement de l'ordinateur numérique et des bandes magnétiques, révolutionnant le stockage sur disques durs. Les années 1960 introduisent les systèmes de fichiers, organisant les données en enregistrements binaires structurés.

Si le terme *Big Data* apparaît sporadiquement dans la littérature scientifique dès les années 1970, c'est en 2001 que Doug Laney le popularise pour décrire l'explosion de données trop volumineuses et complexes pour les outils traditionnels.

7.1.1 Croissance exponentielle des données :

Les années 1990 voient les volumes mesurés en téraoctets, gérés via des bases de données relationnelles et des entrepôts de données structurées. La décennie suivante, l'essor des sources hétérogènes (outils de productivité, systèmes de stockage réseau) fait passer l'échelle au pétaoctet.

Depuis 2010, la numérisation massive et la diversification des sources (réseaux sociaux, IoT, etc.) entraînent une croissance fulgurante, nécessitant des unités comme l'exaoctet, et bientôt le zettaoctet d'ici 2020. Cette explosion, caractérisée par les *3V* (Volume, Vélocité, Variété), exige des technologies analytiques innovantes pour transformer ces données en insights exploitables. (Laouni, 2020)

7.2 Caractéristiques clés du Big Data (5V):

7.2.1 Volume :

Le Big Data est une forme de données dont le volume est si important qu'il ne tiendrait pas sur une seule machine ; par conséquent, des outils et des cadres spécialisés sont nécessaires pour stocker, traiter et analyser ces données. Par exemple, les applications de médias sociaux traitent des milliards de messages chaque jour, les systèmes industriels et énergétiques peuvent générer des téraoctets de données de capteurs chaque jour, les applications d'agrégation de taxis peuvent traiter des millions de transactions par jour, etc. Les volumes de données générées par les systèmes informatiques modernes, industriels, de santé, de l'Internet des objets et autres augmentent de façon exponentielle, en raison de la baisse des coûts des architectures de stockage et de traitement des données et de la nécessité d'extraire des informations précieuses des données pour améliorer les processus commerciaux, l'efficacité et le service aux consommateurs. Bien qu'il n'y ait pas de seuil fixe pour le volume de données à considérer comme du Big Data, le terme Big Data est généralement utilisé pour des données à échelle massive qu'il est difficile de stocker, de gérer et de traiter à l'aide des bases de données traditionnelles et des architectures de traitement de données." (Bahga & Madisetti, 2019)

7.2.2 Vélocité :

La vélocité des données se réfère à la vitesse à laquelle les données sont générées. Les données générées par certaines sources peuvent arriver à des vitesses très élevées, par exemple, les données des médias sociaux ou les données de capteurs. La vélocité est une autre caractéristique importante du Big Data et la principale raison de la croissance exponentielle des données. Une vélocité élevée des données entraîne une accumulation de volume de données très importante, en un court laps de temps. Certaines applications peuvent avoir des délais stricts pour l'analyse des données (comme le trading ou la détection de fraudes en ligne) et les données doivent être analysées en temps réel. Des outils spécialisés sont nécessaires pour ingérer ces données à haute vélocité dans l'infrastructure Big Data et analyser les données en temps réel." (Bahga & Madisetti, 2019)

7.2.3 Variété :

La variété se réfère aux formes des données. Le Big Data se présente sous différentes formes, telles que des données structurées, non structurées ou semi-structurées, incluant des données textuelles, des images, des données audio, vidéo et de capteurs. Les systèmes de Big Data doivent être suffisamment flexibles pour gérer une telle variété de données. (Bahga & Madisetti, 2019)

7.2.4 Véracité :

La véracité se réfère à la précision des données. Pour extraire de la valeur des données, celles-ci doivent être nettoyées afin de supprimer le bruit. Les applications basées sur les données ne peuvent tirer parti des avantages du Big Data que lorsque les données sont significatives et précises. Par conséquent, le nettoyage des données est important afin de filtrer les données incorrectes et erronées. (Bahga & Madisetti, 2019)

7.2.5 Valeur :

La valeur des données se réfère à l'utilité des données pour l'objectif visé. Le but ultime de tout système d'analyse de Big Data est d'extraire de la valeur des données. La valeur des données est également liée à la véracité ou à la précision des données. Pour certaines applications, la valeur dépend également de la rapidité avec laquelle nous sommes capables de traiter les données. (Bahga & Madisetti, 2019)

Certains informaticiens ajoutent d'autre caractéristiques tel que :

- Visibilité : l'émergence du cloud computing et du stockage en nuage a rendu possible l'accès et le traitement efficaces des Données massives géospatiales d'une manière qui n'était pas possible auparavant. La technologie cloud est toujours en évolution et, une fois que des problèmes tels que la provenance des données – les métadonnées historiques – seront résolus, les Données massives et le cloud deviendront des technologies mutuellement dépendantes et se renforçant. (Li, et al., 2016)
- Variabilité : La variabilité dans le contexte Big Data renvoie à différentes choses. L'un, est le nombre d'incohérences dans les données.Les données sont-elles cohérentes en termes de disponibilité ou d'intervalle de rapport ? Représente-t-il avec précision l'événement rapporté ? Les données doivent être détectées par des méthodes de détection d'anomalies et de valeurs aberrantes afin de permettre toute analyse significative. Par conséquent, un traitement approprié de la propriété de variabilité augmente l'utilité des systèmes Big Data. (Laouni, 2020)
- Validité : Le terme fait référence à la validation des données. C-à-d, vérifier si les données utilisées sont correctes et exactes pour l'utilisation envisagée, de sorte que ces données sont donc utilisées pour évaluer la performance de la prévision [Ferguson 2013]. Nous prenons l'exemple des médias sociaux : contrairement aux sondages, les spécialistes du marché utilisent des méthodes correctes, mais n'ont en fait pas les mêmes concepts et théories. Par exemple, imaginez que la lune météorologique indique que la tempête a commencé dans un quelque part du monde, alors, comment cette tempête affecte-t-elle les individus ? Avec environ un demi-milliard d'utilisateurs, il est possible d'analyser les flux Twitter pour déterminer l'impact des tempêtes sur la population locale. Par conséquent, l'utilisation de Twitter avec des données d'un satellite météorologique pouvant aider les chercheurs à comprendre la validité des prévisions météorologiques. Cependant, l'analyse de données non structurelles issues d'un réseau social rend toujours difficile pour la

prédiction fiable. Des données d'entrée correctes suivies d'un traitement de données approprié devraient donner des résultats précis. Avec Big Data, vous devez être plus vigilant en matière de validité (Laouni, 2020).

- Volatilité : La volatilité est la nature des changements brusques, instables, changés par inadvertance ou anonymement. La volatilité des données volumineuses (Big Data) fait référence à la durée de validité des données et à leur conservation [Ripon & Arif 2016]. Par exemple, certaines entreprises peuvent conserver les données et transactions les plus récentes de leurs clients, cela garantit une récupération rapide de ces informations en cas de besoin (Laouni, 2020).
- Viabilité : La viabilité signifie que les données volumineuses doivent être actives très longtemps. Elle doit pouvoir de croître, d'évoluer et de produire davantage de données en cas de besoin. Nous pouvons identifier les caractéristiques et les facteurs les plus susceptibles pour prédire les résultats, de sorte que, le point le plus important pour les entreprises est de générer une valeur additive (Laouni, 2020).
- Viscosité : La viscosité fait référence à la stabilité et à la résistance du flux de données volumineux. Le Big Data offre une perspective limitée en racontant une certaine narration. La viscosité mesure la résistance à l'écoulement dans le volume de données. Cette résistance peut provenir de différentes sources de données, des frictions résultant des taux d'intégration et du traitement requis pour transformer les données en informations. Les technologies permettant de traiter la viscosité incluent le traitement des événements complexes, l'intégration agile et la diffusion en continue (Laouni, 2020).

7.3 Architectures du Big Data :

Le succès du fonctionnement du Big data dépend de leur infrastructure correcte et de leur

Utilité que l'on fait '' Data into Information into Value ''.

L'architecture du Big data est composée de cinq grandes parties : Intégration de données,

Stockage de données, traitement de données, Sécurité de données et Opérations de données. (SAIDI & DANOUNE , 2019)

- Intégration de données : Consiste à charger le volume de données au sein du stockage.
- Stockage de données : C'est le stockage du volume de données.
- Traitement de données : Il s'agit de la manipulation et de traitement des données.
- Sécurité de données : Sert à l'autorisation, l'authentification et la protection des données.
- Opérations de données : Pour la gestion, le monitoring et les taches planifiés.

7.4 Avantages des architectures du Big Data

Plusieurs avantages peuvent être associés à une architecture du Big Data , nous

Citons par exemple :

- Extensibilité (scalabilité) : Le concept Big Data apporte une architecture scalable qui peut prévenir la taille d'infrastructure et l'espace disque nécessaire.
- Performance : Grâce au traitement parallèle des données et à son système de fichiers distribués, le concept Big Data est hautement performant en diminuant la latence des requêtes.

- Coût faible : Les baies de stockage de données centralisées ne seront pas nécessaires étant souvent coûteuses, grâce au système de fichiers distribué, nous ne serons satisfaits que des disques internes des serveurs.
- Disponibilité : On a plus besoin de disques, souvent coûteux. L'architecture Big Data apporte ses propres mécanismes de haute disponibilité.

7.5 Big Data et Cloud :

Le Big Data et le Cloud Computing sont deux révolutions technologiques de cette décennie. Le Big Data propose des solutions de traitement des données massives, tandis que le Cloud offre des services de dématérialisation des ressources informatiques, comme le SaaS (Software as a Service), le PaaS (Platform as a Service), l'IaaS (Infrastructure as a Service) et, plus récemment, le DaaS (Data as a Service). La relation entre Big Data et Cloud peut s'articuler sur l'utilisation conjointe de ces deux technologies (Abdesalam, 2015).

Est-il vraiment nécessaire d'avoir une infrastructure Cloud pour faire fonctionner une plateforme Big Data ? Si oui, est-ce que les solutions Big Data fonctionneront sur le Cloud ? On peut facilement faire du Big Data sans le Cloud. Dans les travaux de Radu Tudoran, il donne une réponse à notre question : « Un aspect particulièrement complexe et difficile de la gestion des données pour les applications Big Data est la manipulation des données à travers de vastes zones et/ou à travers les data centers. » Il présente aussi les principales raisons pour lesquelles les applications ont besoin de distribuer géographiquement le calcul sur le Cloud, qui sont les suivantes :

- La taille des données peut être si grande que les données doivent être stockées sur plusieurs data centers.
- Les sources de données peuvent être distribuées physiquement dans des lieux géographiques larges.
- La nature de l'analyse, qui nécessite l'agrégation des flux de données à partir des instances d'applications distantes pour un nombre croissant de services. Les services à grande échelle, comme les moteurs de recherche ou les outils de bureau en ligne, fonctionnent sur des dizaines de data centers partout dans le monde.

Le Big Data et le Cloud doivent être complémentaires. Le Big Data doit être intégré dans les technologies du Cloud. C'est un objectif qui pose de nouveaux défis aux chercheurs. (Amrane, 2015)

7.5.1 Définition et Relation entre Big Data et Cloud

Le cloud computing, c'est comme louer un ordinateur puissant sur Internet au lieu d'en acheter un. Imaginez que vous ayez besoin d'une grosse machine robuste pour effectuer des travaux pénibles, mais que vous ne vouliez pas y dépenser beaucoup d'argent. Le cloud computing vous permet d'utiliser le puissant ordinateur de quelqu'un d'autre lorsque vous en avez besoin, et vous ne payez que pour ce que vous utilisez. C'est très utile pour analyser les données massives, qui constituent une grande quantité d'informations dont la compréhension nécessite des outils spéciaux. (Chen & Chaowei , 2014)

Le Big Data et le Cloud Computing sont considérés comme deux révolutions technologiques majeures de cette décennie. Le Big Data se concentre sur le traitement de grandes quantités de données, tandis que le

Cloud Computing propose des services de dématérialisation des ressources informatiques, tels que (Amrane, 2015) :

Le cloud computing combine différents services en un seul package. Ces services incluent :

a) Infrastructure en tant que service (IaaS) :

C'est comme louer du matériel (ordinateurs et stockage). (Chen & Chaowei , 2014)

b) Plateforme en tant que service (PaaS) :

Cette plateforme permet aux développeurs de créer des applications sans se soucier du matériel sous-jacent. (Chen & Chaowei , 2014)

c) Logiciel en tant que service (SaaS) :

Cela permet aux utilisateurs d'accéder à des applications logicielles via Internet sans les installer sur leur ordinateur. (Chen & Chaowei , 2014)

d) DaaS (Data as a Service).

Ces deux technologies peuvent être utilisées conjointement, mais il n'est pas nécessaire d'avoir une infrastructure Cloud pour faire fonctionner une plateforme Big Data. En effet, on peut réaliser du Big Data sans recourir au Cloud. (Amrane, 2015)

7.5.2 Avantages de l'utilisation du Cloud pour le Big Data

Bien que l'utilisation du Cloud ne soit pas obligatoire pour le Big Data, plusieurs aspects rendent cette approche avantageuse (Amrane, 2015) :

- Stockage de grandes quantités de données : La taille des données peut être si vaste qu'elles nécessitent plusieurs centres de données pour le stockage.
- Sources de données distribuées : Les données peuvent provenir de lieux géographiques variés, ce qui rend le Cloud utile pour leur gestion.
- Analyse à grande échelle : La nature de l'analyse peut nécessiter l'agrégation de flux de données de plusieurs applications distantes, ce qui est facilité par le Cloud.
- Scalabilité : Les services Cloud permettent d'adapter rapidement les ressources en fonction des besoins.
- Accessibilité : Les données et les services peuvent être accessibles à partir de n'importe quel endroit avec une connexion Internet.
- Coûts réduits : L'utilisation de solutions Cloud peut réduire les coûts d'infrastructure.
- Maintenance simplifiée : Les fournisseurs de Cloud se chargent de la maintenance des infrastructures.
- Sécurité améliorée : Les fournisseurs de Cloud investissent souvent dans des mesures de sécurité avancées pour protéger les données.

- Confidentialité : Cela signifie que vous devez protéger vos données et vous assurer que vous seul pouvez les voir. Lorsque vous stockez des données dans le cloud, vous devez être sûr que le fournisseur de services les protégera. (Chen & Chaowei , 2014)
- Sécurité : Cela fait référence à la protection des données contre les accès non autorisés ou les attaques. Tout comme vous verrouillez votre maison pour la protéger, les services cloud nécessitent des mesures de sécurité strictes pour protéger vos données. (Chen & Chaowei , 2014)

7.5.3 Défis de l'intégration du Big Data dans le Cloud

L'intégration du Big Data dans les technologies Cloud présente également des défis pour les chercheurs, notamment :

a) Complexité de la gestion des données :

La manipulation des données à travers de vastes zones géographiques est complexe.

b) Distribution géographique :

Les applications doivent souvent distribuer les calculs géographiquement pour être efficaces.

c) Nouveaux défis technologiques :

L'intégration nécessite le développement de nouvelles technologies et méthodes pour traiter efficacement les données à grande échelle.

7.6 Les domaines d'application du Big Data

Le Big Data trouvait sa place dans des nombreux domaines de notre quotidien (SAIDI & DANOUNE , 2019) .

7.6.1 Santé plus intelligente

- Personnalisation des traitements : Analyse des données génomiques, des dossiers médicaux électroniques et des données de capteurs portables pour adapter les traitements aux besoins individuels des patients.
- Prédiction des épidémies : Surveillance des données des médias sociaux, des données de localisation et des données de santé publique pour détecter et prédire les épidémies.
- Amélioration de la gestion hospitalière : Optimisation des flux de patients, réduction des temps d'attente et amélioration de l'efficacité opérationnelle grâce à l'analyse des données.

7.6.2 Ventes multicanaux

- Personnalisation de l'expérience client : Analyse des données de navigation, des données d'achat et des données des médias sociaux pour offrir des recommandations personnalisées et des offres ciblées.
- Optimisation des campagnes marketing : Analyse des données de performance des campagnes pour identifier les canaux les plus efficaces et optimiser les dépenses publicitaires.

- Prévision de la demande : Analyse des données de vente et des données externes (météo, événements, etc.) pour prévoir la demande et optimiser la gestion des stocks.

7.6.3 Sécurité intérieure

- Détection des activités suspectes : Analyse des données de surveillance, des données de localisation et des données des médias sociaux pour détecter les activités terroristes ou criminelles.
- Gestion des crises : Utilisation des données de localisation et des données des médias sociaux pour coordonner les interventions en cas de catastrophe naturelle ou d'attaque terroriste.
- Cybersécurité : Analyse des données de trafic réseau et des données de journaux de sécurité pour détecter et prévenir les cyberattaques.

7.6.4 Télécommunications

- Optimisation du réseau : Analyse des données de trafic réseau pour optimiser la capacité et la performance du réseau.
- Personnalisation des offres : Analyse des données d'utilisation et des données démographiques pour offrir des forfaits et des services personnalisés.
- Détection des fraudes : Analyse des données d'appels et des données de localisation pour détecter les fraudes et les activités suspectes.

7.6.5 Contrôle du trafic

- Optimisation des flux de trafic : Analyse des données de localisation et des données de capteurs pour optimiser les feux de circulation et les itinéraires.
- Prévention des accidents : Analyse des données de localisation et des données de capteurs pour détecter les conditions de conduite dangereuses et prévenir les accidents.
- Gestion des transports publics : Optimisation des horaires et des itinéraires des transports publics en fonction de la demande et des conditions de circulation.

7.7 Négociation boursière Analyse des tendances du marché :

Analyse des données financières, des données des médias sociaux et des données d'actualités pour identifier les tendances du marché et prendre des décisions de trading éclairées.

- Détection des fraudes : Analyse des données de transaction pour détecter les activités de trading suspectes.
- Gestion des risques : Utilisation des données financières et des données externes pour évaluer les risques et optimiser les portefeuilles d'investissement.

7.7.1 Analyses

Les Données massives permettent de créer des modeles prédictifs, et d'analyser les données de façon poussée, afin de prendre des décisions éclairées.

7.7.2 Fabrication

- Maintenance prédictive : Analyse des données de capteurs pour prédire les pannes d'équipement et planifier la maintenance préventive.
- Optimisation de la production : Analyse des données de production pour optimiser les processus et réduire les coûts.
- Contrôle de la qualité : Analyse des données de capteurs et des données d'inspection pour détecter les défauts et améliorer la qualité des produits.

7.7.3 Recherche

- Amélioration des résultats de recherche : Analyse des données de recherche et des données de navigation pour améliorer la pertinence des résultats de recherche.
- Personnalisation des résultats de recherche : Analyse des données de profil et des données de comportement pour personnaliser les résultats de recherche.
- Découverte de nouvelles informations : Utilisation de l'analyse de texte et de l'apprentissage automatique pour découvrir de nouvelles informations et tendances à partir de grandes quantités de données.

7.7.4 Qualité

- L'analyse des Données massives permet un contrôle de qualité plus strict dans tous les domaines.

7.8 Cycle de vie du Big Data :

Le terme "Big Data" (données massives) fait référence aux quantités massives d'informations générées chaque jour à partir de diverses sources telles que les médias sociaux, les capteurs et les transactions en ligne. Le "cycle de vie des Big Data" décrit les étapes que les données traversent, de leur création à leur utilisation finale. Voici une description détaillée de chaque étape en termes simples.

Le Big Data dans les transports et ailleurs a émergé de la convergence de la diminution rapide des coûts de collecte, de stockage et de traitement, puis de diffusion des données. La diminution des coûts des capteurs a entraîné une prolifération des plateformes de détection, transformant de vastes pans du monde analogique en signaux traités numériquement. La diminution des coûts de stockage des données a permis de conserver des données qui avaient auparavant été rejetées. Comme l'a noté l'historien des sciences George Dyson : « Le Big Data est ce qui s'est passé lorsque le coût du stockage de l'information est devenu inférieur au coût de la décision de la jeter. » (Board, Big Data and Transport Understanding and assessing options Corporate Partnership Board Report Corporate Partnership Board CPB, 2015) :

7.8.1 Génération des données :

C'est la première étape où les données sont créées. Imaginez une usine produisant des biens. Les données peuvent provenir de nombreux endroits, tels que les smartphones, les voitures et même les appareils domestiques intelligents. Par exemple, lorsque vous publiez une photo sur les médias sociaux, cette action génère des données sur vous, votre emplacement et l'heure de la publication. (Board, Big Data and Transport Understanding and assessing options Corporate Partnership Board Report Corporate Partnership Board CPB, 2015)

7.8.2 Collecte des données :

Une fois les données générées, elles doivent être collectées. C'est comme rassembler tous les produits d'une usine pour les stocker dans un entrepôt. Les données peuvent être collectées par diverses méthodes, telles que des enquêtes, des capteurs ou le suivi en ligne. Par exemple, une application de fitness collecte des données sur vos pas et votre fréquence cardiaque pour vous aider à suivre votre santé. (Board, BIG DATA AND TRANSPORT, 2015)

7.8.3 Stockage des données :

Une fois collectées, les données doivent être stockées en toute sécurité. Imaginez mettre tous les produits rassemblés dans un entrepôt sécurisé. Les données peuvent être stockées dans des bases de données ou dans le stockage en nuage (cloud), qui est comme un entrepôt virtuel sur Internet. Cela permet un accès et une gestion faciles de grandes quantités de données. (Board, BIG DATA AND TRANSPORT, 2015)

7.8.4 Traitement des données :

Cette étape consiste à organiser et à nettoyer les données pour les rendre utiles. Imaginez trier et emballer les produits pour la vente. Le traitement des données peut inclure la suppression des erreurs, le remplissage des informations manquantes et la conversion des données dans un format utilisable. Par exemple, si une application de fitness collecte des données de fréquence cardiaque, elle doit s'assurer que les données sont exactes et correctement formatées pour l'analyse. (Board, BIG DATA AND TRANSPORT, 2015)

7.8.5 Analyse des données :

Après le traitement, les données sont analysées pour en extraire des informations utiles. C'est comme examiner les produits pour voir lesquels sont populaires. Les analystes utilisent divers outils et techniques pour trouver des modèles et des informations. Par exemple, une ville pourrait analyser les données de trafic pour déterminer les meilleurs itinéraires pour les véhicules d'urgence. (Board, BIG DATA AND TRANSPORT, 2015)

7.8.6 Visualisation des données :

Cette étape consiste à présenter les données analysées de manière claire et compréhensible. Imaginez créer un emballage attrayant pour les produits afin d'attirer l'attention des clients. La visualisation des données peut inclure des graphiques, des diagrammes et des cartes qui aident les gens à comprendre rapidement des informations complexes. Par exemple, un graphique montrant les schémas de trafic peut aider les urbanistes à prendre de meilleures décisions. (Board, BIG DATA AND TRANSPORT, 2015)

7.8.7 Partage des données :

Enfin, les informations obtenues à partir de l'analyse des données peuvent être partagées avec d'autres. C'est comme distribuer des produits aux magasins pour que les clients les achètent. Le partage des données peut se faire par le biais de rapports, de tableaux de bord ou de bases de données publiques. Par exemple, un gouvernement pourrait partager les données de trafic avec le public pour améliorer la sécurité routière. (Board, BIG DATA AND TRANSPORT, 2015)

7.8.8 Archivage et suppression des données :

Une fois les données utilisées, elles peuvent être archivées pour référence future ou supprimées si elles ne sont plus nécessaires. L'archivage est comme le stockage de vieux produits qui ne sont pas actuellement vendus mais qui pourraient être utiles plus tard. La suppression est comme jeter les produits périmés. Une gestion appropriée des données à ce stade est importante pour garantir la confidentialité et la conformité aux réglementations. (Board, Big Data and Transport Understanding and assessing options Corporate Partnership Board Report Corporate Partnership Board CPB, 2015)

En résumé, le cycle de vie des Big Data est une série d'étapes que les données traversent, de leur création à leur utilisation finale. Chaque étape est cruciale pour garantir que les données sont utiles, exactes et sécurisées. La compréhension de ce cycle de vie aide les organisations à prendre de meilleures décisions et à améliorer les services en fonction des données qu'elles collectent. (Board, BIG DATA AND TRANSPORT, 2015)

7.9 Pourquoi les Données massives (Big Data) sont utiles ? :

Google traite des données de centaines de pétaoctets (PB), et Facebook génère des données de journal de plus de 10 pétaoctets (PB) par mois. Baidu, une entreprise chinoise, traite des données de dizaines de PB, une filiale d'Alibaba, génère des données de dizaines de téraoctets (TB) sur le commerce en ligne par jour. On peut alors se demander : si les Données massives sont complexes à stocker et à traiter, pourquoi ces entreprises investissent-elles autant d'argent dans ce domaine et essaient-elles de collecter autant de données que possible ?

La réponse est qu'elles ont découvert que les données sont incroyablement précieuses. L'analyse de toutes les données et la recherche de modèles permettent d'extraire des informations puissantes qui peuvent apporter davantage de bénéfices.

Les Données massives sont une force perturbatrice qui affectera les organisations dans tous les secteurs, toutes les industries et toutes les économies. Et presque tous les départements d'une entreprise devront s'adapter pour permettre aux Données massives d'informer et de révéler. L'analyse des données changera, devenant une partie intégrante du processus métier au lieu d'une fonction distincte exercée uniquement par des spécialistes formés. La productivité des Données massives proviendra du fait de donner aux utilisateurs de toute l'organisation le pouvoir de travailler avec divers ensembles de données grâce à des outils en libre-service.

- Pour rendre l'image plus claire, voici quelques exemples :

Lorsqu'un utilisateur se rend sur un site web, comme Facebook, Google, Amazon, etc., on lui propose des publicités, des recommandations et des produits choisis spécifiquement pour lui. Pour ce faire, ces types de sites web s'assurent de stocker et d'analyser correctement toutes les données détaillées que l'utilisateur génère (comme les recherches, les clics de souris, même le temps passé à regarder une page web, etc.), afin qu'en fonction de ces données, ils puissent estimer ses préférences.

Voici un autre exemple tiré de la vie réelle : lors de l'approche de l'ouragan Sandy au New Jersey, aux États-Unis, la plus grande entreprise de vente au détail des États-Unis, Walmart, a utilisé les Données massives pour en tirer profit. Ils ont étudié les habitudes d'achat des différents clients lorsqu'un ouragan ou une autre catastrophe naturelle est sur le point de frapper une zone particulière. Après avoir analysé ces données, ils ont constaté que les gens avaient tendance à acheter des articles d'urgence comme des lampes

de poche, des gilets de sauvetage, etc., et, de manière intéressante, ils achetaient également beaucoup de Pop-Tarts à la fraise. Ils ont utilisé ces informations et en ont tiré profit. Et ils n'ont pas fait d'études théoriques, mais seulement en analysant les données stockées, ils ont obtenu ces informations (BOUKHELKHAL, 2017).

7.10 Conclusion :

Immédiat sur une nouvelle campagne de marque en analysant les commentaires de blogs et les conversations sur les réseaux sociaux.

La réalisation du vaste potentiel des Données massives nécessite une approche réfléchie et holistique de la gestion des données, de l'analyse et de l'intelligence de l'information. Dans tous les secteurs, les organisations qui prennent de l'avance sur les Données massives créeront de nouvelles efficacités opérationnelles, de nouvelles sources de revenus, un avantage concurrentiel différencié et des modèles commerciaux entièrement nouveaux. Les chefs d'entreprise devraient commencer à réfléchir stratégiquement à la manière de préparer leurs organisations aux Données massives et aux grandes opportunités (BOUKHELKHAL, 2017).

Données spatiales : Les données géospatiales contiennent des informations qui décrivent des objets, des événements ou des caractéristiques situés sur ou à proximité de la surface de la Terre. Elles combinent des spécificités de localisation, représentées par des coordonnées terrestres, avec des détails attributaires caractérisant les objets associés, ainsi que des données temporelles indiquant la durée de leur existence. Les emplacements peuvent être soit statiques, comme des équipements ou des événements sismiques, soit dynamiques, incluant des entités en mouvement, telles que des véhicules, des piétons ou la propagation de maladies infectieuses. Les données géospatiales comprennent des ensembles de données recueillis dans divers formats à partir de sources multiples, notamment l'imagerie satellite, les relevés météorologiques, les données de téléphones portables, les visuels cartographiés et le contenu des médias sociaux. Leur plein potentiel émerge lorsqu'elles peuvent être découvertes et analysées (Jiayang , Wensheng , Han-Chieh , & Philip S. , 2024).

7.11 Types de Données Spatiales :

Les types de données spatiales sont essentiels pour représenter les informations géographiques dans les bases de données. L'ensemble standard des types de données spatiales comprend (Roger & Mark , 2015):

- Point : Un point simple est représenté par une seule coordonnée dans l'espace euclidien. (Roger & Mark , 2015)
- Ligne : Une ligne simple est une ligne continue définie par deux points d'extrémité, effectivement un objet unidimensionnel intégré dans un espace bidimensionnel. (Roger & Mark , 2015)
- Polygone : Une région simple est définie par une limite qui forme un cycle fermé, séparant l'intérieur de l'extérieur. Ceci est souvent appelé une courbe de Jordan, et dans ce contexte, les polygones sont utilisés pour représenter des régions simples avec des limites définies par des segments de ligne droite. (Roger & Mark , 2015)

7.11.1 Classification des Types de Données Spatiales :

Les types de données spatiales peuvent être classés en deux catégories (Roger & Mark , 2015):

- Types Simples : Ceux-ci comprennent les points, les lignes et les régions (ou polygones). Bien que les types simples soient fondamentaux, ils ont des limites pour représenter toutes les réalités géographiques et ne sont pas fermés sous toutes les opérations spatiales.
- Types Complexes : Ces types ne sont pas détaillés dans les informations fournies, mais comprennent généralement des représentations plus complexes de phénomènes géographiques, tels que des géométries multi-parties ou des structures topologiques.

7.11.2 Requêtes Spatiales :

Les requêtes spatiales peuvent être classées en cinq grands types (Roger & Mark , 2015) :

- Sélection Spatiale
- Variations de Plus Proche Voisin
- Jointures
- Agrégation Spatiale
- Agrégation de Caractéristiques

Ces catégories permettent aux chercheurs d'évaluer les performances des requêtes spatiales à travers différentes architectures de stockage et systèmes de traitement de requêtes, en particulier ceux basés sur les frameworks MapReduce. (Roger & Mark , 2015)

7.11.3 Données géospatiales versus données géographiques :

Les données géospatiales englobent tout type de données décrivant des phénomènes liés à la dimension géospatiale. En revanche, les données géographiques se réfèrent spécifiquement aux données géospatiales dont une dimension est liée à leur position, soit à un moment précis, soit à la surface de la Terre (Jiayang , Wensheng , Han-Chieh , & Philip S. , 2024).

7.12 Principales sources de données géospatiales open source :

7.12.1 USGS Earth Explorer:

https://earthexplorer.usgs.gov/

Trouver des images en utilisant USGS Earth Explorer.

Pour l'essentiel, ce site contient des données d'observation de la Terre. C'est de loin la plus grande archive d'images satellites et aériennes d'observation de la Terre. Earth Explorer possède une interface conviviale qui facilite l'accès aux données de télédétection. Vous pouvez télécharger les données individuellement ou en lot. Les options de téléchargement en lot vous donnent la possibilité d'accéder à plusieurs ensembles de données si nécessaire. Vous devrez d'abord créer un compte gratuit. (spatialelearning, s.d.)

7.12.2 TIGER/Line Graphic Data :

https://www.census.gov/geo/maps-data/data/tiger-line.html

Trouver des images en utilisant les données graphiques TIGER/Line

TIGER/Line est une ressource géospatiale pour les données vectorielles telles que les points, les lignes et les polygones, utilisée dans les systèmes d'information géographique. Les fichiers de forme TIGER/Line sont gérés par le Bureau du recensement des États-Unis et incluent un format de texte bien connu (WKT) standard de l'industrie SIG, fournissant le système de coordonnées, la projection et le datum attribués à chaque entité. Vous aurez besoin d'un navigateur Internet, d'un utilitaire pour décompresser les fichiers et d'un logiciel de traitement de données. Vous n'avez pas besoin de nom d'utilisateur ou d'inscription pour accéder et/ou télécharger les fichiers. (spatialelearning, s.d.)

7.12.3 NASA Earth Observations (NEO) :

https://neo.sci.gsfc.nasa.gov

NASA Earth Observations (NEO) fournit des galeries d'images d'observations satellitaires à l'échelle mondiale. Celles-ci offrent des aperçus de la variabilité saisonnière de la surface de la Terre, des changements quotidiens, mensuels aux changements annuels. Les galeries d'images sont disponibles aux formats JPEG, PNG et GeoTIFF. Vous aurez besoin d'un navigateur Internet, d'un utilitaire pour décompresser les fichiers et d'un logiciel de traitement de données. Vous n'avez pas besoin de nom d'utilisateur ou d'inscription pour accéder et/ou télécharger les fichiers. (spatialelearning, s.d.)

7.12.4 Alaska Satellite Facility :

ASF Data Search

L'Alaska Satellite Facility (ASF) joue un rôle essentiel dans le domaine des données spatiales, en particulier celles issues du Radar à Synthèse d'Ouverture (SAR).Le site propose des outils pour rechercher et découvrir une vaste archive de données SAR provenant de diverses missions satellitaires. Cela inclut des données de la NASA, de l'ESA, de la JAXA et d'autres sources.

Les utilisateurs peuvent effectuer des recherches par emplacement géographique, plage de dates, type de capteur et autres critères.

Le site fournit des mécanismes pour télécharger des données SAR dans différents formats.

Sa mission principale est de rendre les données de télédétection, en particulier les données SAR, accessibles aux chercheurs, aux scientifiques et aux autres utilisateurs du monde entier.

7.12.5 Open Street Map :

https://www.openstreetmap.org

OpenStreetMap (OSM) est l'un des plus grands portails de données géospatiales collaboratives. Les données OSM sont créées par le public et sont disponibles gratuitement pour un usage public. Cependant, il existe des limitations, notamment en ce qui concerne la précision et la qualité des données. Bien que la qualité globale des données OSM ait été bonne, son utilisation doit se faire avec prudence.

7.12.6 DIVA-GIS :

https://www.diva-gis.org/

est un Système d'Information Géographique (SIG) gratuit et open-source qui permet de créer des cartes de données de répartition d'espèces et d'analyser ces données. Il est conçu pour être facile à utiliser, même pour les personnes n'ayant pas de connaissances approfondies en SIG.

7.12.7 Esri Sentinel-2 Land Cover Explorer :

Esri | Sentinel-2 Land Cover Explorer

est une application web qui permet aux utilisateurs d'analyser visuellement et statistiquement les changements de la couverture terrestre au fil du temps, en utilisant les données du satellite Sentinel-2 de l'Agence spatiale européenne. Voici une présentation de ses principales caractéristiques et objectifs.

Elle utilise les données Sentinel-2 10 mètres sur l'utilisation et la couverture des terres, qui offrent des informations à haute résolution.

Il permet de travailler avec divers types de données, notamment les limites administratives, les cours d'eau, les images satellites et les données de localisation d'espèces.

Il permet de telecharger gratuitement des données spatiales en format shapefile pour les utilisés dans les SIG

7.13 Big data spatial :

Les données géospatiales ont toujours été du Big Data. De nos jours, l'analyse du Big Data pour les données géospatiales reçoit une attention considérable, permettant aux utilisateurs d'analyser d'énormes quantités de données géospatiales. Le Big Data géospatial se réfère typiquement à des ensembles de données spatiales dépassant la capacité des systèmes informatiques actuels. (Jae-Gil & Minseo , 2015)

7.13.1 Données massives géospatiales :

Données massives géospatiales : sous-ensemble des Données massives, ayant une composante spatiale.

Les Données massives intégrant une composante spatiale : les « DONNÉES MASSIVES GÉOSPATIALES » deviennent un sujet de recherche et de développement pour la communauté : universités, industrie, gouvernements et organisations internationales, y compris l'ONU.

Une part importante des Données massives sont des données géospatiales, et la taille de ces données augmente rapidement.

La gestion et le traitement des Données massives géospatiales pour aider à la prise de décision deviennent un enjeu scientifique et sociétal important (Yilma, 2023).

7.13.2 Caractéristiques des données massives géospatiales

- Les données géospatiales ont toujours été des Données massives. (Jorge Neil V & Sunny B)
- Les Données massives géospatiales font généralement référence à des ensembles de données spatiales dépassant la capacité des systèmes informatiques standards. (Jorge Neil V & Sunny B)
- Les Données massives géospatiales sont ctérisées par les 5V (Jorge Neil V & Sunny B) :
    - Volume : Les données géospatiales sont souvent massives, en raison de la haute résolution des images satellites, des données de capteurs en continu, et des informations de localisation provenant de milliards d'appareils.

- Vélocité : Ces données sont générées en temps réel ou quasi réel, comme les flux de données GPS, les images de surveillance, ou les données de réseaux sociaux géolocalisées.
- Variété : Elles proviennent de sources diverses : images satellites, données LiDAR, données de capteurs, données de réseaux sociaux, données de GPS, etc. Elles peuvent être structurées (bases de données) ou non structurées (images, vidéos).
- Véracité : La qualité et la précision des données géospatiales sont essentielles. Il est crucial de s'assurer de la fiabilité des sources et de corriger les éventuelles erreurs.
- Valeur : L'analyse des Données massives géospatiales permet d'extraire des informations précieuses pour la prise de décision, l'optimisation des ressources, la prévision des événements, etc.

7.13.3 Défis spécifiques au Big Data géospatial

- Les données géospatiales sont souvent massives, multidimensionnelles et temporelles.
- Leur traitement nécessite des infrastructures de calcul avancées (grilles, clusters, cloud computing).
- L'intégration de données provenant de sources variées (satellites, capteurs, réseaux sociaux) pose des défis d'interopérabilité.

7.13.4 Sources des Données massives géospatiales :

- Satellites d'observation de la Terre : Les satellites sont la technologie d'observation de la Terre la plus largement utilisée pour la collecte d'informations géospatiales (Yilma, 2023).
- L'imagerie satellite est une source de Données massives géospatiales.
- Les satellites météorologiques collectent de grandes quantités de données météorologiques et climatiques.
- GPS (Système de Positionnement Global) : fournit des informations de positionnement et de navigation. C'est l'un des Systèmes Mondiaux de Navigation par Satellite (GNSS) : Galileo, GLONASS, BeiDou.
- La technologie GPS est largement utilisée pour des applications telles que la cartographie, la topographie, le suivi, l'agriculture de précision, etc.Intégré dans les appareils mobiles, les véhicules (navigation).
- LiDAR (Détection et télémétrie par ondes lumineuses) : est une méthode de télédétection utilisée pour cartographier la surface de la Terre en utilisant la lumière laser pour mesurer les portées (distances variables) jusqu'à la Terre.Les données de nuages de points sont acquises à partir du LiDAR. Utilisé pour générer des modèles d'élévation/de terrain, des modèles de villes en 3D, la cartographie des infrastructures (par exemple, les lignes électriques).
- UAV (Véhicules Aériens Sans Pilote) : Les UAV, mieux connus sous le nom de drones, sont utilisés pour capturer des images aériennes haute résolution de petites zones, telles que des bâtiments ou des champs agricoles.

D’autres sources :

- Vidéos en mouvement complet, images photogrammétriques.
- Détection d'objets, détection de changements et suivi en temps réel à des échelles plus fines.
- Utilisés pour des applications telles que l'agriculture, la foresterie et l'exploitation minière, les applications d'évaluation environnementale, urbaine et des risques...
- Systèmes radar : Les systèmes radar pénètrent les nuages ; les nuages obscurcissent l'imagerie satellite.
- Les radars météorologiques sont utilisés pour la détection météorologique et l'alerte précoce.
- Les systèmes radar aéroportés sont utilisés pour cartographier de vastes zones.
- Photographie aérienne : La photographie aérienne capture des photographies de la surface de la Terre à l'aide de caméras haute résolution montées sur un avion ou un hélicoptère.
- Appareils compatibles GPS (dans les véhicules, les smartphones, les colliers de suivi de la faune) ;
- IoT et capteurs distribués (surveillance de la qualité de l'air, de la chimie de l'eau, de la consommation d'énergie) ; appareils intelligents.
- Crowdsourcing/Informations géographiques volontaires (IGV) : production de données géospatiales volontaires (par exemple, OpenStreetMap).

7.13.5 Comprendre l'informatique des données massives pour les applications géospatiales :

L'informatique des données massives occupe une place importante dans le monde d'aujourd'hui, en particulier lorsqu'il s'agit d'applications géospatiales. Les applications géospatiales sont des outils et des méthodes qui nous aident à comprendre et à analyser les données relatives à des emplacements sur Terre. (Zhenlong, Wenwu, Qunying , Eric , & Qingfeng , 2020)

Pourquoi combiner le Big Data et les données géospatiales ?

La combinaison de données massives et de données géospatiales nous permet d'analyser les modèles et les tendances liés aux emplacements. Par exemple, si nous voulons comprendre la structure du trafic dans une ville, nous pouvons utiliser les données massives des appareils GPS et les combiner avec des cartes pour voir où les embouteillages se produisent le plus souvent. (Zhenlong, Wenwu, Qunying , Eric , & Qingfeng , 2020)

7.13.6 L’évaluation de la qualité des données spatiales :

Lors de l'évaluation de la qualité des données spatiales, plusieurs critères sont généralement prioritaires. Ces critères permettent de déterminer si un jeu de données est adapté à un usage spécifique. Voici les principaux éléments à considérer (Lumsden, Bastin, & Lush, 2012) :

a) Traçabilité (Lineage) : Ce critère fait référence à l'historique des données, c'est-à-dire la manière dont elles ont été collectées, traitées et transformées. Comprendre la traçabilité permet d'évaluer la crédibilité et la fiabilité des données.

b) Exhaustivité (Completeness) : Ce critère évalue si toutes les données nécessaires sont présentes. L'exhaustivité peut être mesurée à la fois en termes d'attributs inclus et de l'étendue spatiale couverte.

c) Cohérence logique (Logical Consistency) : Ce critère vérifie si les données respectent certaines règles et contraintes. Par exemple, il s'assure qu'il n'y a pas de contradictions dans le jeu de données, comme des polygones qui se chevauchent alors qu'ils devraient être mutuellement exclusifs.

d) Précision positionnelle (Positional Accuracy) : Ce critère évalue la précision avec laquelle les entités spatiales sont représentées en termes de localisation. La précision positionnelle est cruciale pour les applications nécessitant des informations géographiques précises.

e) Précision temporelle (Temporal Accuracy) : Ce critère évalue l'exactitude des informations liées au temps dans le jeu de données, en s'assurant que les horodatages et les références temporelles sont corrects.

f) Précision des attributs (Attribute Accuracy) : Ce critère examine à quel point les attributs associés aux entités spatiales reflètent fidèlement les caractéristiques réelles qu'ils représentent.

Bien que ces critères soient largement reconnus, les exigences des utilisateurs pour évaluer la qualité des données spatiales peuvent aller au-delà de ces éléments. Par exemple, des caractéristiques spécifiques telles que la résolution spatiale et spectrale, la continuité de l'approvisionnement en données, ou la réputation du producteur de données peuvent également être prises en compte. Cependant, ces aspects sont souvent plus difficiles à quantifier. (Lumsden, Bastin, & Lush, 2012)

7.13.7 Présentation de l'informatique des données massives pour les applications géospatiales :

L'article intitulé « Introduction à l'informatique des données massives pour les applications géospatiales » traite de l'intersection des données massives et de l'informatique géospatiale, en soulignant à la fois les défis et les opportunités dans le domaine de la science de l'information géographique (GIScience). (Zhenlong, Wenwu, Qunying , Eric , & Qingfeng , 2020)Voici quelques points clés dérivés des contextes fournis :

- Intégration de la pensée informatique et spatiale : L'article souligne l'importance de fusionner la pensée informatique et la pensée spatiale. Cette intégration est cruciale pour transformer des concepts abstraits en structures de données et en algorithmes pratiques, ce qui peut améliorer l'efficacité des applications géospatiales.

- **Avancées dans les méthodes de traitement des données massives ** : les avancées récentes dans les méthodes de calcul des données massives sont présentées, en particulier l'utilisation de frameworks informatiques distribués tels que Spark. Ces frameworks facilitent les applications à grande échelle et améliorent l'efficacité des calculs grâce à un partitionnement efficace des données basé sur la complexité de la forme des polygones.

- Algorithmes parallèles pour l'analyse géospatiale : Le travail met en évidence la conception d'algorithmes parallèles pour l'analyse de superposition, qui utilisent une combinaison d'indexation spatiale et de filtres pour améliorer les performances. Cette approche montre qu'une

mesure minutieuse des propriétés des données peut améliorer de manière significative les performances des algorithmes parallèles.

- Orientations de recherche futures : L'article décrit les orientations de recherche futures prometteuses, y compris la nécessité d'une meilleure intégration des SIG et des sciences informatiques, appelée « cyber alphabétisation pour les SIG ». Cette intégration vise à créer des plateformes informatiques robustes capables de résoudre des problèmes géospatiaux complexe.
- Défis liés aux applications actuelles : Il note que de nombreuses applications géospatiales existantes manquent souvent d'optimisation, se contentant d'intégrer des types de données spatiales dans des systèmes de données massives existants tels que Hadoop. Le document appelle à des efforts plus ciblés pour identifier les applications géospatiales efficaces qui peuvent bénéficier de l'intégration de méthodes géospatiales et du calcul parallèle.
- Optimisation des cadres de données massives : Les auteurs suggèrent que les recherches futures devraient se concentrer sur l'optimisation des cadres de données massives en abordant divers aspects tels que l'extraction des données, la planification des tâches, l'allocation des ressources et la gestion de la mémoire, tout en tenant compte des principes et contraintes spatiaux.

7.13.8 Défis liés à la gestion des données géospatiales :

- La gestion des données géospatiales peut s'avérer délicate. Il existe de nombreux types de données et elles proviennent de différentes sources. Par exemple, les images satellites, les données GPS et les publications sur les réseaux sociaux peuvent toutes fournir des informations géospatiales. Le défi consiste à organiser et à analyser ces données de manière efficace. (Xu & Yang, 2014)
- Opportunités liées aux données massives dans les applications géospatiales : L'intégration des données massives dans les applications géospatiales ouvre de nombreuses opportunités. Par exemple, les urbanistes peuvent utiliser ces données pour concevoir de meilleurs systèmes de transport public en analysant les endroits où les gens voyagent le plus souvent. Cela peut conduire à des itinéraires plus efficaces et à une diminution du trafic. (Xu & Yang, 2014)
- Pensée informatique et pensée spatiale : La pensée informatique est un moyen de résoudre des problèmes à l'aide de concepts informatiques. La pensée spatiale implique de comprendre comment les différents objets sont liés les uns aux autres dans l'espace. La combinaison de ces deux types de pensée aide les chercheurs à créer de meilleurs modèles et algorithmes pour analyser les données géospatiales. (Xu & Yang, 2014)
- Transformer les idées en structures de données : Les chercheurs prennent des idées abstraites (comme les modèles de trafic) et les transforment en structures de données concrètes (comme des bases de données). Ce processus implique la création d'algorithmes, qui sont des instructions étape par étape pour résoudre des problèmes. Par exemple, un algorithme peut aider à trier les données de trafic pour trouver les intersections les plus fréquentées. (Xu & Yang, 2014)
- Orientations futures de la recherche : Les recherches dans ce domaine sont en cours. Les scientifiques et les chercheurs sont constamment à la recherche de nouveaux moyens d'améliorer la façon dont nous utilisons les données massives dans les applications géospatiales. Cela pourrait impliquer le développement de nouvelles technologies ou méthodes pour analyser les données de manière plus efficace. (Xu & Yang, 2014)

En résumé, la combinaison des données massives et des applications géospatiales constitue un outil puissant qui nous aide à mieux comprendre notre monde. En gérant et en analysant de grandes quantités de données géolocalisées, nous pouvons prendre des décisions éclairées qui améliorent nos vies et nos communautés (Xu & Yang, 2014)

7.13.9 Technologies clés pour traiter les dynamiques quantitatives et qualitatives des Données massives géospatiales :

Le phénomène des Données massives reflète la capacité accrue de l'humanité à numériser la surface de la Terre, de la société humaine aux environnements naturels, et ce, tant dans les dimensions spatiales que temporelles. Par exemple, les images haute résolution des satellites qui orbitent la Terre 24h/24, 7j/7, et l'Internet des objets offrent des capacités améliorées pour surveiller l'environnement naturel et les propriétés physiques de la société humaine. À mesure que la résolution observationnelle augmentait dans les dimensions spatio-temporelles, la taille des données produites dépassait le seuil que les ordinateurs autonomes peuvent traiter efficacement. Fréquemment, les données de télédétection en téraoctets ou pétaoctets doivent être traitées dans un laps de temps spécifique .Dans le même temps, les images de télédétection sont de plus en plus utilisées dans la gestion des urgences pour fournir des estimations critiques en temps réel de la conscience situationnelle. Une telle demande a rendu la capacité de service de données en temps réel ou quasi réel primordiale (Cossu et al., 2009). Pendant ce temps, des changements plus importants se sont produits dans d'autres domaines, où les méthodologies de recherche qualitative dominaient traditionnellement. Avec davantage de traces numériques d'activités humaines accumulées, les études quantitatives ou les études hybrides de méthodologies quantitatives et qualitatives sont proclamées (Delyser et Sui, 2013). Par exemple, la disponibilité des données est un problème majeur qui a rendu perplexe les sciences sociales. Il y a des messages texte ainsi que des photos partagées par des millions d'utilisateurs de Twitter dans 400 millions de tweets par jour. Ces nouveaux types de données ont déjà été exploités pour l'intelligence afin d'augmenter les revenus et les bénéfices des entreprises. Les chercheurs en sciences sociales, quant à eux, ont conjecturé qu'il y avait des opportunités de faire progresser les études sociales avec de nouvelles approches computationnelles (Chen & Chaowei , 2014).

Les médias sociaux et les données participatives pourraient faciliter un changement historique dans les domaines des sciences sociales en termes de disponibilité des données (King, 2011). Cependant, la nature largement assertive de la plupart des données participatives soulève immédiatement des questions multiformes sur l'authenticité ainsi que la fiabilité des nouveaux types de données. La qualité des données fait partie des défis majeurs de la recherche axée sur les Données massives et les méthodologies existantes sont utilisées pour traiter des questions telles que la provenance des données. Cependant, l'auteur souhaite laisser cette discussion à des travaux futurs axés sur la qualité des Données massives, car toute élaboration suffisante de la question constituerait un article distinct. Le présent travail vise à donner un aperçu de la recherche pour relever les défis des Données massives (Chen & Chaowei , 2014).

7.14 Big data et l’analyse spatial

Les données massives ont révolutionné la recherche et l'analyse, notamment dans le domaine des études géospatiales. Voici quelques points clés pour comprendre leurs implications et les défis qu'elles posent (Lansley, De Smith, Goodchild, & Longley, 2018) :

- Précision et fréquence des données : Les données massives offrent une granularité spatiale accrue, des détails plus riches sur les attributs et une fréquence de mise à jour plus élevée. Cela permet

aux chercheurs d'accéder à des informations plus précises et plus récentes que celles fournies par les sources de données traditionnelles.

- Problèmes de couverture démographique : Malgré leur richesse, les données massives ne couvrent pas toujours l'ensemble de la population de manière exhaustive. Parfois, la population cible n'est pas clairement définie, ce qui peut introduire des biais dans les analyses. Il est donc crucial pour les chercheurs de bien comprendre l'origine des données qu'ils utilisent et de rester vigilants face à ces limites.
- Aspects éthiques : L'utilisation des données massives soulève des questions éthiques, notamment en ce qui concerne la confidentialité. La "dataveillance", c'est-à-dire la collecte et le stockage systématiques d'informations personnelles, peut révéler des comportements individuels. Pour protéger la vie privée, il est souvent nécessaire d'agréger les données à un niveau spatial plus large, ce qui limite le risque d'identification des individus.
- Données en temps réel : Les données massives se caractérisent par leur capacité à générer des informations en temps réel. Contrairement aux données géographiques traditionnelles, qui souffrent souvent de délais de collecte et de diffusion, les données massives provenant de sources comme les téléphones mobiles ou les réseaux sociaux permettent de suivre les mouvements et les comportements des populations presque instantanément.
- Biais démographiques : Un autre défi majeur des données massives est leur tendance à surreprésenter ou sous-représenter certains groupes démographiques. Cela peut fausser les résultats si les chercheurs supposent que les données reflètent fidèlement l'ensemble de la population. Une attention particulière doit donc être portée à ces biais pour éviter des conclusions erronées.
- Rentabilité : Les données massives offrent des informations qui seraient extrêmement coûteuses à obtenir via des méthodes de collecte traditionnelles. Cela en fait une ressource précieuse pour les chercheurs souhaitant étudier divers phénomènes dans différents contextes, à moindre coût.
- En résumé, si les données massives ouvrent de nouvelles perspectives passionnantes pour l'analyse géospatiale, elles présentent également des défis importants liés à la couverture des données, aux questions éthiques et aux biais démographiques. Pour en tirer pleinement parti, les chercheurs doivent naviguer avec soin à travers ces complexités. (Lansley, De Smith, Goodchild, & Longley, 2018)

7.14.1 L'impact de la qualité des données sur l'analyse géographique

- Fiabilité des résultats : La qualité des données est essentielle pour garantir des résultats fiables dans l'analyse géographique. Des données inexactes ou biaisées peuvent conduire à des conclusions erronées, affectant ainsi la validité des recherches menées.

- Intégration de sources variées : Pour obtenir des analyses précises, il est crucial d'intégrer des informations provenant de multiples sources. Cela permet de croiser les données et d'améliorer leur qualité. Par exemple, des projets comme Openstreetmap montrent comment des contributions variées peuvent enrichir les données géographiques, mais cela nécessite une attention particulière à la qualité de ces contributions.

- Anonymisation et partage des données : L'augmentation du volume de données a permis de surmonter certaines réticences à partager des informations sensibles. Cependant, il est important

de s'assurer que les données anonymisées conservent leur qualité et leur pertinence pour l'analyse géographique. Une mauvaise anonymisation peut compromettre l'intégrité des données.

- Défis de la vélocité : La rapidité à laquelle les données sont collectées et analysées (vélocité) pose également des défis en matière de qualité. Les applications en temps réel, comme celles utilisées pour suivre les foules lors d'événements, doivent garantir que les données sont non seulement rapides, mais aussi précises et fiables.
- Validation des hypothèses : Une bonne qualité des données est nécessaire pour valider les hypothèses théoriques dans les modèles géographiques. Les algorithmes et les simulations nécessitent des données de haute qualité pour produire des résultats significatifs et utiles pour la science géographique.
- Conséquences sur la théorie géographique : Les cartes et les analyses basées sur des données de mauvaise qualité peuvent ne pas apporter de nouvelles perspectives théoriques. Par exemple, les cartes des réseaux sociaux peuvent refléter des biais dans la connectivité plutôt que des vérités géographiques universelles.

En résumé, la qualité des données est un facteur déterminant dans l'analyse géographique, influençant la fiabilité des résultats, l'intégration des sources, et la validation des hypothèses. Une attention particulière à la qualité des données est donc essentielle pour avancer dans le domaine de la géographie.

7.15 La géographie face aux données massives :

La géographie n'est pas novice en matière de grandes quantités de données, ayant déjà travaillé avec des images satellites et l'analyse des interactions spatiales bien avant l'ère actuelle des "big data".

Les interactions spatiales, telles que les migrations, le commerce, et la circulation d'information, génèrent des quantités de données considérables, posant des défis de traitement et d'analyse.

a) Nouveaux types de données géolocalisées :

- L'intérêt pour les big data en géographie est ravivé par la disponibilité de données individuelles et géolocalisées provenant de capteurs, de l'usage d'internet, et d'objets connectés mobiles.
- L'accès facilité aux coordonnées géographiques, autrefois limité par des obstacles éthiques ou commerciaux, permet d'intégrer des informations individuelles dans des systèmes d'information géographique, reliant ainsi ces données à des structures et dynamiques spatiales à différentes échelles.

b) Défis liés aux données massives :

- Les principaux défis ne résident pas tant dans le volume ou la variété des données, mais dans leur vélocité (la vitesse à laquelle elles sont générées) et leur véracité (la validité et la fiabilité des données).
- La vélocité a conduit à des applications en temps réel, comme la localisation de foules via les données de téléphonie mobile ou la cartographie rapide d'accidents catastrophiques.

c) Méthodes et outils informatisés :

- Le traitement des données massives exige des méthodes informatisées adaptées pour l'extraction, le traitement statistique (analyses multivariées, théorie des graphes, analyses sémantiques), et la visualisation des données.

d) Implications épistémologiques :

- L'utilisation de ces données pourrait transformer les fondements du travail scientifique en offrant une alternative aux enquêtes et expériences traditionnelles, la masse d'informations compensant leurs imperfections potentielles.
- La finesse de résolution des données individuelles pourrait permettre de réviser certaines théories établies pour d'autres niveaux d'observation.

e) Qualité et intégration des données :

- Il est crucial de pouvoir évaluer la qualité des données et d'intégrer des informations variées provenant de sources multiples.
- L'Openstreetmap est un exemple de "géographie volontaire", où l'apport et le partage d'informations géographiques sont assurés par une multitude de personnes, remplaçant ainsi la distribution centralisée par des institutions.

f) Données de synthèse issues de modèles de simulation :

- L'utilisation de données de synthèse issues de modèles de simulation représente une voie prometteuse pour valider des modèles multi-agents en sciences sociales, servant de substitut à l'expérimentation.
- La capacité de calculer des centaines de millions de simulations grâce aux algorithmes évolutionnaires et au calcul distribué permet d'explorer l'espace de variation des paramètres du modèle de manière quasi exhaustive, validant ainsi les hypothèses théoriques.

7.15.1 L'impact des big data sur la géographie

- Nouveaux défis méthodologiques : Les quantités massives d'informations générées par les big data nécessitent des méthodes adaptées pour les traiter. Cela inclut des analyses statistiques multivariées, des analyses de réseaux, et des visualisations des structures de données. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)
- Représentation des flux : Les cartes représentant les échanges sur les réseaux sociaux, comme Twitter, ne révèlent pas nécessairement la mondialisation des échanges. Elles montrent plutôt la localisation des populations connectées, souvent dans des pays riches, et illustrent la première loi de la géographie, qui stipule que les individus proches interagissent plus facilement que ceux éloignés. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)
- Transformation épistémologique : Les big data pourraient transformer les bases épistémologiques du travail scientifique. La masse d'informations pourrait compenser les imperfections des enquêtes traditionnelles, permettant ainsi de réviser certaines théories construites pour d'autres niveaux d'observation. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)
- Qualité des données : La fiabilité des données est cruciale. Il est essentiel d'intégrer des informations variées et multi-sources pour garantir la qualité des analyses. Des exemples comme

OpenStreetMap montrent comment des données collectées par des bénévoles peuvent être efficaces. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)

- Anonymisation des données : L'augmentation du volume de données a permis de surmonter les réticences des opérateurs à partager des informations sensibles. Les grandes quantités de données facilitent l'anonymisation, ce qui est essentiel pour la cartographie. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)
- Géographie volontaire : Plutôt que de parler de néo géographie, les spécialistes préfèrent le terme « géographie volontaire », qui décrit le partage d'informations géographiques par divers individus, remplaçant ainsi une distribution centralisée. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)
- Défis des big data : Les géographes doivent faire face à des défis liés à la vélocité et à la véracité des données. Des applications en temps réel, comme celles utilisées pour analyser les foules lors d'événements, illustrent l'importance de la rapidité dans l'analyse des données. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)
- Interactions spatiales : La géographie a toujours été confrontée à de grandes masses de données, que ce soit à travers des images satellites ou des échanges spatiaux. Les défis posés par ces données massives sont de plus en plus pertinents dans le contexte des big data. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)

Ces points montrent comment les big data influencent la recherche géographique, en apportant à la fois des opportunités et des défis. (Audard, Carpentier, & Oliveau, 2014)

7.15.2 La Connexion entre la Géographie et les Données massives (Big Data)

La connexion entre la géographie et les données massives (big data) est un domaine en pleine expansion, offrant des perspectives nouvelles et des outils puissants pour comprendre et interagir avec notre monde.

7.15.3 Pourquoi est-ce Important ?

Comprendre la relation entre la géographie et les données massives est crucial pour de nombreuses raisons :

- Urbanisme : Les urbanistes peuvent utiliser les données massives pour décider où construire de nouvelles routes, écoles ou parcs. Cela contribue à rendre les villes plus vivables.
- Protection de l'environnement : En analysant les données sur les niveaux de pollution dans différentes zones, nous pouvons trouver des moyens de protéger l'environnement et d'améliorer la qualité de l'air.
- Gestion des catastrophes : Les données massives peuvent aider à prédire les catastrophes naturelles comme les inondations ou les tremblements de terre, permettant aux communautés de se préparer et de réagir efficacement.
- Gestion du trafic routier

7.15.4 Défis de l'utilisation des Données massives en Géographie

Bien que les données massives offrent de nombreux avantages, il existe également des défis :

- Confidentialité des données : La collecte d'informations sur les personnes peut soulever des préoccupations concernant la vie privée. Il est important de traiter les données de manière responsable.
- Qualité des données : Toutes les données ne sont pas exactes. Les chercheurs doivent s'assurer que les informations qu'ils utilisent sont fiables et valides.
- Complexité : L'analyse des données massives peut être compliquée. Elle nécessite des outils et des compétences spéciaux pour donner un sens à l'information.

7.15.5 Pourquoi les Données massives Géospatiales sont-elles Importantes ?

- Taille Croissante : La quantité de données géospatiales augmente rapidement, d'environ 20 % chaque année. Cela signifie que chaque année, nous recueillons beaucoup plus d'informations sur les lieux et les mouvements des personnes et des choses.
- Applications dans le Monde Réel : Les données massives géospatiales peuvent aider dans de nombreux domaines, tels que :
    - Urbanisme : Les urbanistes peuvent utiliser ces données pour décider où construire de nouvelles routes, des parcs ou des écoles en fonction de l'endroit où les gens vivent et se déplacent.
    - Santé : Les hôpitaux peuvent analyser les données pour voir où les gens tombent malades et comment mieux servir ces communautés.
    - Économies de Carburant et de Temps : Les entreprises peuvent utiliser les données géospatiales pour trouver les meilleurs itinéraires pour les camions de livraison, ce qui permet d'économiser du carburant et du temps.

7.16 Le Big Data et ses avantages dans les transports, l'urbanisme et la prise de décision

Le big data offre des avantages significatifs dans divers domaines, en particulier dans les transports, l'urbanisme et les processus de prise de décision. Voici quelques-unes des principales façons dont le big data peut-être bénéfique (Jiang & Luo , 2022) :

a) Gestion du trafic améliorée

Les outils de big data sont appliqués pour gérer et analyser efficacement les données de trafic. Par exemple, les systèmes qui utilisent de grands volumes de données GPS peut prédire les schémas de trafic, surveiller la mobilité urbaine et optimiser la fluidité du trafic. Ces systèmes peuvent exploiter des technologies telles qu'Apache Hadoop et Spark pour traiter de vastes quantités de données collectées à partir de diverses sources, notamment les appareils mobiles et les capteurs. (Jiang & Luo , 2022)

b) Prise de décision améliorée

Les gouvernements et les organisations peuvent utiliser le big data pour une prise de décision éclairée. En analysant les schémas de trafic, les données historiques et le comportement des utilisateurs, les décideurs

politiques peuvent élaborer des initiatives stratégiques pour les villes intelligentes et l'urbanisme, assurant ainsi une meilleure allocation des ressources et un développement des infrastructures. (Jiang & Luo , 2022)

c) Analyse prédictive

Le big data facilite l'analyse prédictive, qui permet de prévoir les événements futurs sur la base de données historiques. Ceci est particulièrement utile dans les tâches d'estimation et de prévision du trafic. En employant des modèles d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond, les organisations peuvent tirer des enseignements qui mènent à des mesures proactives dans le contrôle du trafic et la gestion de la mobilité urbaine. (Jiang & Luo , 2022)

d) Analyse des données spatio-temporelles

Avec les avancées des outils de big data comme MobilityDB et Dragoon, l'accent est mis sur l'analyse des données spatio-temporelles. Ces outils permettent le traitement des trajectoires géospatiales d'objets en mouvement, améliorant ainsi la capacité d'analyser les données en temps réel pour de meilleures solutions de gestion du trafic (Jiang & Luo , 2022).

e) Intégration de sources de données multiples

Le big data permet l'intégration de diverses sources de données, telles que les données cellulaires, les informations des stations de base et les données du réseau routier. Cette vision holistique améliore la compréhension des systèmes de transport et de leurs interdépendances. (Jiang & Luo , 2022)

L'application du big data transforme la façon dont nous abordons divers défis dans les transports et l'urbanisme. En exploitant la puissance de l'analyse du big data, les parties prenantes peuvent améliorer les systèmes de gestion du trafic, renforcer les processus de prise de décision et favoriser le développement de villes intelligentes. (Jiang & Luo , 2022)

7.16.1 Application du Big Data dans l'industrie des transports :

Le big data à un potentiel significatif pour transformer l'industrie des transports en répondant à divers défis et en améliorant l'efficacité. Voici quelques applications et avantages clés du big data dans ce secteur (Zeng, 2015) :

a) Gestion du trafic :

- Gestion de données complexes : Les technologies du big data peuvent gérer de vastes quantités de données complexes et diverses générées à partir de sources multiples, telles que les informations client des chemins de fer, les données de trafic routier et les données opérationnelles des entreprises de transport. Cette capacité permet un stockage, une analyse et une gestion efficaces des données de transport.
- Analyse en temps réel : Les Systèmes de Transport Intelligents (STI) peuvent utiliser le big data pour l'analyse du trafic en temps réel, ce qui aide à gérer la fluidité du trafic et à réduire les embouteillages (Zeng, 2015).

b) Améliorations du traitement des données :

- Gestion efficace des données : Les systèmes de traitement de données traditionnels ont souvent du mal avec le volume et la complexité des données de transport. Les solutions

de big data comme Hadoop peuvent traiter efficacement de grands ensembles de données en distribuant les tâches sur plusieurs nœuds, améliorant ainsi la stabilité du système et la tolérance aux pannes (Zeng, 2015).

- Modèle MapReduce : L'utilisation du modèle MapReduce simplifie la programmation pour des tâches telles que le calcul des vitesses moyennes et l'interrogation des trajets des véhicules, ce qui améliore l'efficacité opérationnelle. (Zeng, 2015)

c) Suivi des véhicules et interrogation des trajets :

- Suivi efficace des trajets : Les STI peuvent interroger rapidement le trajet des véhicules, ce qui est crucial pour les enquêtes de sécurité publique. En stockant les informations des véhicules dans des bases de données comme HBase, les autorités peuvent récupérer efficacement les trajets en fonction des intervalles de temps. (Zeng, 2015)

d) Identification des véhicules frauduleux :

- Détection de la fraude : Les technologies du big data peuvent être utilisées pour identifier les véhicules clonés ou frauduleux en analysant les différences de temps entre les passages des véhicules à différents points de contrôle. Cette méthode renforce la sécurité en permettant aux autorités de détecter efficacement les activités suspectes. (Zeng, 2015)

L'intégration du big data dans l'industrie des transports offre de nombreux avantages, tels qu'une gestion du trafic améliorée, des capacités de traitement de données améliorées, un suivi efficace des véhicules et la détection de la fraude. Ces avancées répondent non seulement aux défis existants, mais ouvrent également la voie à des systèmes de transport plus intelligents et réactifs à l'avenir. (Zeng, 2015)

7.17 Systèmes d'Information Géographique et Trafic

En raison de la variété des préoccupations liées au développement urbain, les SIG et les technologies de l'information sont devenus indispensables non seulement pour la gestion des infrastructures urbaines, mais aussi pour l'élaboration de politiques de développement municipal. Un SIG est un système conçu pour collecter, stocker, manipuler, analyser, gérer et afficher toutes sortes de données en fonction de leur localisation [25]. Au cours des cinquante dernières années, les logiciels SIG étaient principalement utilisés pour automatiser la production de cartes sans offrir beaucoup de capacités analytiques. Actuellement, les SIG combinent des données géospatiales et non géospatiales avec des systèmes d'aide à la décision et des systèmes experts. (Sayed & A. Hefny, 2023)

En utilisant les SIG intégrés aux informations sur le trafic, les flux de déplacements et les conditions de circulation, y compris les accidents ou les embouteillages, peuvent être surveillés en temps réel. De plus, en évaluant les données historiques, le système doit être capable de reconnaître les modèles de flux de trafic et de signaler les points critiques où la surpopulation se produit à des périodes spécifiques et leurs causes possibles. Par conséquent, les experts dans le domaine des transports intègrent rapidement les méthodes de recherche conventionnelles dans ce domaine avec l'analyse spatiale, offrant une variété d'applications pour les modes de transport conventionnels et innovants [26]. Les SIG permettent aux utilisateurs de combiner une gamme de données géospatiales associées au transport et au trafic, telles que le type de routes, la largeur des routes, les types de trottoirs, le nombre de voies, les capacités des

voies et des intersections, les limitations de vitesse, les incidents, les véhicules, etc. Les SIG sont bénéfiques pour le domaine du trafic non seulement en raison des caractéristiques spatiales et distribuées des données de transport, mais aussi en raison de la nécessité de nombreuses formes d'analyse au niveau du réseau, statistique et spatiale. De plus, les systèmes basés sur les SIG permettent l'intégration de données socio-économiques avec des informations spatiales sur le réseau routier à des fins de planification variées [27]. En raison de ses nombreux avantages, les SIG sont une solution idéale pour la modélisation et la résolution des problèmes de trafic, en particulier en raison de leur capacité à gérer d'énormes volumes de données géographiques. Par conséquent, les systèmes SIG ont évolué au-delà de l'utilisation initiale de la gestion et de la cartographie des données pour inclure la modélisation et l'analyse, facilitant ainsi la prise de décision géographique. Plusieurs tentatives ont été faites pour intégrer les SIG avec le développement des STI (Systèmes de Transport Intelligents). À la suite de cette intégration, le SIG-T (SIG pour les Transports) a émergé. Le principal avantage du SIG-T est la possibilité d'incorporer tous les types de données spatiales et tabulaires. En raison de son accent sur la relation du système de transport avec son environnement, le SIG est bien adapté à des tâches telles que la planification d'itinéraires, l'analyse des risques et la prise de décision [28], [24]. De plus, le SIG-T peut être combiné avec des modèles mathématiques complexes et des techniques de simulation destinés à examiner des pratiques alternatives de planification et de gestion. De nos jours, le SIG-T est utilisé dans plusieurs applications différentes telles que la modélisation du trafic, la planification d'itinéraires, l'analyse des accidents et l'évaluation des impacts. (Sayed & A. Hefny, 2023)

7.18 Le rôle de la technologie de visualisation du Big Data dans la congestion routière urbaine :

La technologie de visualisation du big data peut jouer un rôle important dans la gestion de la congestion routière urbaine en (Guo & Xu, 2023) :

- Analysant les statistiques de trafic urbain et l'influence des émissions de véhicules sur la qualité de l'air urbain.
- Identifiant les tendances, en découvrant les tronçons de route chargés à des moments précis, et en mettant en œuvre et en gérant des capteurs de trafic.
- Aidant les individus et les entités gouvernementales à mettre en œuvre la gestion du trafic.
- Analysant la congestion routière urbaine.
- Fournissant des orientations théoriques pour la formulation de mesures de gestion de la congestion du trafic.
- Améliorant l'effet de l'analyse de la congestion routière urbaine.

L'identification de la congestion du trafic routier urbain basée sur le traitement de visualisation du big data, mise en œuvre en deux étapes : l'extraction des paramètres caractéristiques du trafic basée sur le traitement vidéo, et la discrimination des niveaux de congestion du trafic (Guo & Xu, 2023). L'extraction implique la modélisation de l'arrière-plan, l'extraction de la cible du véhicule et le suivi. (Guo & Xu, 2023)

La technologie de visualisation du big data s'est avérée jouer un rôle important dans la congestion routière urbaine grâce aux résultats de la recherche expérimentale. (Guo & Xu, 2023)

7.19 Conclusion :

Le Big Data a profondément transformé de nombreux aspects de notre société, de la géographie aux affaires, en passant par la santé et la sécurité. Il offre des perspectives et des outils puissants pour analyser et comprendre des phénomènes complexes, optimiser les processus et améliorer la prise de décision. Cependant, il soulève également des défis importants liés à la gestion des données, à l'éthique, à la confidentialité et à la nécessité de développer de nouvelles compétences et approches interdisciplinaires. Pour exploiter pleinement le potentiel du Big Data, il est essentiel de relever ces défis et de promouvoir une utilisation responsable et éclairée de ces technologies.

Le Big Data a profondément transformé la géographie en permettant une analyse spatiale plus précise et à plus grande échelle, grâce à de nouvelles sources de données géolocalisées et à l'enrichissement des SIG. Cependant, il pose des défis méthodologiques, épistémologiques et liés à la qualité des données, nécessitant de nouvelles approches informatisées et une attention particulière à la fiabilité des informations. Dans le domaine du trafic routier, le Big Data offre des avantages considérables en améliorant la gestion du trafic, en permettant une analyse en temps réel, en optimisant le traitement des données, en facilitant le suivi des véhicules et la détection de la fraude, et en jouant un rôle crucial dans la visualisation et l'analyse de la congestion routière.

Chapitre 3 : Conception de la Base de Données Spatiale pour le Trafic Routier

1 Introduction

Le Big Data spatial repose sur une ou plusieurs bases de données parfois hétérogènes. L'intégration de la dimension spatiale doit préserver d'une part l'homogénéité et l'interprétation contextuelle de l'information géo-référencée dans le système d'information géographique, et d'assurer l'alimentation multi-sources des nouvelles données spatio-temporelles d'une autre part. Nous décrivons dans ce chapitre notre modèle de bases de données spatiales pour l'analyse du trafic routier tout en schématisant son interaction dans l'architecture globale du système proposé.

2 Système de gestion des bases de données

Un SGBD est un ensemble de logiciels systèmes permettant aux utilisateurs d'insérer, modifier et rechercher efficacement des données spécifiques dans une grande masse d'informations partagée, stockée sur mémoires secondaires. Le SGBD assure la transparence du partage des données. En résumé, un SGBD permet la sauvegarde, l'interrogation, la recherche et la mise en forme de données stockées, et assure également le partage, la protection et des performances acceptables.

Les SGBD se distinguent des systèmes de fichiers en permettant la description des données séparément de leur utilisation et en permettant de retrouver les caractéristiques d'un type de données à partir de son nom. La tendance actuelle est d'intégrer le système de fichiers au sein du SGBD.

Un SGBD est structuré en trois couches emboîtées :

a) Gestionnaire de fichiers (système de gestion de fichiers) :

Gère les récipients de données sur les mémoires secondaires, offrant une mémoire adressable par objets et la recherche par contenu (indexation).

b) SGBD interne (système d'accès aux données) :

Gère les données dans les fichiers, leur assemblage en objets, leur placement, les liens entre objets et les structures d'accès rapide. Il repose sur un modèle de données internes.

c) SGBD externe :

Met en forme et présente les données aux applications et aux utilisateurs interactifs. Il analyse et interprète les requêtes utilisateurs en primitives internes et transforme les données extraites pour l'extérieur.

Au-delà de ces fonctions, un SGBD gère le partage et la cohérence des données et les protège contre les accès non autorisés. Des ateliers de génie logiciel, situés au-dessus des SGBD, sont de plus en plus utilisés pour modéliser les données et les traitements associés, s'appuyant sur les modèles de données supportés par les SGBD (GARDARIN, 2003).

Un système d'information géographique constitue un SGBD spatial intégrant le géo-référencement et la visualisation cartographique des données attributaire. La démarche suivie dans notre étude consiste en la construction de la base de données spatiale par modèle conceptuel de données « Entité-Association » avant de passer au modèle logique « relationnel » permettant d'implémenter directement les tables

attributaires et géo-référencées dans l'environnement du SIG. Les données massives, acquises de l'application mobile sous format CSV, seront intégrées elles aussi en relation tabulaire exploitable.

3 Répartition temporelle du trafic au rond-point El-Bahia – Oran

La dynamique du trafic au niveau du rond-point El-Bahia d'Oran présente des variations notables selon l'échelle temporelle considérée. Cette section propose une analyse approfondie de la répartition du trafic à l'échelle annuelle, hebdomadaire et journalière, en s'appuyant sur les observations de terrain et les rythmes socio-économiques locaux.

3.1. Répartition annuelle

L'intensité du trafic connaît d'importantes fluctuations au cours de l'année, sous l'effet combiné de facteurs climatiques, touristiques, culturels et religieux. Durant la saison estivale, en particulier entre les mois de juin et septembre, le rond-point enregistre une forte fréquentation, conséquence directe de l'augmentation du nombre de visiteurs, du retour des émigrés, ainsi que de la tenue de nombreux événements culturels, tels que les festivals, les concerts ou les célébrations nationales. Cette période coïncide généralement avec un pic annuel d'intensité de trafic.

Par ailleurs, les périodes de vacances scolaires, notamment celles d'hiver (décembre-janvier) et de printemps (mars-avril), engendrent également une hausse du trafic, notamment au début et à la fin de ces périodes. De même, les fêtes religieuses (comme l'Aïd El-Fitr et l'Aïd El-Adha) et les fêtes nationales (1er novembre, 5 juillet) sont également marquées par un trafic variable, fluide en matinée et modéré jusqu'à dense en fin d'après-midi souvent concentré autour des zones commerciales et des grands axes.

3.2. Répartition hebdomadaire

L'analyse hebdomadaire du trafic révèle une nette distinction entre les jours ouvrables (dimanche à jeudi) et les week-ends (vendredi et samedi). Durant les jours ouvrables, l'activité routière est relativement constante, avec des pics significatifs observés aux heures de pointe (matin et fin d'après-midi), en corrélation avec les horaires professionnels et scolaires.

Le vendredi, en tant que jour de repos hebdomadaire, présente une configuration particulière : la matinée est généralement marquée par une faible circulation, tandis que l'après-midi enregistre une activité plus soutenue, liée aux déplacements familiaux et aux activités commerciales.

Le samedi se caractérise par une intensité de trafic variable, souvent influencée par les événements sociaux (mariages, sorties) ou les besoins domestiques (achats, marchés), avec une tendance à la modération par rapport aux jours ouvrables.

3.3. Répartition journalière

À l'échelle d'une journée type, le trafic au niveau du rond-point El Bahia suit une distribution horaire cyclique, relativement stable, correspondant aux différents rythmes d'activité des usagers. Le tableau ci-dessous synthétise les niveaux d'intensité relevés au cours d'une journée ordinaire :

3.1.1 Tranche horaire Niveau de trafic Observations

- 00h – 06h : Faible / Fluide Activité routière minimale, déplacements nocturnes occasionnels.
- 06h – 07h : ModéréDébut progressif de la circulation, premières mobilités.
- 07h – 09h : Élevé / Dense Pic matinal, déplacements vers les lieux de travail et établissements scolaires.
- 09h – 11h : ModéréCirculation soutenue, mais moins critique que durant le pic.
- 11h – 13h : Élevé / Dense Deuxième période d'affluence, marquée par les courses et rendez-vous administratifs.
- 13h – 15h : ModéréLégère baisse d'activité, heure du déjeuner et de repos.
- 15h – 18h : Élevé / Dense Pic de l'après-midi, retours du travail et déplacements urbains.
- 18h – 00h : ModéréActivité routière encore présente, avec une tendance à la diminution progressive.

Cette structure horaire met en évidence l'importance des heures de pointe, qui concentrent une large part du trafic journalier, nécessitant une régulation renforcée aux abords du rond-point.

3.4. Analyse du trafic à l'aide d'une application intelligente

Dans le cadre de cette étude, une application d'analyse du trafic routier a été utilisée pour recueillir et interpréter les données liées à la vitesse des véhicules aux abords du rond-point El Bahia. Cette application repose sur un algorithme de classification dynamique du trafic basé sur la vitesse instantanée des véhicules par rapport à une vitesse de référence.

3.1.2 Méthodologie d'analyse

Afin d'obtenir des résultats pertinents et localisés, le segment routier étudié a été divisé en trois parties distinctes :

a) Segment 1 – Amont du rond-point :
Zone précédant immédiatement le rond-point, où les véhicules circulent encore à leur vitesse normale, dite vitesse de référence.

b) Segment 2 – Entrée du rond-point :
Zone de transition où les véhicules commencent à ralentir pour accéder à l'intersection.

c) Segment 3 – Intérieur du rond-point :
Zone circulaire centrale où le comportement de conduite est le plus perturbé (ralentissements, arrêts, conflits de priorité, etc.).

- Cette segmentation permet de localiser avec précision les zones de ralentissement ou de congestion.

3.1.3 Classification du niveau de trafic

L'application propose une classification du trafic selon le pourcentage de la vitesse instantanée par rapport à la vitesse de référence, comme suit :

a) Trafic fluide :
Lorsque la vitesse est comprise entre 75 % et 100 % de la vitesse de référence. Cela indique une bonne circulation sans entrave majeure.

b) Trafic modéré :
Entre 50 % et 74 %. La circulation est encore possible, mais on note un ralentissement significatif.

c) Trafic lourd :
En dessous de 50 % de la vitesse de référence. Le déplacement devient lourd, mais pas bloquant.

d) Trafic congestionné :
En dessous de 25 % de la vitesse de référence. Le déplacement devient difficile, avec des risques d'arrêt ou de bouchon.

Cette classification offre un indicateur qualitatif et quantitatif fiable permettant d'évaluer objectivement l'intensité du trafic en fonction du lieu et de l'heure.

3.1.4 Observations générales

L'analyse des données récoltées sur les trois segments du rond-point El Bahia a permis de mettre en évidence plusieurs constats :

a) **Sur le Segment 1** (amont), le trafic est généralement fluide, à l'exception des heures de pointe, où il devient modéré, signe d'un premier ralentissement en approche du rond-point.

b) **Sur le Segment 2** (entrée du rond-point), on observe fréquemment un ralentissement important, avec des vitesses chutant souvent en dessous de 50 %, indiquant un trafic congestionné lors des pics.

c) **Sur le Segment 3** (intérieur du rond-point), la situation varie selon le moment de la journée. En général, la congestion y est fréquente, surtout entre 07h–09h et 15h–18h, périodes où les vitesses chutent à leur niveau le plus bas.

Ce découpage et cette classification permettent de mieux comprendre la dynamique interne du rond-point et d'identifier les zones critiques nécessitant des interventions d'optimisation (signalisation, gestion intelligente, réaménagement).



Figure 1 : Observation générale (croquis) des segments

Table 3 : les données observées (coordonnées des segments)

4 Modélisation du système pour l'analyse du trafic routier

4.1. Modèle conceptuel des données

Nous décrivons dans cette section notre solution de conception de la base de données spatiale qui va servir de support pour la collecte et l'analyse du flux de données du trafic routier.

OBJECTID	Name	Long_	code	X_deb	Y_debut	X_fin	Y_fin	SHAPE_Leng
2987		81.29927224140	11	-0.6106310	35.68350	-0.6114840	35.68360	81.29927224150
2988		81.30447485090	11	-0.6114840	35.68360	-0.6123470	35.68340	81.30447485050
2841	rue Dakar Fodil	101.38107718400	10	-0.6161060	35.67770	-0.6153750	35.67840	101.38107718400
2842	rue Dakar Fodil	101.35924478900	10	-0.6153750	35.67840	-0.6146850	35.67910	101.35924478900
2843	rue Dakar Fodil	101.36138814000	10	-0.6146850	35.67910	-0.6139880	35.67980	101.36138814000
2844	rue Dakar Fodil	101.36502756800	10	-0.6139880	35.67980	-0.6132840	35.68050	101.36502756700
2845	rue Dakar Fodil	101.47517677400	10	-0.6132840	35.68050	-0.6123870	35.68110	101.47517677700
2846	rue Dakar Fodil	101.48611048600	10	-0.6123870	35.68110	-0.6114710	35.68160	101.48611048400
2847	rue Dakar Fodil	101.32711477600	10	-0.6114710	35.68160	-0.6108490	35.68240	101.32711477800
2848	rue Dakar Fodil	101.22799495000	10	-0.6108490	35.68240	-0.6105010	35.68320	101.22799494900
71		109.83402552900	9	-0.6070280	35.68490	-0.6059310	35.68530	109.83402552900
2991		81.26578296760	9	-0.6094640	35.68390	-0.6086520	35.68420	81.26578296760
2992		81.26570230460	9	-0.6086520	35.68420	-0.6078400	35.68460	81.26570230460
2993		81.26526246570	9	-0.6078400	35.68460	-0.6070280	35.68490	81.26526246570
2725		46.15485666950	8	-0.6104250	35.68430	-0.6107520	35.68400	46.15485667140
2860	rue Dakar Fodil	101.54379862900	8	-0.6194520	35.68970	-0.6204640	35.69000	101.54379862800
2921	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.37145820900	8	-0.6079530	35.68890	-0.6083300	35.68810	101.37145820900
2922	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.37951099900	8	-0.6083300	35.68810	-0.6087290	35.68720	101.37951099900
2923	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.39498029500	8	-0.6087290	35.68720	-0.6091750	35.68640	101.39498029500
2924	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.37131001400	8	-0.6091750	35.68640	-0.6095380	35.68550	101.37131001400
2925	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.37172109400	8	-0.6095380	35.68550	-0.6099010	35.68460	101.37172109400
2938	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.36802768500	8	-0.6071240	35.69080	-0.6074970	35.69000	101.36802768600
2939	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.36735282700	8	-0.6074970	35.69000	-0.6078630	35.68910	101.36735282700
2926	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.64320843800	7	-0.6099010	35.68460	-0.6108160	35.68440	101.64320843800
2927	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.60496495400	7	-0.6108160	35.68440	-0.6117020	35.68490	101.60496495400
2928	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.60409892800	7	-0.6117020	35.68490	-0.6125870	35.68550	101.60409892800
2929	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.60347397200	7	-0.6125870	35.68550	-0.6134720	35.68610	101.60347397200
2930	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.60262878900	7	-0.6134720	35.68610	-0.6143570	35.68660	101.60262879000
2931	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.57754587600	7	-0.6143570	35.68660	-0.6151940	35.68720	101.57754587700
2932	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.60794164700	7	-0.6151940	35.68720	-0.6160630	35.68770	101.60794164600
2933	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.59727055700	7	-0.6160630	35.68770	-0.6169430	35.68830	101.59727055500

2934	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.59643185500	7	-0.6169430	35.68830	-0.6178230	35.68890	101.59643185700
2935	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.59643689500	7	-0.6178230	35.68890	-0.6187050	35.68940	101.59643689600
2936	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.60001610200	7	-0.6187050	35.68940	-0.6195930	35.69000	101.60001610200
2937	3 ├¿me Boulevard P ├®riph ├®rique	101.38410400900	7	-0.6195930	35.69000	-0.6071240	35.69080	101.38410401200
313		17.39562441090	6	-0.6108440	35.68380	-0.6107620	35.68390	17.39562441090
2727		60.34386919710	6	-0.6105850	35.68340	-0.6099630	35.68330	60.34386919760
2849	rue Dakar Fodil	101.23186353000	6	-0.6105010	35.68320	-0.6107590	35.68410	101.23186352800
2850	rue Dakar Fodil	101.42379837600	6	-0.6107590	35.68410	-0.6115660	35.68470	101.42379837600
2851	rue Dakar Fodil	101.45874287700	6	-0.6115660	35.68470	-0.6124470	35.68530	101.45874287700
2852	rue Dakar Fodil	101.45806121900	6	-0.6124470	35.68530	-0.6133290	35.68580	101.45806121900
2853	rue Dakar Fodil	101.45727913000	6	-0.6133290	35.68580	-0.6142100	35.68640	101.45727913100
2854	rue Dakar Fodil	101.45643722700	6	-0.6142100	35.68640	-0.6150920	35.68690	101.45643722800
2855	rue Dakar Fodil	101.45745025800	6	-0.6150920	35.68690	-0.6159490	35.68750	101.45745025700
2856	rue Dakar Fodil	101.44266547500	6	-0.6159490	35.68750	-0.6168080	35.68800	101.44266547700
2857	rue Dakar Fodil	101.45379089100	6	-0.6168080	35.68800	-0.6176890	35.68860	101.45379089100
2858	rue Dakar Fodil	101.45184757700	6	-0.6176890	35.68860	-0.6185680	35.68920	101.45184757700
2859	rue Dakar Fodil	101.45441687100	6	-0.6185680	35.68920	-0.6194520	35.68970	101.45441687200
37		187.74883005000	5	-0.6108440	35.68380	-0.6128000	35.68330	187.74883005000
2206	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07872596900	4	-0.6096310	35.68330	-0.6103300	35.68280	103.07872596800
2207	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07866219600	4	-0.6103300	35.68280	-0.6107560	35.68190	103.07866219700
2208	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07866539600	4	-0.6107560	35.68190	-0.6115260	35.68120	103.07866539500
2209	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07859438600	4	-0.6115260	35.68120	-0.6124860	35.68070	103.07859438600
2210	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07872614100	4	-0.6124860	35.68070	-0.6133670	35.68010	103.07872614100
2211	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07859221500	4	-0.6133670	35.68010	-0.6140920	35.67940	103.07859221400
2212	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07870027400	4	-0.6140920	35.67940	-0.6147900	35.67870	103.07870027600
2213	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07870826800	4	-0.6147900	35.67870	-0.6155040	35.67800	103.07870826800
2729		62.60400523880	4	-0.6097870	35.68340	-0.6094300	35.68380	62.60400523790
2198	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07857367300	3	-0.6024090	35.67880	-0.6033080	35.67940	103.07857367300
2199	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07869137900	3	-0.6033080	35.67940	-0.6042000	35.68000	103.07869137900
2200	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07864850800	3	-0.6042000	35.68000	-0.6050970	35.68060	103.07864850800
2201	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07869007200	3	-0.6050970	35.68060	-0.6059960	35.68110	103.07869007200
2202	P ├®n ├®trante d'Oran	103.07870172800	3	-0.6059960	35.68110	-0.6068870	35.68170	103.07870172900

2203	**P ├®n ├®trante d'Oran**	**103.07860447200**	**3**	**-0.6068870**	**35.68170**	**-0.6077850**	**35.68230**	**103.07860447300**
2204	**P ├®n ├®trante d'Oran**	**103.07874614000**	**3**	**-0.6077850**	**35.68230**	**-0.6086780**	**35.68280**	**103.07874613900**
2205	**P ├®n ├®trante d'Oran**	**103.07861512400**	**3**	**-0.6086780**	**35.68280**	**-0.6096310**	**35.68330**	**103.07861512400**
2707		**100.89774251900**	**2**	**-0.6065380**	**35.68160**	**-0.6074140**	**35.68220**	**100.89774251900**
2708		**100.89787663800**	**2**	**-0.6074140**	**35.68220**	**-0.6082920**	**35.68270**	**100.89787663700**
2709		**100.85995450200**	**2**	**-0.6082920**	**35.68270**	**-0.6091050**	**35.68340**	**100.85995450200**
2710		**100.70279081200**	**2**	**-0.6091050**	**35.68340**	**-0.6095660**	**35.68420**	**100.70279081200**
2723		**69.71777371880**	**2**	**-0.6095410**	**35.68410**	**-0.6102020**	**35.68440**	**69.71777371850**
2999		**81.19312714850**	**2**	**-0.6058390**	**35.68120**	**-0.6065380**	**35.68160**	**81.19312714730**
3000		**81.19924785190**	**2**	**-0.6051300**	**35.68070**	**-0.6058390**	**35.68120**	**81.19924785370**
3001		**81.19844282880**	**2**	**-0.6044230**	**35.68030**	**-0.6051300**	**35.68070**	**81.19844282800**
3002		**81.19988948680**	**2**	**-0.6037150**	**35.67980**	**-0.6044230**	**35.68030**	**81.19988948660**
84		**179.24702688500**	**1**	**-0.5979020**	**35.68350**	**-0.5979100**	**35.68510**	**179.24702688500**
86		**198.45075920400**	**1**	**-0.5977890**	**35.68490**	**-0.5999780**	**35.68500**	**198.45075920400**
102		**52.02709243000**	**1**	**-0.5972960**	**35.68390**	**-0.5973360**	**35.68350**	**52.02709243000**
103		**151.48293252300**	**1**	**-0.5978600**	**35.68280**	**-0.5977830**	**35.68140**	**151.48293252300**
210		**86.79243388270**	**1**	**-0.5979330**	**35.68470**	**-0.5988910**	**35.68470**	**86.79243388270**
2711		**100.64248950600**	**1**	**-0.6095660**	**35.68420**	**-0.6093850**	**35.68510**	**100.64248950600**
2712		**299.60648323400**	**1**	**-0.6079900**	**35.68850**	**-0.6067760**	**35.69120**	**299.60648323400**
2994		**81.00638618060**	**1**	**-0.6093850**	**35.68510**	**-0.6091010**	**35.68570**	**81.00638618060**
2995		**81.01064864120**	**1**	**-0.6091010**	**35.68570**	**-0.6087980**	**35.68640**	**81.01064864120**
2996		**81.00023493890**	**1**	**-0.6087980**	**35.68640**	**-0.6085340**	**35.68710**	**81.00023493890**
2997		**80.99465354860**	**1**	**-0.6085340**	**35.68710**	**-0.6082930**	**35.68780**	**80.99465354860**
2998		**81.00865462140**	**1**	**-0.6082930**	**35.68780**	**-0.6079900**	**35.68850**	**81.00865462140**

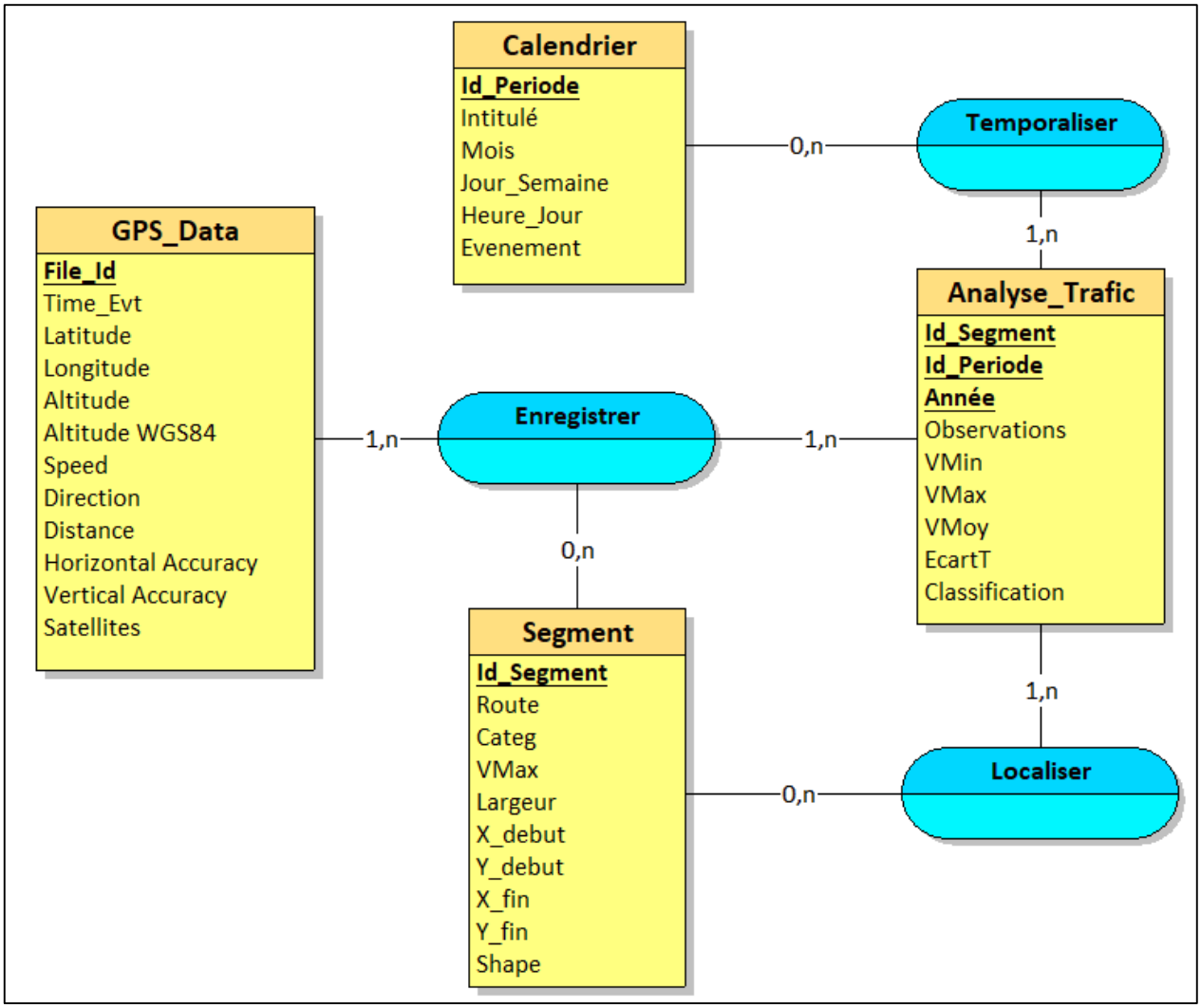


Figure 2 : Modèle conceptuel (Entité-Association) des données

Les informations spatio-temporelles du trafic routier peuvent être organisées sur quatre entités principales et trois associations plurielles :

1. Entité <GPS_Data> : représente l'information brute acquise directement par l'application Phyphox du capteur GPS du Smartphone. Chaque séquence de mobilité est déterminée par l'identifiant unique du fichier collecté.

**2. Entité ** : représente notre découpage géographique du rond-point afin de caractériser chaque tronçon de route pénétrante ou sortante du rond-point en plus du circuit autour de ce dernier découpé lui-même en quatre arcs.

3. Entité <Analyse_Trafic> : cette entité capture le flux des données GPS par analyse statistique spatio-temporelle.

4. Entité <Calendrier> : détermine les plages horaires quotidiennes, le plan hebdomadaire et les évènements annuels particuliers caractérisant les différents aspects temporels de l'analyse du trafic routier.

5. Association <Enregistrer> : met en liaison trois entités pour enregistrer les données brutes <GPS_Data> localisées par avant d'être calculées et synthétisées dans <Analyse_Trafic>. Toutes les cardinalités sont multiples avec possibilité exclusive de ne pas enregistrer aucune donnée et donc aucune analyse de trafic sur un segment donné. Ceci est nécessaire pour préserver une intégrité incrémentale lors de l'acquisition des données.

6. Association <Localiser> : référence géographiquement l'analyse du trafic routier par segment prédéfini. Les cardinalités sont multiples toujours avec possibilité de ne pas avoir aucune analyse initiale pour certains segments.

7. Association <Temporaliser> : identifie la période relative à une analyse du trafic par tronçon routier. Les cardinalités sont toujours au pluriel sans pour autant être obligé à renseigner toutes les périodes dont le trafic peut être estimé par l'une des méthodes statistiques ou simplement par interpolation mathématique.

Le dictionnaire des données est détaillé ci-dessous :

Entité	*Propriété*	*Type*	*Interprétation / Domaine de valeurs*
GPS_Data	File_Id	char(50)	Nom de fichier incluant la date_heure de prise de données
	Time_Evt	float	Décalage temporel en secondes par rapport au début de prise de données GPS
	Latitude	float	valeur en degré entre -90 et +90
	Longitude	float	valeur en degré entre -180 et +180
	Altitude	float	valeur en mètre
	Altitude_WGS84	float	valeur en mètre
	Speed	float	valeur en mètre/seconde
	Direction	float	valeur en degré
	Distance	float	valeur en km
	Horizontal_Accuracy	float	valeur en mètre
	Vertical_Accuracy	float	valeur en mètre
	Satellites	int	nombre entier
Segment	Id_Segment	int	numéro du segment tronçon de route
	Route	char(50)	intitulé
	Categ	char(50)	catégorire (nationale, wilaya, communale)
	VMax	int	limitation de vitesse

	Largeur	int	nombre de vehicules/couloirs
	X_debut	float	longitude du point début
	Y_debut	float	latitude du point début
	X_fin	float	longitude du point fin
	Y_fin	float	latitude du point fin
	Shape	float	longueur du segment
Calendrier	Id_Periode	int	identificateur numérique
	Intitulé	char(50)	titre caractérisant la période
	Mois	char(10)	mois de l'année
	Jour_Semaine	char(10)	jour de la semaine
	Heure_Jour	int	valeur entière entre 0 et 23
	Evenement	char(50)	évènement particulier de l'année (jour férié, mois du ramadan …)
Analyse_Trafic	Id_Segment	int	numéro du segment tronçon de route
	Id_Periode	int	identificateur numérique
	Année	int	année en cours ou historique des années précédentes
	Observations	int	nombre d'observations collectées sur le même troçon pour la même période du calendrier
	VMin	float	vitesse minimale enregistrée
	VMax	float	vitesse maximale enregistrée
	VMoy	float	vitesse moyenne ou estimé
	EcartT	float	écart-type de vitesse
	Classification	char(20)	classe de fluidité du trafic

Table 4 : le dictionnaire des données

4.2. Modèle logique des données

Notre base de données spatio-temporelle peut être traduite logiquement dans un modèle relationnel contrôlant d'une part la redondance assimilant la vélocité du big-data (flux abondant des données GPS), et simplifiant la synthèse de l'analyse périodique du trafic routier.

La relation tertiaire <Enregistrer> matérialise la phase d'acquisition des données et les prétraitements de catégorisation qui lui sont affiliés. Sa liaison avec l'entité <Analyse_Trafic> marque surtout l'analyse statistique localisée par segment.

Les relations seront définies comme suit :

- **GPS_Data** = (File_Id, Time_Evt, Latitude, Longitude, Altitude, Altitude_WGS84, Speed, Direction, Distance, Horizontal_Accuracy, Vertical_Accuracy, Satellites);
- **Segment** = (Id_Segment, Route, Categ, VMax, Largeur, X_debut, Y_debut, X_fin, Y_fin, Shape);
- **Calendrier** = (Id_Periode, Intitulé, Mois, Jour_Semaine, Heure_Jour, Evenement);
- **Analyse_Trafic** = (Id_Segment, Id_Periode, Année, Observations, VMin, VMax, VMoy, EcartT, Classification);
- **Enregistrer** = (#Id_Segment, #File_Id, #(Id_Segment_1, Id_Periode, Année));
- **Temporaliser** = (#Id_Periode, #(Id_Segment, Id_Periode_1, Année));
- **Localiser** = (#Id_Segment, #(Id_Segment_1, Id_Periode, Année));

4.3. Diagramme de flux (Flowchart)

Reposant sur une base de données spatiale solide et flexible, notre système s'articule autour des tâches/étapes suivantes (voir Fig. 3) :

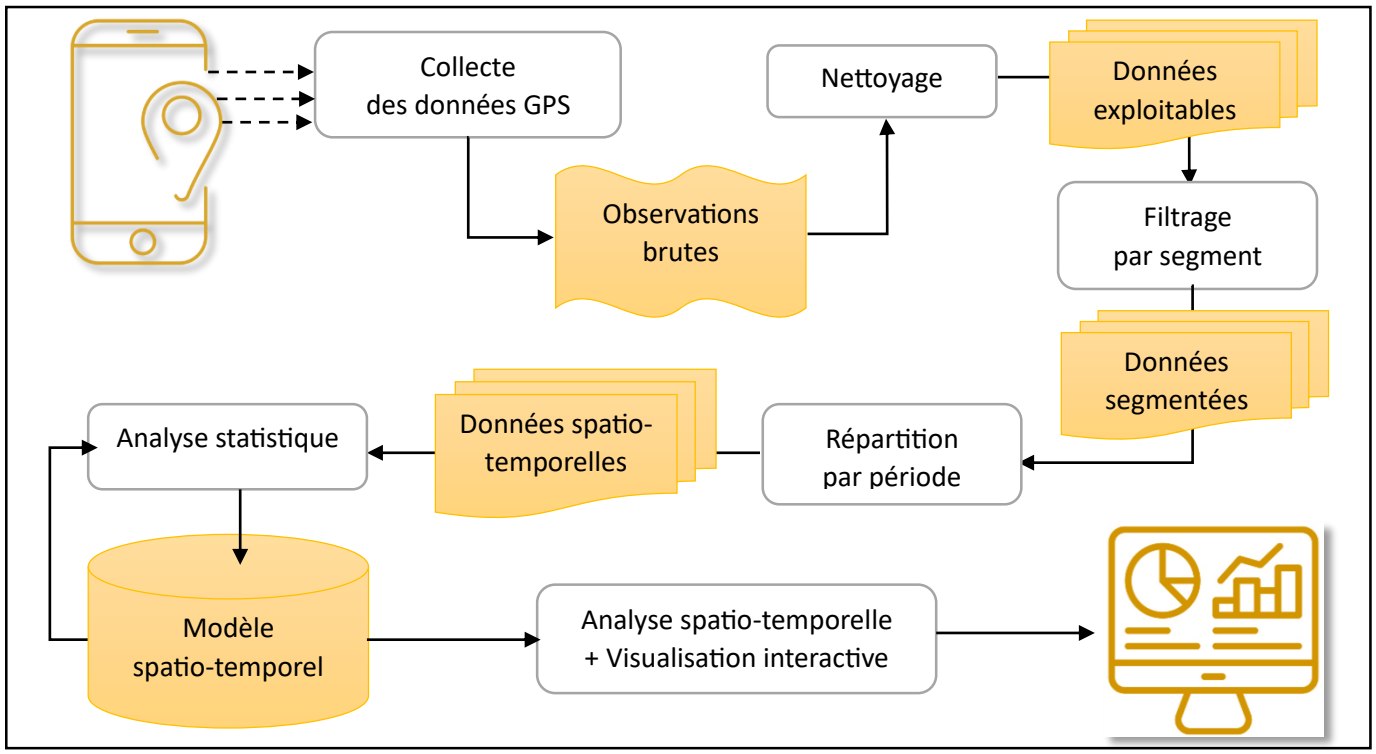


Figure 3 : Flowchart du système d'analyse spatio-temporelle du trafic routier

- **Collecte des données GPS** : c'est la phase essentielle et déterminante pour traiter et valider les résultats suivants. Les utilisateurs volontaires doivent activer l'enregistrement continu de l'application à chaque passage sur les tronçons de routes autour du rond-point El-Bahia.
- **Nettoyage** : les données brutes doivent être révisées et nettoyées avant de les valider et l'introduire au système. Surtout il important d'éliminer les données incomplètes (NaN) dues aux perturbations du signal GPS ou disfonctionnement du smartphone.

- **Filtrage par segment** : les données vont être découpées et filtrées par segment (tronçons de route) comme prédéfinies dans les sections précédentes.
- **Répartition par période** : la signature temporalisée de chaque fichier de collecte va servir de distribuer les observations sur les tranches horaires, hebdomadaires et annuelles du calendrier.
- **Analyse statistique** : cette étape représente le cœur de notre système ; il s'agit de calculer la tendance centrale et les mesures de dispersion dans le contexte de la statistique descriptive. En plus, il faut prévoir de renseigner les données des tranches temporelles manquantes par différentes méthodes : interpolation mathématique et estimation statistique paramétrique. Cette phase est loin d'être finalisée mais la structure de notre base de données reste évolutive afin de pouvoir intégrer certaines méthodes d'intelligence artificielle pour la prédiction du trafic routier sur des périodes futures. Nous présentons dans les sections suivantes quelques méthodes possibles.
- **Analyse spatio-temporelle et visualisation interactive** : cette phase utilise plusieurs bibliothèques intégrées au SIG et/ou automatisées par programmation sous Python afin de synthétiser les résultats d'analyse spatio-temporelle et de les visualiser en graphiques ou sur cartes interactives.

4.4. La régression linéaire

La régression linéaire est une méthode statistique qui permet de modéliser la relation entre une variable dépendante (celle que l'on cherche à prédire ou expliquer) et une ou plusieurs variables indépendantes (celles qui servent à expliquer ou prédire) sous la forme d'une équation linéaire

Imaginez que vous avez un nuage de points sur un graphique, où chaque point représente une observation. La régression linéaire cherche à tracer la ligne droite (ou un hyperplan dans le cas de plusieurs variables) qui passe au plus près de tous ces points. Cette ligne est appelée la droite de régression.

En machine learning, la régression linéaire est également une technique qui permet de modéliser la relation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes à partir de données, en calculant une équation linéaire qui prédit la variable cible. (AWS, s.d.)

Voici les concepts clés pour comprendre la régression linéaire :

- **Variable Dépendante (Y) :** C'est la variable que l'on veut expliquer ou prédire. Par exemple, le poids d'une personne, le rendement d'une culture, le prix d'une maison.
- **Variable(s) Indépendante(s) (X) :** Ce sont les variables utilisées pour prédire la variable dépendante. Par exemple, pour le poids, cela pourrait être la taille, l'âge et le sexe. Pour le rendement d'une culture, cela pourrait être les précipitations, la température et l'engrais.
- **Relation Linéaire :** La régression linéaire suppose qu'il existe une relation linéaire entre les variables. Cela signifie que les points ont tendance à s'aligner le long d'une droite.
- **Équation de la droite de régression :**
    - Régression linéaire simple (une seule variable indépendante) : L'équation est de la forme $Y=\beta 0+\beta 1X+\epsilon$

  - Y : Variable dépendante prédite.
  - X : Variable indépendante.
  - β0: Ordonnée à l'origine (le point où la droite croise l'axe Y). C'est la valeur de Y quand X est égal à 0.
  - β1: Pente de la droite. Elle indique de combien Y change pour chaque unité de changement dans X.
  - ϵ : Terme d'erreur (ou résidu). Il représente la différence entre la valeur observée et la valeur prédite par le modèle. C'est la "marge d'erreur" ou les variations non expliquées.
- **Méthode des Moindres Carrés :** Pour trouver la "meilleure" droite de régression, la régression linéaire utilise généralement la méthode des moindres carrés. Cette méthode minimise la somme des carrés des résidus (les distances verticales entre chaque point de données et la droite de régression). L'idée est de trouver les coefficients (β0, β1, etc.) qui rendent ces erreurs les plus petites possibles.

- **Coefficient de Détermination (R^2) :** C'est une mesure de la qualité du modèle. Il indique la proportion de la variance de la variable dépendante qui est expliquée par le modèle. Un R^2 proche de 1 indique un bon ajustement du modèle aux données, tandis qu'un R^2 proche de 0 indique que le modèle n'explique pas beaucoup la variance.

La méthode de la régression linéaire et le Traffic routier

La méthode de régression linéaire est appliquée dans le domaine du trafic routier pour modéliser et analyser les relations entre différentes variables telles que la vitesse, la densité et le flux de circulation. Par exemple, le modèle de Green Shields, l'un des premiers modèles utilisant la régression linéaire, établit une relation linéaire entre la vitesse des véhicules et la densité du trafic, permettant ainsi de prédire la vitesse moyenne en fonction de la concentration des véhicules sur une route. (Comprendre le traffic routier, 2004)

4.5. La classification supervisée

Est une méthode d'apprentissage supervisé dans laquelle un algorithme est entraîné à partir de données étiquetées pour apprendre à répartir de nouvelles observations dans des classes prédéfinies. Ce processus implique deux étapes : un apprentissage à partir d'un échantillon d'exemples dont la classe est connue, puis une phase de classification où le modèle prédit la classe des nouvelles données. Les algorithmes utilisés peuvent reposer sur des approches probabilistes, des notions de proximité ou des espaces d'hypothèses, et la performance du modèle est évaluée sur des données indépendantes pour éviter le sur-apprentissage. (Abdelhamid)

La classification supervisée est utilisée dans le domaine du trafic routier pour analyser et gérer les flux de véhicules, détecter des incidents, et optimiser la gestion du trafic en temps réel. Par exemple, des systèmes intelligents de contrôle des feux de circulation exploitent des méthodes d'apprentissage supervisé, comme le Deep Q-Learning, pour s'adapter dynamiquement aux conditions de trafic variées et améliorer la fluidité du réseau routier. (Aguini, 2023)

4.6. La méthode d'interpolation

La méthode d'interpolation est une technique mathématique utilisée pour estimer des valeurs inconnues entre des points de données connus. Elle consiste à construire une fonction, souvent un polynôme, qui passe par ces points afin de prédire ou approximer les valeurs intermédiaires.

Dans le contexte du trafic routier, l'interpolation est utilisée pour combler les données manquantes ou pour obtenir des estimations plus fines à partir de mesures ponctuelles, comme celles issues des capteurs de trafic. Par exemple, l'interpolation linéaire est une méthode simple qui estime une valeur entre deux points connus en traçant une droite entre eux. Des méthodes plus avancées, comme l'interpolation polynomiale (de degré 2 ou 3), permettent d'obtenir des approximations plus régulières et adaptées aux variations des données, notamment pour modéliser la vitesse ou la densité des véhicules sur un tronçon de route (Cerema, 2023) (Moustapha, 2014) (Sauvageot, 2004).

Dans le domaine du trafic routier, l'analyse et la gestion des flux de circulation reposent largement sur la collecte, la qualification et l'exploitation des données de trafic. Ces données, issues de capteurs, GPS, ou autres dispositifs, permettent de caractériser les variations de vitesse, les volumes de véhicules et les conditions de circulation sur des segments routiers spécifiques à différents moments (ArcMap, s.d.) (Cerema, 2023). Enfin, l'analyse du trafic routier s'appuie aussi sur des outils géomatiques et des logiciels spécialisés, comme ArcGIS Network Analyste, qui intègrent des données historiques et en temps réel pour réaliser des analyses de réseau précises, optimiser les itinéraires, et prévoir les temps de parcours en fonction des fluctuations du trafic (ArcMap, s.d.).

La méthode des Splines

La méthode des splines est une technique d'interpolation utilisée en mathématiques appliquées et en analyse numérique qui consiste à construire une fonction définie par morceaux, chaque morceau étant un polynôme, généralement de degré faible (souvent cubique). Contrairement à l'interpolation polynomiale classique qui utilise un seul polynôme global, la méthode des splines utilise plusieurs polynômes raccordés aux points dits « nœuds » de manière à assurer la continuité de la fonction, de sa dérivée première (pente) et de sa dérivée seconde (courbure) en ces points. Cette propriété garantit un lissage naturel et évite les oscillations indésirables souvent observées avec des polynômes de haut degré (Spline, 2005).

Les splines sont largement utilisées dans le traitement des données expérimentales, le lissage, la modélisation graphique (conception assistée par ordinateur), ainsi que dans diverses applications d'ingénierie et de sciences, notamment pour représenter des contours ou interpoler des surfaces (Spline, s.d.) (Arcgis, s.d.).

5 Conclusion

Ce chapitre était consacré aux aspects conceptuels pour la modélisation de notre base de données spatiale destinée à l'analyse du trafic routier à partir des données massives. Le flowchart proposé pour notre système s'appuie sur une base de données évolutive alimentée par un flux cumulé des données GPS. L'analyse statistique n'offre pas seulement les mesures standards de tendance centrale et de dispersion mais peut être étendue par les méthodes d'interpolation mathématique et même de prédiction intelligente par apprentissage supervisé. Nous exposons, dans le chapitre suivant, les outils déployés, les résultats obtenus avec rapprochement réel à l'aménagement du réseau routier et son évolution fonctionnelle autour du rond-point d'El-Bahia.

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

1 Introduction

Ce chapitre, décrit la zone d'étude « Rond-point El-Bahia » tout en focalisant sur l'évolution de l'aménagement du réseau routier. Les outils déployés pour la collecte, la structuration, le traitement et l'analyse spatio-temporelle du trafic routier seront exposés. Avec des échantillons des données GPS collecté, nous montrons l'efficacité de notre approche d'analyse du trafic routier par big data spatial.

2 Présentation de la zone d'Etude

Oran est une ville portuaire majeure située au nord-ouest de l'Algérie (figure 4), en bordure de la mer Méditerranée, précisément au fond du golfe d'Oran. Elle se trouve à environ 432 km à l'ouest d'Alger, la capitale du pays. Oran est le chef-lieu de la wilaya d'Oran, qui s'étend sur une superficie de 2 007,64 km². La wilaya est limitée au nord par la Méditerranée, à l'ouest par la wilaya d'Aïn Témouchent, à l'est par Mostaganem, au sud-est par Mascara et au sud par Sidi Bel Abbès. (htt)
La ville d'Oran elle-même est située au fond d'une baie ouverte vers le nord, ce qui lui confère un emplacement stratégique pour le commerce maritime et la pêche.

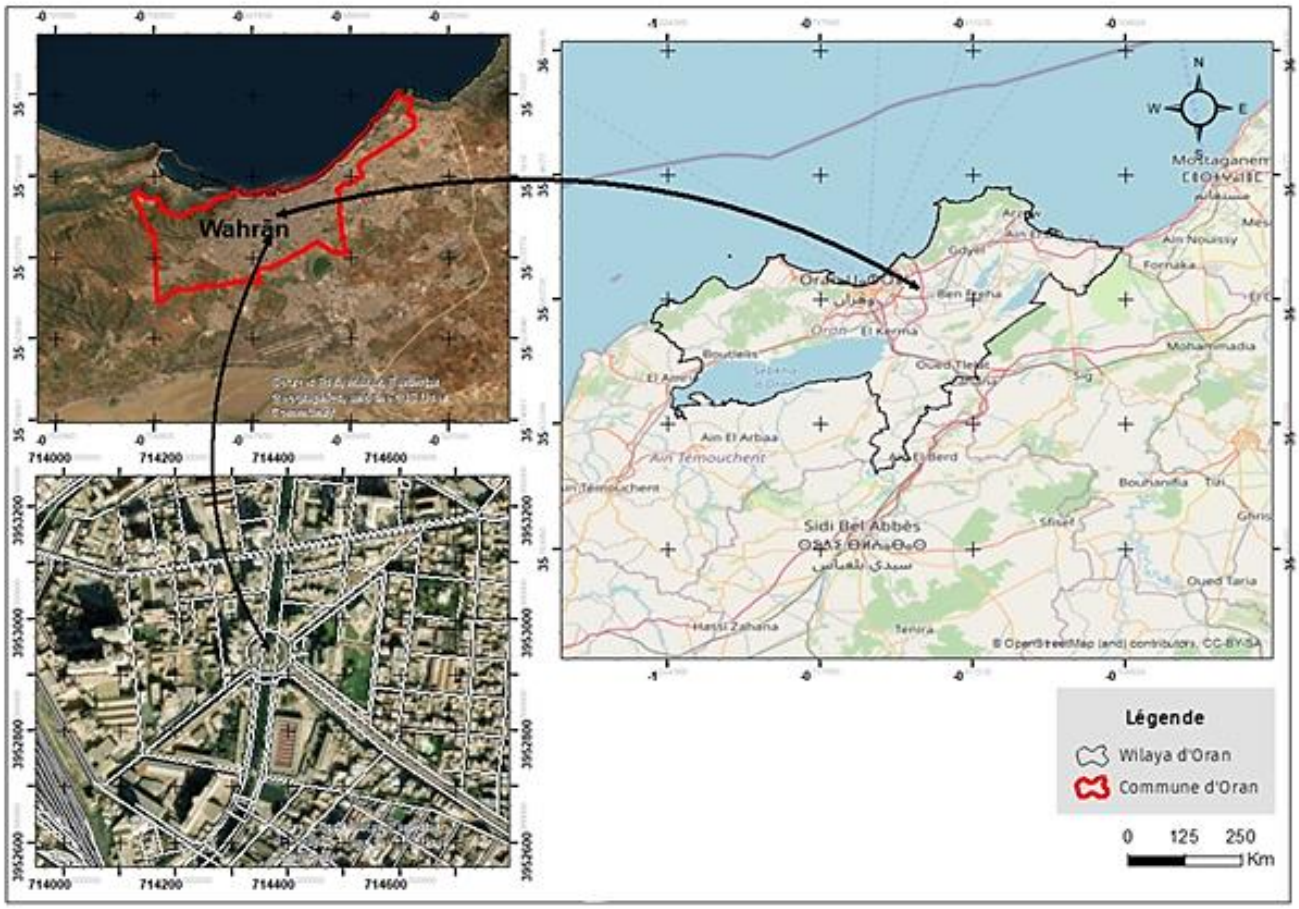


Figure 4 : Carte de la zone d'Etude

2.1 Relief et topographie

Oran est adossée à plusieurs reliefs importants qui dominent son paysage :

- À l'ouest, la ville est dominée par la montagne de l'Aïdour (appelée aussi Murdjajo), qui culmine à environ 420 à 580 mètres d'altitude selon les sources. Cette montagne est un point de repère naturel majeur et abrite notamment le fort de Santa-Cruz.
- Au sud, la ville est bordée par le plateau de Moulay Abd al Qadir al-Jilani (aussi appelé Moul-el-Meida), un plateau calcaire qui s'élève à une altitude moyenne autour de 100 mètres. Ce plateau est caractérisé par une surface généralement plane mais ponctuée de collines et ravins, façonnés par l'érosion.
- L'agglomération s'étend sur un terrain en pente douce, allant du niveau de la mer (front de mer à environ 40 mètres d'altitude) jusqu'à des altitudes de 70 à 90 mètres dans certaines banlieues comme Es-Senia.
- Autour d'Oran, la région présente un relief montagneux plus marqué, avec la chaîne du Djebel Orousse (jusqu'à 628 m), la montagne des Lions (587 m), le Djebel Sidi Aissa (789 m) et les monts du Tessala culminant à 1 048 m au sud.
- À environ 15 km au sud-ouest de la ville se trouve la sebkha d'Oran, un grand lac endoréique (sans exutoire) d'environ 40 000 hectares, qui joue un rôle important dans le climat et l'environnement local.

2.2 Climat

Oran bénéficie d'un climat méditerranéen caractérisé par :

- Des étés chauds et secs avec des températures moyennes autour de 27 °C en juillet-août.
- Des hivers doux et humides avec des températures moyennes de 13 °C en janvier-février.
- Une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 400 mm, concentrée surtout en hiver.
- La proximité de la mer Méditerranée atténue les extrêmes thermiques mais la région reste exposée à la sécheresse et aux vagues de chaleur, accentuées par le changement climatique.

2.3 Environnement et urbanisation

La ville s'est développée sur des terrains autrefois parcourus par des ravins et oueds, dont certains ont été comblés ou recouverts par l'urbanisation (ravin d'Aïn-Rouina, ravin Blanc, etc.). La topographie a fortement influencé l'implantation et l'extension urbaine d'Oran, qui s'étend désormais sur plusieurs communes limitrophes formant son agglomération.

La wilaya d'Oran, dont la ville d'Oran est le chef-lieu, revêt une importance considérable pour l'Algérie à plusieurs niveaux. Voici quelques aspects clés qui soulignent son importance :

2.4 Importance Économique

- **Pôle Industriel Majeur :**
  La wilaya d'Oran est l'un des principaux centres industriels d'Algérie. Elle abrite des zones industrielles importantes (comme celles d'Arzew, Hassi Ameur, Es Senia) avec des activités variées allant de la pétrochimie (complexe d'Arzew étant crucial pour le traitement et

l'exportation des hydrocarbures), à l'industrie sidérurgique, la construction navale, l'agroalimentaire, et de plus en plus, l'industrie automobile et pharmaceutique.

- **Hub Commercial et Portuaire :**
  Le port d'Oran est l'un des plus importants du pays, facilitant le commerce international et le transport de marchandises. Sa position stratégique en Méditerranée en fait une porte d'entrée et de sortie essentielle pour les échanges économiques de l'Algérie, notamment avec l'Europe.
- **Développement du Secteur Tertiaire :**
  Oran est un centre financier et de services en pleine expansion. De nombreuses banques, assurances, et entreprises de services y sont implantées. Le tourisme, notamment balnéaire et d'affaires, contribue également de manière significative à l'économie locale.
- **Agriculture :**
  Bien que l'urbanisation soit importante, l'arrière-pays de la wilaya conserve une activité agricole, notamment dans les plaines environnantes, contribuant à l'approvisionnement local et national.

2.5 Importance Démographique et Sociale:

- **Deuxième Pôle Urbain d'Algérie :**
  La wilaya d'Oran, et plus particulièrement la ville d'Oran, est la deuxième agglomération la plus peuplée d'Algérie après Alger. Cela en fait un centre démographique majeur, attirant des populations de tout l'ouest du pays.
- **Centre Éducatif et Universitaire :**
  Oran abrite plusieurs universités et grandes écoles (comme l'Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf - USTO-MB), formant une main-d'œuvre qualifiée et contribuant à la recherche scientifique.
- **Infrastructures de Santé :**
  La wilaya dispose d'importantes infrastructures hospitalières et de santé, desservant non seulement sa population mais aussi celle des wilayas environnantes.

2.6 Importance Culturelle et Historique :

- **Carrefour de Civilisations :**
  De par son histoire, Oran a été un lieu de rencontre de nombreuses cultures (berbère, arabe, andalouse, espagnole, ottomane, française), ce qui lui confère un patrimoine culturel riche et diversifié visible dans son architecture, sa musique (le Raï y a notamment ses racines), sa gastronomie et ses traditions.
- **Patrimoine Architectural :**
  La ville d'Oran possède un patrimoine architectural notable, avec des édifices datant de différentes époques, comme le Fort de Santa Cruz, la Mosquée du Pacha, le Théâtre Régional, et de nombreux bâtiments de style haussmannien.
- **Dynamisme Culturel :**
  Oran est connue pour son ambiance animée et sa scène culturelle active, avec des festivals, des concerts et divers événements artistiques.

2.7 Importance Stratégique et Logistique :

- **Position Géographique :**
  Comme mentionné précédemment, sa situation sur la côte méditerranéenne lui confère une importance stratégique pour le commerce, mais aussi pour la surveillance maritime et la défense.
- **Infrastructures de Transport :**
  Outre son port, la wilaya d'Oran est bien desservie par un aéroport international (Aéroport d'Oran Ahmed Ben Bella), un réseau routier et autoroutier développé (comme l'autoroute Est-Ouest), et des liaisons ferroviaires, ce qui en fait un nœud de communication crucial dans l'ouest algérien.

3 Le rond-point d'El Bahia

Le rond-point d'El Bahia est un carrefour important situé à Oran (figure n 5), plus précisément sur le 3e Boulevard Périphérique, dans la commune d'Es-Senia, au sud-ouest de la ville. Il constitue un nœud de circulation stratégique, notamment pour accéder à plusieurs axes routiers majeurs, dont ceux menant à l'aéroport international Ahmed Ben Bella et à d'autres quartiers périphériques d'Oran.

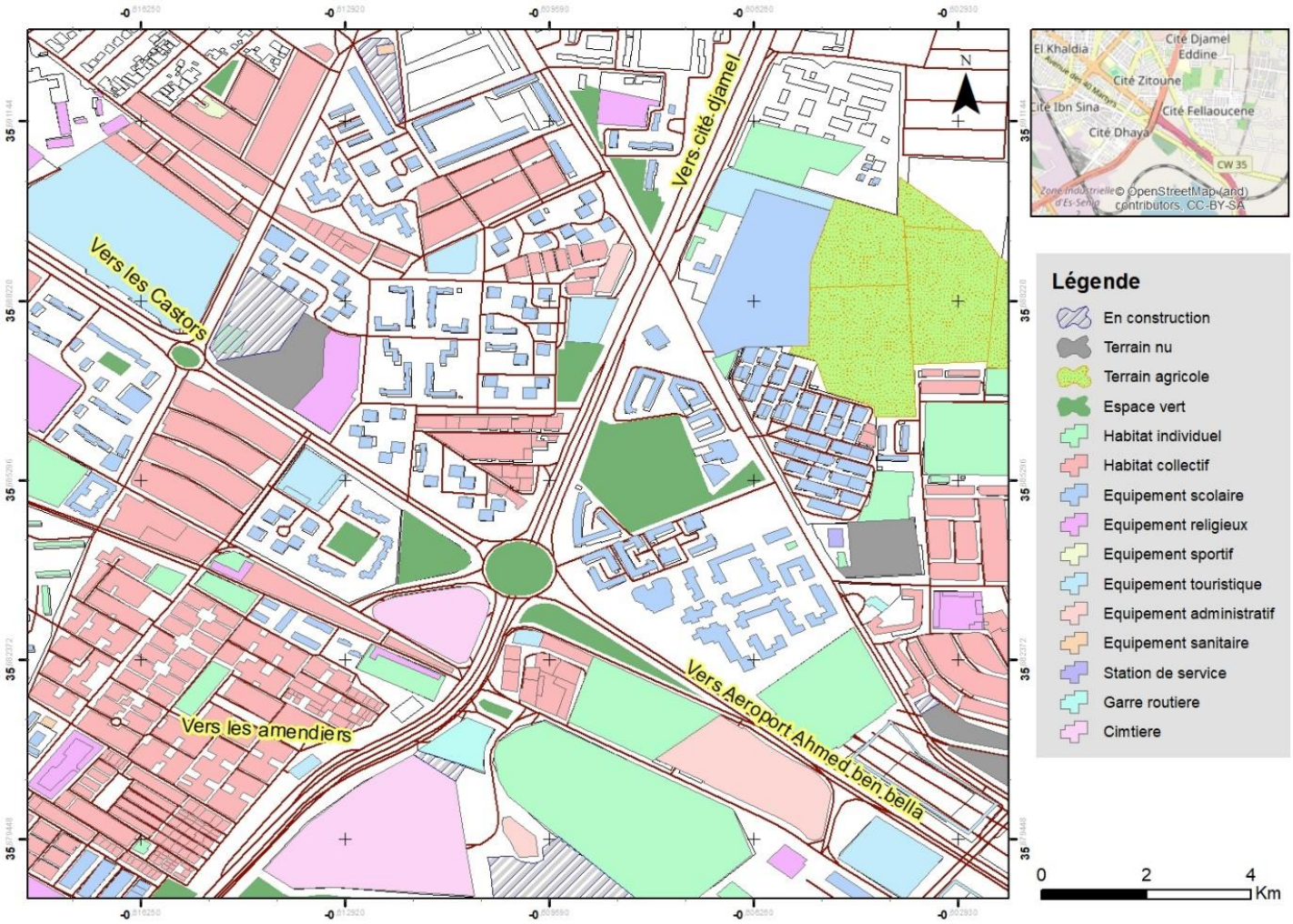


Figure 5: la carte d'occupation du sol de la zone d'Etude

3.1 Caractéristiques et importance

3.1.1 Analyse de la carte d'occupation du sol (analyse visuelle)

L'entrée sud de la wilaya, notamment via la RN4, la rocade sud et les échangeurs autoroutiers La "Pénétrante d'Oran" et les deux grands ronds-points sont les épines dorsales du secteur. Ils ne font pas que desservir la zone, ils la découpent. Ces infrastructures agissent à la fois comme des artères vitales (flux vers l'aéroport, vers d'autres quartiers comme "Cité Djamel" ou "Les Castors") et comme des barrières physiques qui peuvent fragmenter les quartiers,jouent un rôle central pour :

Type	Équipements et zones concernés	Rôle
Éducatif	Université Oran 1, écoles supérieures	Attire des flux quotidiens
Transport	Aéroport, gare ferroviaire Es Sénia	Hub régional

Économique	**Zones industrielles, commerce de gros**	**Polarisation logistique**
Santé	**Hôpital militaire, hôpital universitaire**	**Destinations critiques**
Logement	**Zones en extension (lotissements sud)**	**Croissance démographique**

La carte montre différentes catégories d'occupation du sol, identifiées par une légende claire :

- **En construction (hachuré gris) :** Zones en développement.
- **Terrain nu (beige clair) :** Espaces non construits, potentiellement en attente de développement ou espaces naturels.
- **Terrain agricole (vert clair pointillé) :** Zones dédiées à l'agriculture.
- **Espace vert (vert foncé) :** Parcs, jardins, ou zones végétalisées.
- **Habitat individuel (rose clair) :** Zones résidentielles composées principalement de maisons individuelles.
- **Habitat collectif (bleu clair) :** Zones résidentielles composées d'immeubles collectifs.
- **Équipement scolaire (gris foncé) :** Établissements d'enseignement.
- **Équipement religieux (violet) :** Lieux de culte.
- **Équipement sportif (vert olive) :** Installations sportives.
- **Équipement touristique (marron clair) :** Zones dédiées au tourisme.
- **Équipement administratif (rose violet) :** Bâtiments administratifs.
- **Équipement sanitaire (bleu gris) :** Établissements de santé.
- **Station de service (orange) :** Stations-service.
- **Gare routière (rouge brique) :** Gares de bus.
- **Cimetière (gris hachuré) :** Cimetières.

Les routes sont également clairement visibles en rouge, avec des indications telles que "Vers les Castors", "Vers les Amandiers", "Pénétrante d'Oran", et "Vers Aéroport Ahmed Ben Bella".

3.1.2 Densité du bâti par rapport à la surface (Analyse visuelle et méthodologie)

3.1.2.1 Analyse visuelle :

En observant la carte, on peut identifier des zones de forte densité bâtie et des zones de faible densité :

- **Habitat individuel (rose clair) :** Ces zones couvrent une superficie significative et représentent une densité moyenne à faible par rapport à l'habitat collectif. Elles sont très présentes autour des grands axes et dans les secteurs plus urbanisés.

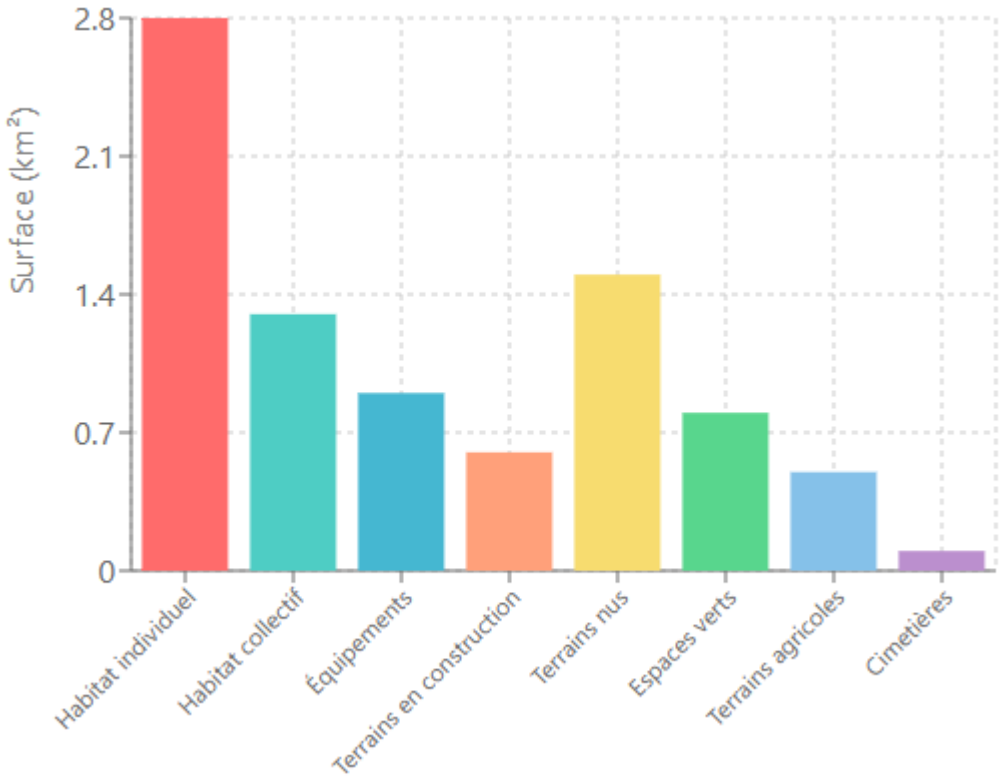


Figure 6 : Répartition des Surfaces par Catégorie

En termes de l'habitat individuel occupe la grande partie de la surface occupée dans la zone d'etude.

- **Habitat collectif (bleu clair) :** Ces zones représentent la plus forte densité de bâti, avec des immeubles rapprochés. On les trouve de manière éparse, souvent le long des axes routiers majeurs ou à proximité des ronds-points.

La carte montre une distinction claire entre les zones pavillonnaires (habitat individuel) et les grands ensembles (habitat collectif). Ces deux formes urbaines coexistent, ce qui peut refléter des phases d'urbanisation différentes ou une mixité sociale planifiée ou spontanée. L'habitat collectif est souvent localisé près des grands axes de transport.

- **Équipements (gris foncé, violet, vert olive, marron clair, rose violet, bleu gris) :** Ces zones sont des constructions, mais elles occupent des surfaces spécifiques et n'ajoutent pas à la "densité résidentielle" mais à la "densité d'occupation du sol par des structures". Elles sont souvent implantées au sein ou à proximité des zones résidentielles pour desservir la population.

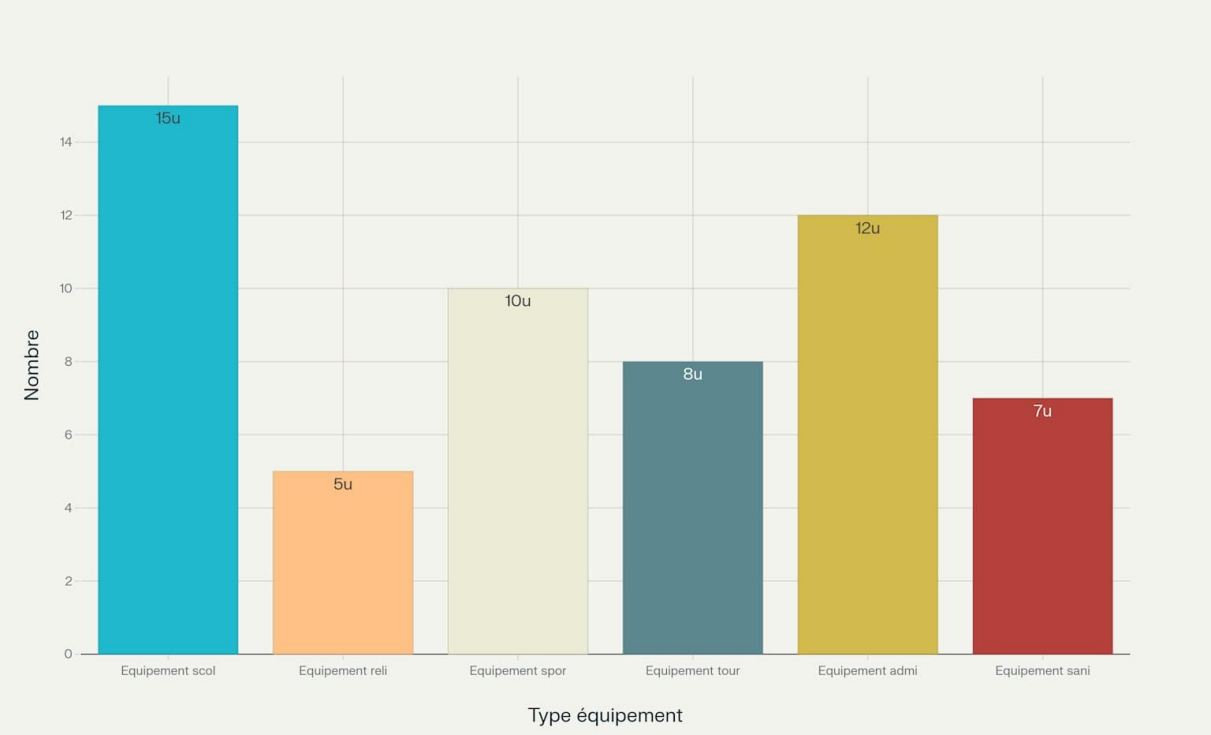


Figure 7: Repartition du nombre d'equipement

- **Terrains en construction (hachuré gris) :** Indiquent un futur accroissement de la densité bâtie dans ces secteurs.
- **Terrains nus, espaces verts, terrains agricoles, cimetières :** Ces zones sont par définition des zones sans bâti ou avec très peu de bâti, contribuant à une très faible ou nulle densité bâtie. Elles agissent comme des "poumons" ou des "réserves foncières".

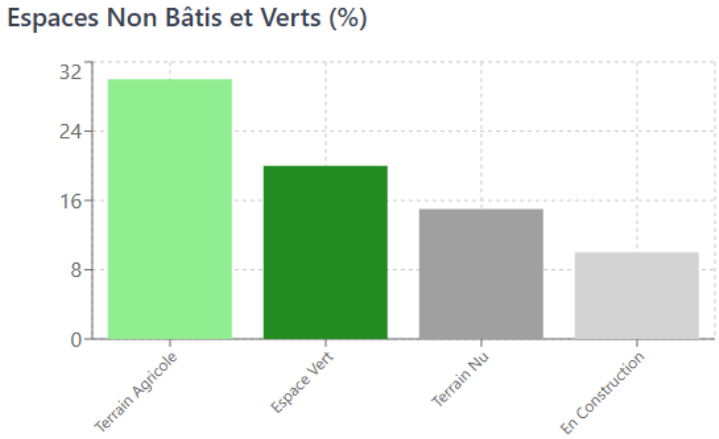


Figure8 : surface non batis et verts

nature	Surface
Habitat individuel	**2.8 km²**
	32.9%
Terrains nus	**1.5 km²**
	17.6%
Habitat collectif	**1.3 km²**
	15.3%
Équipements	**0.9 km²**
	10.6%
Espaces verts	**0.8 km²**
	9.4%
Terrains en construction	**0.6 km²**
	7.1%
Terrains agricoles	**0.5 km²**
	5.9%
Cimetières	**0.1 km²**
	1.2%

Table 5 :surface occupé

3.1.2.2 Importance du périphérique dans la carte

Le périphérique (identifié comme la "Pénétrante d'Oran" et les axes "Vers les Castors", "Vers les Amandiers", "Vers Aéroport Ahmed Ben Bella") est d'une importance capitale sur cette carte pour plusieurs raisons :

1. **Structure Urbaine et Articulation :** Le périphérique est l'épine dorsale de l'organisation spatiale. Il délimite des quartiers, canalise les flux de circulation et structure le développement urbain. Les grands ronds-points et échangeurs (comme celui au centre de la carte) sont des points focaux majeurs.

2. **Accessibilité et Connectivité :** Il assure la connexion rapide entre différentes parties de la ville et avec l'extérieur (aéroport, autres villes via les axes "Vers..."). Cette accessibilité influence directement l'implantation des activités et des habitations. On observe d'ailleurs de nombreuses zones d'habitat (individuel et collectif) ainsi que des équipements le long ou à proximité immédiate de ces axes.

3. **Influence sur la Densité du Bâti :**

    - **Attraction des constructions :** Les zones adjacentes au périphérique montrent souvent une densité de bâti plus élevée, notamment l'habitat collectif (bleu clair) et les équipements. La facilité d'accès et de transport rend ces zones attractives pour le développement.

    - **Développement linéaire :** Le développement urbain semble s'étirer le long du périphérique et des routes principales qui s'y raccordent.

- **Barrière physique :** Dans certains cas, le périphérique peut aussi agir comme une barrière, séparant des zones d'occupation du sol différentes (par exemple, séparant des zones résidentielles de terrains agricoles ou d'espaces verts).

4. **Points de Repère et Orientation :** Les noms des axes ("Vers les Castors", "Vers Aéroport Ahmed Ben Bella") agissent comme des points de repère essentiels pour l'orientation dans l'agglomération.
5. **Planification Urbaine Future :** Les terrains nus et les zones en construction à proximité du périphérique suggèrent que cet axe continuera à être un moteur du développement urbain futur. La planification de ces zones tiendra compte de leur proximité avec l'infrastructure routière majeure.

Type de Bâtiment	Description	Pourcentage	Couleur
Habitat Collectif	Résidentiel collectif	**35%**	
Habitat Individuel	Résidentiel individuel	**25%**	
Équipement Scolaire	Établissements scolaires	**15%**	
Équipement Administratif	Bâtiments administratifs	**8%**	
Équipement Religieux	Lieux de culte	**5%**	
Équipement Sportif	Installations sportives	**4%**	
Équipement Sanitaire	Établissements de santé	**3%**	
Autres Équipements	Autres infrastructures	**5%**	

Figure 9 : surface occupée

3.1.2.3 Importance et fonctions du rond-point El Bahia :

- **Point de bifurcation majeur**

Le rond-point El Bahia permet de diriger le trafic vers plusieurs directions essentielles. En prenant la direction Est, on peut rejoindre rapidement le centre-ville d'Oran, le port d'Oran, ainsi que la cité Djamel via une trémie située à proximité. En tournant à gauche (direction Ouest), il donne accès à la voie express qui relie l'Est à l'Ouest de la ville, passant par d'autres ronds-points et zones commerciales comme El Hassi, Maraval et Yaghmouracen2.

- **Connexion avec le 4e périphérique d'Oran**
  Ce rond-point est intégré dans le réseau du 4e boulevard périphérique d'Oran, une infrastructure majeure qui ceinture la ville et relie les agglomérations limitrophes. Ce périphérique facilite la circulation des poids lourds et des véhicules de transit, en évitant les encombrements du centre-ville, ce qui est crucial pour les activités économiques et industrielles de la région.

- **Accès aux zones industrielles et agricoles**
  Par son emplacement, El Bahia est un point d'accès rapide vers les zones industrielles d'Es Senia, Tafraoui, Oued Tlélat, El Braya, et d'autres localités productrices de la wilaya d'Oran. Ces zones sont des pôles économiques importants, notamment dans l'agroalimentaire et l'industrie lourde, et le rond-point facilite le transport des marchandises vers les ports et les marchés2.

- **Désengorgement et fluidité du trafic**
  Grâce à son aménagement et à son intégration dans un réseau de voies larges et élargies, le rond-point El Bahia contribue à la fluidité de la circulation dans une zone à fort trafic. Il est surveillé régulièrement par la police pour réguler le trafic et intervenir en cas d'embouteillages, garantissant ainsi une meilleure sécurité routière.

- **Proximité avec des équipements urbains importants**
  À proximité du rond-point se trouvent des équipements majeurs comme le Stade Ahmed Zabana (à environ 2,5 km à l'ouest) et la Mosquée Abdelhamid Ben Badis (à 1,5 km au nord), ce qui souligne son rôle dans la desserte des infrastructures sportives, culturelles et religieuses de la métropole oranaise.

3.1.3 Localisation :

Le rond-point se trouve dans une zone à forte densité de trafic, ce qui en fait un point de congestion fréquent. Il est situé dans une zone urbaine en pleine expansion, avec un développement résidentiel et commercial important.

3.1.4 Travaux d'aménagement

Pour améliorer la fluidité du trafic, un projet de réalisation d'un tunnel (trémie) au niveau du rond-point d'El Bahia a été programmé, avec un démarrage des travaux prévu autour du mois de mars 2024. Ce projet vise à désengorger ce carrefour et faciliter la circulation vers l'aéroport et les zones industrielles proches. L'entreprise Cosider est chargée de ces travaux, avec un délai d'exécution d'environ un an.

3.1.5 Contrôle sanitaire

Ce rond-point est aussi un lieu de contrôle policier important. Par exemple, en mars 2023, la police y a saisi 159 kg de viande rouge impropre à la consommation, démontrant son rôle dans la surveillance sanitaire et la protection des consommateurs.

3.1.6 Transports en commun

Plusieurs lignes de bus desservent la zone autour d'El Bahia, facilitant l'accès aux universités (USTO), quartiers résidentiels et zones commerciales, ce qui renforce son rôle de carrefour urbain essentiel.

3.2 Naissance et fonctionnement initial (avant 2007)

Au début des années 2000, le carrefour d'El Bahia n'était qu'un simple giratoire de 50 m de diamètre, planté sur une vaste zone semi-urbaine à l'est d'Oran. Cinq axes s'y rejoignaient : la RN 4 venant de Sidi Bel Abbès, Vers le centre-ville (Les Castors), plus Trois accès locaux desservant la Cité Djamel, le quartier résidentiel d'El Bahia et un accès vers le Sud-Ouest (Les Amendiers)(figure n 6).



Figure 10: Photo aérienne de google earth du rond-point d'el Bahia en 2007

Rapidement, avec l'essor de la périphérie oranaise et le développement touristique, le giratoire prit des allures de nœud critique : jusqu'à 1 800 véhicules à l'heure tentaient de s'y faufiler aux heures de pointe, provoquant des files de 150 à 200 m, des freinages brusques et de nombreux accrochages légers. Les habitants rapportaient des attentes de plus de plusieurs minutes, des embouteillages matin et soir, et une insécurité grandissante pour les piétons.

3.3 Premières tentatives d'amélioration (2005)

Avant L'an 2005, face à la saturation chronique, les services de voirie étudièrent plusieurs options :

3.3.1 Proposition N°01 :

- Passage inférieur sous le giratoire pour le trafic Est–Ouest.

La solution du passage inférieur fut rapidement écartée :

- Une présence d'une nappe phréatique qui atteint dans la période hivernale -1m.

- D'autant plus le secteur regorgeait de réseaux enterrés grosses canalisations d'assainissement, conduites haute-tension et télécommunications dont le déplacement aurait généré des coûts et des délais prohibitifs.

3.3.2 Proposition N°02 :

- Élever un passage supérieur pour séparer les flux de transit.
- On retient donc la construction d'un passage supérieur : un pont-route à deux voies enjambant le giratoire, réservé aux véhicules filant sur la RN 4 Est–Ouest. Livré fin 2007, ce troisième boulevard périphérique permit de drainer environ 2 500 véh./h hors du giratoire, diminuant d'un quart le trafic circulant sur la chaussée en surface. Le giratoire retrouva un peu de calme : la desserte locale (bus, taxis, voitures) y circulait plus sereinement, sans rivalité directe avec le flux de transit.

3.4 Situation actuelle et nouveaux constats (2024)

Malgré ce passage supérieur, le rond-point resta un passage obligé pour tous les autres mouvements :
Les voitures quittant la Cité Djamel pour rejoindre la RN 4 Est continuaient de congestionner le giratoire (figure n 7).



Figure 11: Photo aérienne de google earth du rond-point d'el Bahia en 2024

- Les files persistaient, notamment entre 7 h–10 h et 16 h–18 h, montrant que le passage supérieur seul ne suffisait pas à fluidifier entièrement le carrefour.

- Les études de trafic de 2023 révélèrent que près de 20 % du volume résiduel sur le giratoire provenait du mouvement « Cité Djamel → RN 4 Est ».

La figure ci-dessous montre la desserte au niveau du rond-point :

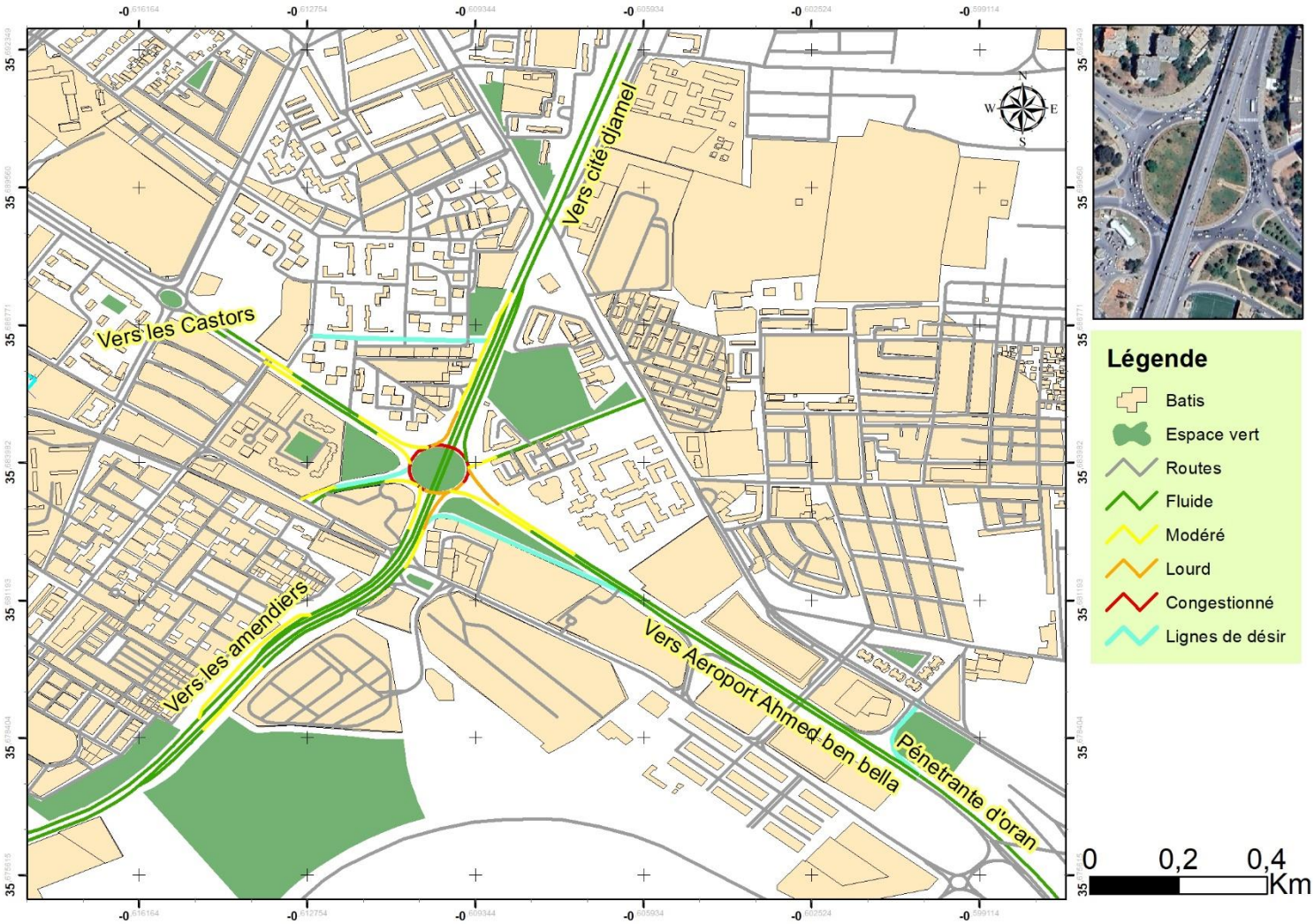


Figure 12 : carte de la desserte au niveau du rond-point d'el Bahia

a) Lignes de désir :

Dans le domaine du trafic routier, les chemins qui permettent d'éviter les embouteillages sont effectivement appelés "lignes de désir". Ce terme fait référence aux itinéraires que les conducteurs préféreraient emprunter s'il n'y avait pas de contraintes comme le trafic ou les infrastructures existantes. En d'autres termes, c'est le chemin le plus direct ou le plus rapide entre deux points, tel qu'il serait naturellement choisi.

b) Qu'est-ce que la desserte ?

Dans le contexte du trafic routier et de l'aménagement du territoire, la desserte fait référence à l'ensemble des moyens et des infrastructures qui permettent d'accéder à un lieu, une zone ou une propriété. C'est l'idée de "servir" un endroit par un réseau de transport.

3.4.1 Analyse visuel:

La carte présente le réseau de desserte de l'entrée sud d'Oran avec un système de codage couleur indiquant les différents niveaux de trafic et d'accessibilité .

Le carrefour giratoire central(le rond point d'el bahia) est le principal point de congestion. Il est presque entièrement en **rouge (Congestionné)**. Cela signifie qu'il est incapable de gérer le volume de véhicules qui tentent de l'emprunter simultanément, agissant comme un goulot d'étranglement majeur. La photo satellite confirme la saturation du rond-point.

3.4.1.1 Identification des axes principaux

La carte révèle plusieurs axes stratégiques convergeant vers un rond-point central :

- **Vers les Castors** (direction nord-ouest)
- **Vers les amandiers** (direction sud-ouest)
- **Vers cité jardin** (direction nord-est)
- **Vers Aéroport Ahmed ben bella** (direction sud-est)
- **Pénétrante d'Oran** (axe principal est-ouest)

Niveau de trafic	**Couleur**	**Observation sur la carte**
Fluide	Vert	Présent sur plusieurs tronçons périphériques
Modéré	Jaune	Concentration notable vers "les amandiers"
Lourd	Orange	Visible sur la pénétrante d'Oran
Congestionné	Rouge	Point critique au niveau du rond-point central

Table6 :Table d'observation

3.4.2 Analyse par Segment (Approche Graphique) :

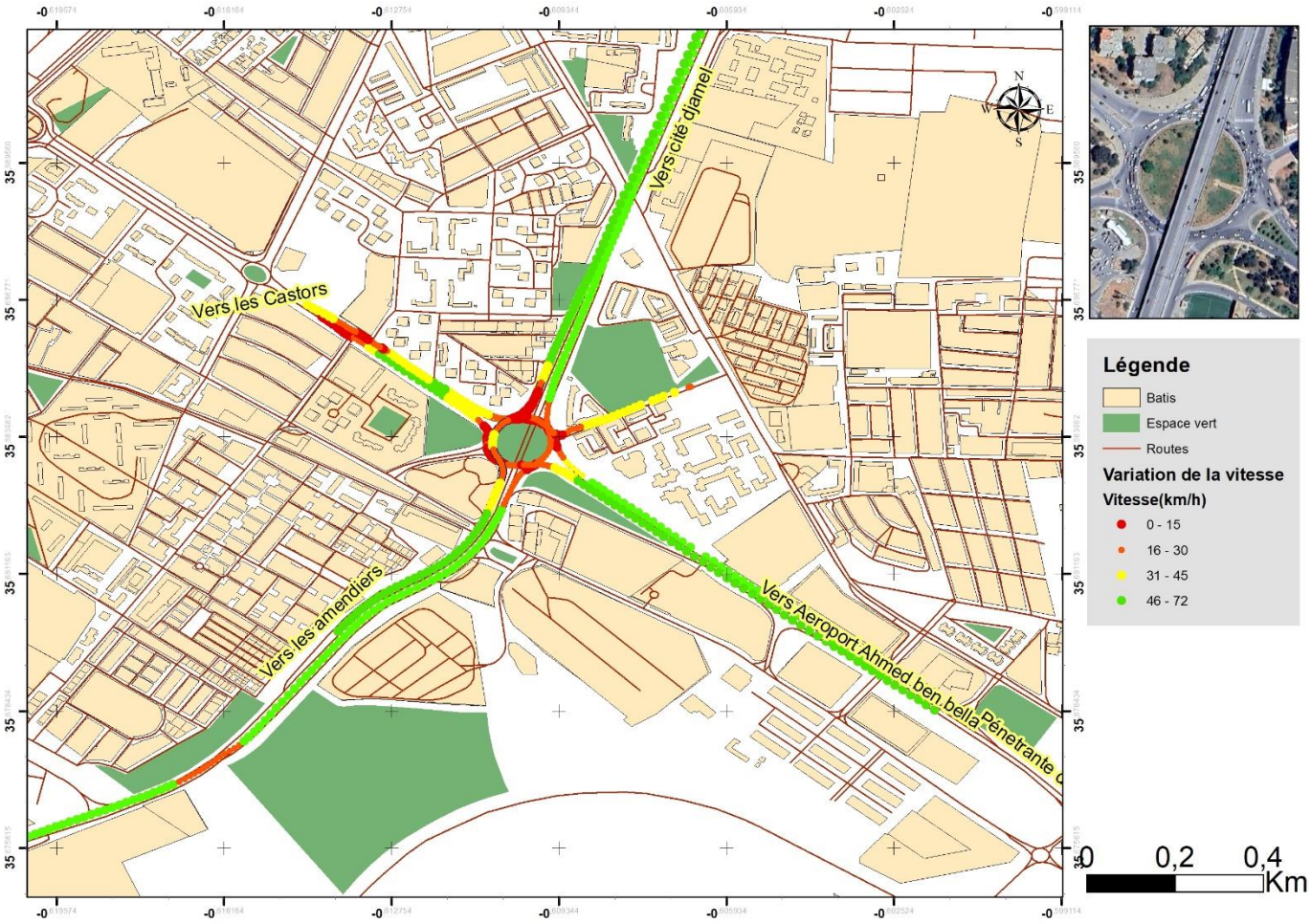


Figure 13: carte de l'evolution de la vitesse au niveau du rond point d'el bahia

3.4.2.1 1. Le Carrefour Giratoire (Noyau du Problème)

- **État : Congestionné (Rouge)** sur la quasi-totalité de son anneau.
- **Analyse :** C'est le point de convergence de tous les flux. La congestion est causée par les opérations de "cédez-le-passage" à chaque entrée, qui deviennent inefficaces lorsque le volume est trop élevé. Les véhicules entrant s'insèrent difficilement dans un anneau déjà saturé, ce qui propage l'embouteillage en amont sur les axes entrants.

2. Segment : Pénétrante d'Oran / Vers Aéroport Ahmed Ben Bella (Axe Sud-Est)

- **Flux entrant vers le rond-point : Lourd (Orange)** se transformant en **Modéré (Jaune)** plus en amont.
- **Flux sortant du rond-point : Fluide (Vert)**.
- **Analyse :** Cet axe est une artère principale (pénétrante, route de l'aéroport). Il apporte un volume de trafic très important. La congestion (orange) est une "queue" qui remonte depuis le rond-point.

Une fois le rond-point passé, le flux vers le sud est fluide, indiquant que le problème n'est pas la capacité de la route elle-même, mais bien l'insertion dans le carrefour.

3. Segment : Vers les Amendiers (Axe Sud-Ouest)

- **Flux entrant vers le rond-point : Modéré (Jaune)**.
- **Flux sortant du rond-point : Fluide (Vert)**.
- **Analyse :** Cet axe semble avoir un volume de trafic légèrement moins important que la pénétrante, mais il contribue tout de même significativement à la saturation du rond-point. Comme pour l'axe de l'aéroport, la sortie du rond-point est fluide.

4. Segment : Vers les Castors (Axe Nord-Ouest)

- **Flux entrant vers le rond-point : Lourd (Orange)** devenant **Congestionné (Rouge)** à l'approche immédiate.
- **Flux sortant du rond-point : Modéré (Jaune)**.
- **Analyse :** C'est l'un des axes les plus problématiques. Non seulement l'entrée est congestionnée, mais la sortie l'est aussi (jaune), ce qui suggère que le problème de trafic se propage aussi en aval du rond-point dans ce quartier. Il s'agit probablement d'une zone résidentielle et commerciale dense.

5. Segment : Vers Cité Djamel (Axe Nord-Est)

- **Flux entrant vers le rond-point : Lourd (Orange)** devenant **Congestionné (Rouge)** à l'approche.
- **Flux sortant du rond-point : Fluide (Vert)**.
- **Analyse :** Similaire à la pénétrante, cet axe amène un trafic lourd vers le rond-point, créant une file d'attente importante. La fluidité du trafic sortant indique que les véhicules qui parviennent à quitter le rond-point dans cette direction peuvent s'écouler sans problème.

6. Analyse des Lignes de Désir (Flux Transversaux)

- **Analyse :** C'est une information capitale. Ces lignes montrent qu'il existe des routes pour eviter le carrefour (le rond point) notamment de la penetrante d’oran vers cité djamel en passant par el barki et en venant de cité djamel vers les castors ou en venant des amendiers vers l’aeroport.

3.4.2.2 Analyse du segment A :

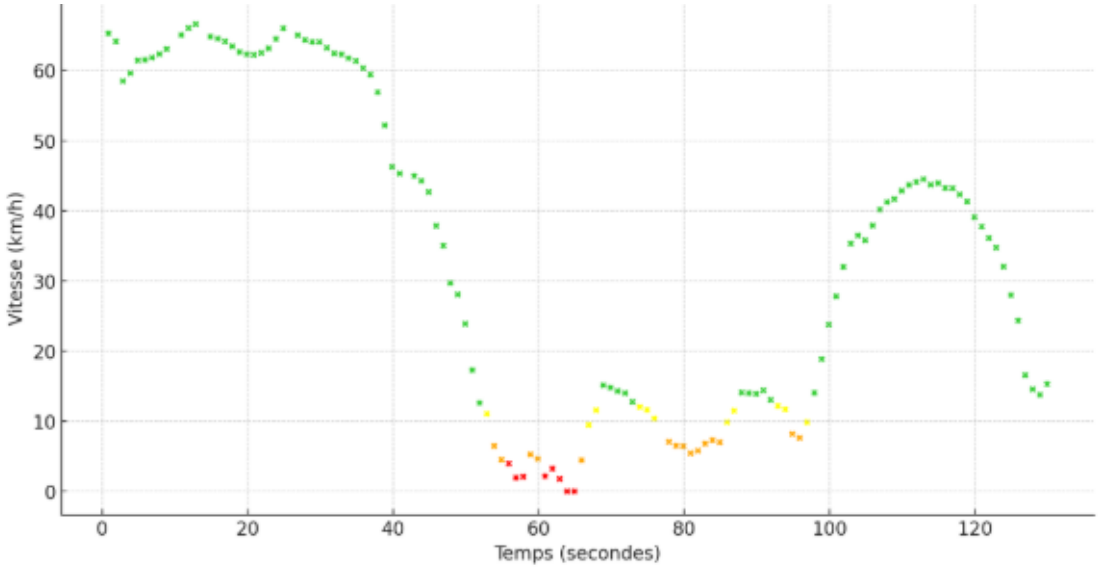


Figure14 :Graphe de l'evolution de vitesse Segment A(Pénétrante d'oran vers Castors)

Le graphe fourni représente l'évolution de la vitesse (en km/h) en fonction du temps (en secondes) pour le "Segment A (Pénétrante d'Oran vers Castors)".

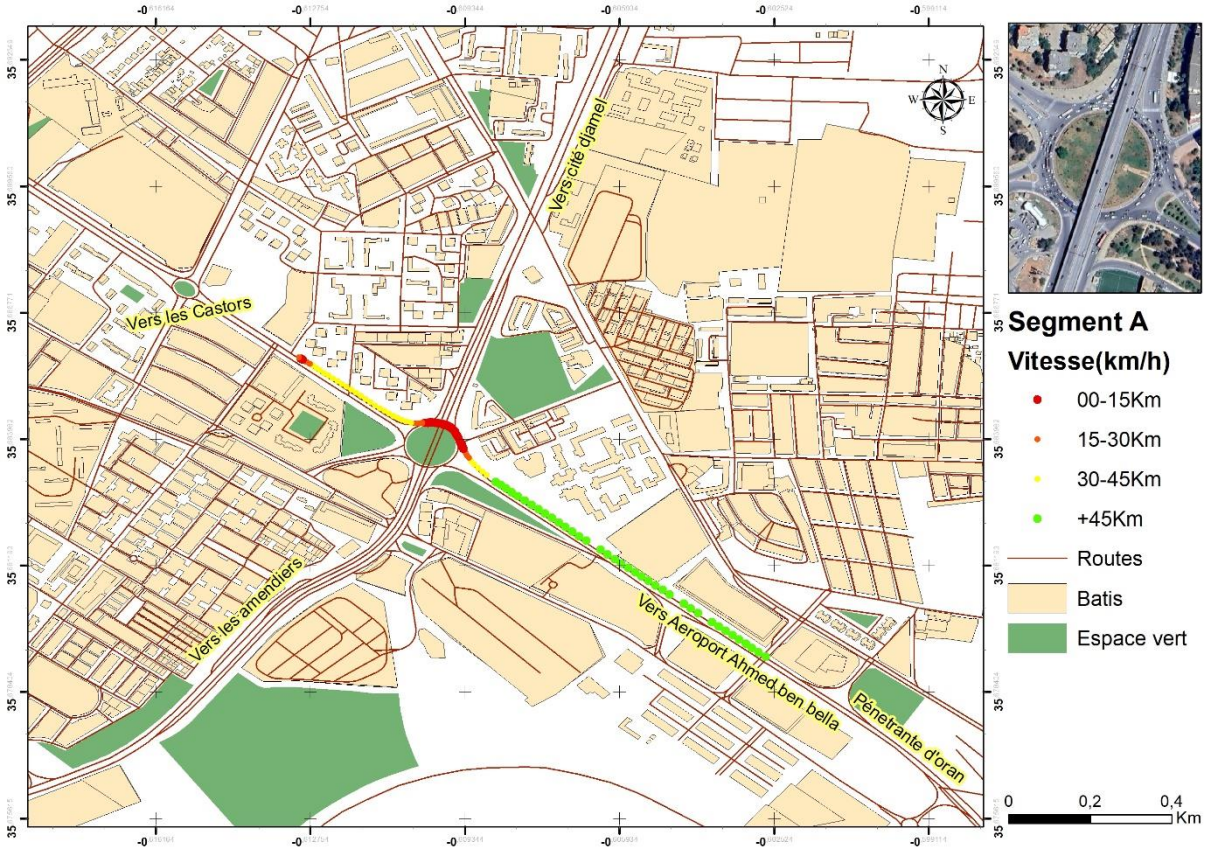


Figure 15 : evolution de vitesse dans le Segment A

Le graphe peut être divisé en plusieurs phases distinctes, caractérisées par les changements de vitesse et les codes couleurs des points, qui semblent indiquer des plages de vitesse spécifiques (similaires aux légendes de couleurs sur la carte SIG précédente) :

- **Phase Initiale (0 à environ 45 secondes) : Vitesse Élevée et Fluide (Points Verts)**
    - Au début du trajet (autour de 0 à 10 secondes), la vitesse est stable, autour de 60-65 km/h.
    - La vitesse reste relativement élevée et stable jusqu'à environ 45 secondes, indiquant un trafic fluide et une circulation sans entraves majeures. Les points sont majoritairement verts, suggérant des vitesses élevées et acceptables.
- **Phase de Décélération et Congestion Initiale (environ 45 à 60 secondes) : Ralentissement et Blocage (Points Verts, puis Jaunes, puis Oranges, puis Rouges)**
    - À partir de 45 secondes, on observe une nette décélération de la vitesse.
    - La vitesse chute progressivement de 60 km/h à des valeurs très basses, voire proches de 0 km/h.
    - Les couleurs des points changent, passant du vert au jaune (indiquant une vitesse modérée), puis à l'orange (vitesse lente/congestion), et enfin au rouge (vitesse très lente/arrêt). Cela indique une zone de forte congestion ou un arrêt quasi complet du trafic.

- **Phase de Congestion/Arrêt (environ 60 à 70 secondes) : Vitesse Très Faible (Points Rouges)**
    - Pendant cette période, la vitesse est extrêmement basse, oscillant entre 0 et 5 km/h. Les points sont principalement rouges. Cela suggère un arrêt total ou un mouvement très lent, typique d'une forte congestion, potentiellement à une intersection, un rond-point (comme celui identifié sur la carte précédente), ou un feu de signalisation.
- **Première Phase de Reprise et Nouveau Ralentissement (environ 70 à 95 secondes) : Vitesse Variable (Points Jaunes, Oranges, Rouges, puis Jaunes/Oranges)**
    - Après la période de congestion sévère, la vitesse commence à augmenter légèrement, atteignant environ 15-17 km/h (points jaunes).
    - Cependant, il y a une nouvelle baisse de vitesse autour de 75-80 secondes, avec des points rouges et oranges, indiquant un autre ralentissement ou un blocage.
    - La vitesse remonte ensuite un peu, mais reste généralement basse (points jaunes et oranges), ne dépassant pas les 15 km/h avant une nouvelle légère chute autour de 90-95 secondes (points oranges).
- **Seconde Phase de Reprise et Vitesse Modérée (environ 95 à 115 secondes) : Amélioration du Trafic (Points Verts Clairs)**
    - À partir d'environ 95 secondes, la vitesse commence à augmenter de manière plus significative.
    - Elle passe d'environ 10 km/h à près de 45 km/h. Les points deviennent à nouveau verts clairs. Cela indique une amélioration de la fluidité du trafic après avoir traversé la zone de congestion.
- **Nouvelle Décélération (environ 115 à 125 secondes) : Ralentissement (Points Verts Clairs, puis Jaunes, puis Oranges)**
    - Vers 115 secondes, la vitesse commence à diminuer à nouveau, passant de 45 km/h à environ 15 km/h. Les points virent progressivement du vert clair au jaune, puis à l'orange. Cela pourrait indiquer l'approche d'une autre intersection, d'un nouveau point de congestion, ou la fin du segment analysé.

3.4.2.3 Analyse du segment B :

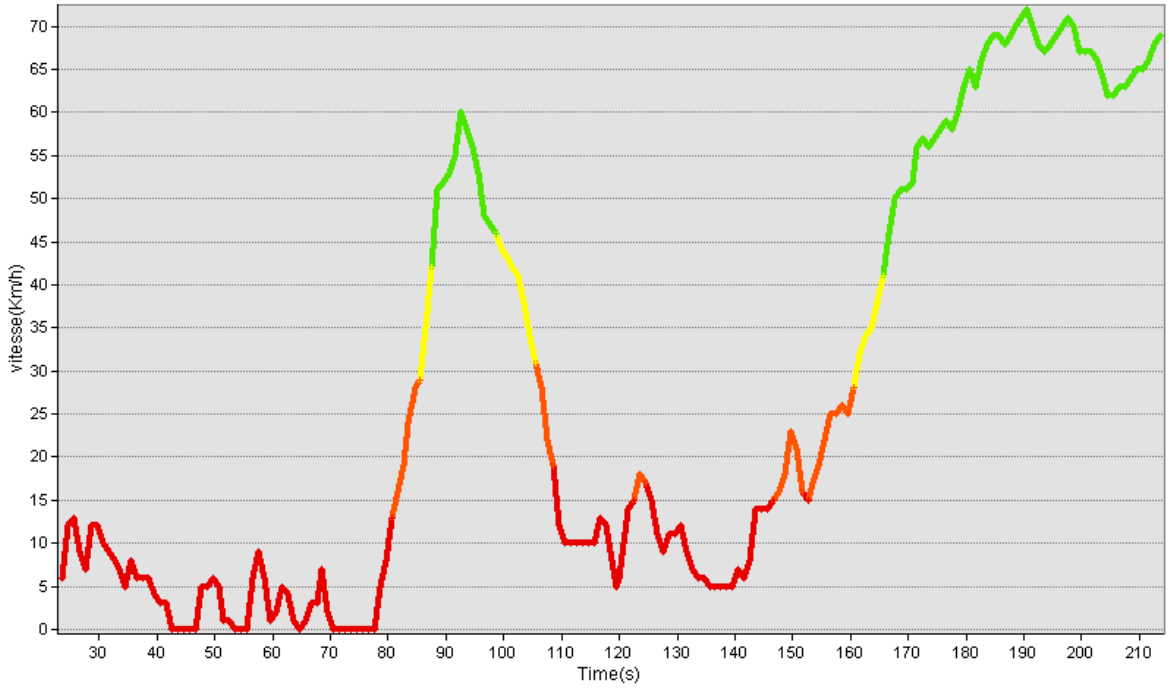


Figure 16 :Graphe de la vitesse segment B(castors vers RN4 aeroport ahmed ben bella)

- **Analyse :**
  Le graphe montre une dynamique de vitesse variée, reflétant probablement les conditions de trafic sur ce segment de route majeur menant de Castors vers l'aéroport d'Oran. Les couleurs des points indiquent des plages de vitesse, similaires à celles observées sur les cartes précédentes (rouge pour très lent, orange pour lent, jaune pour modéré, vert pour fluide).

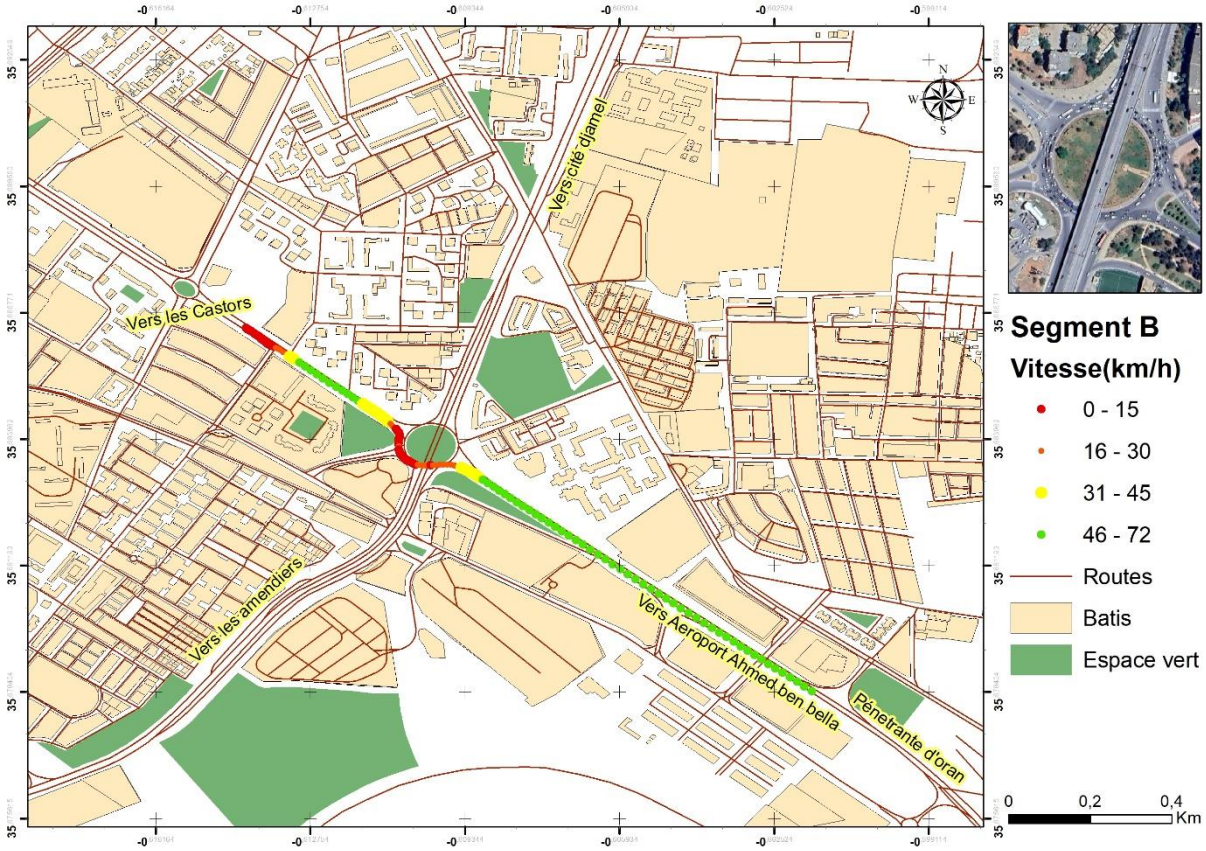


Figure 17 : evolution de vitesse dans le Segment B

- **Phase Initiale (environ 25 à 85 secondes) : Congestion et Mouvement Haché (Majoritairement Rouge et Orange)**
    - **25-40 secondes :** La vitesse est initialement très basse, autour de 5-10 km/h, avec des pics occasionnels à 10-15 km/h. La présence de points rouges et oranges indique une forte congestion ou un trafic très lent.
    - **40-70 secondes :** La vitesse continue d'être très faible, souvent en dessous de 5 km/h, avec plusieurs baisses à près de 0 km/h (points rouges). Cela suggère des arrêts fréquents ou un trafic quasi à l'arrêt, typique d'une zone fortement embouteillée. Il y a de petites reprises, mais la vitesse reste constamment basse.
    - **70-85 secondes :** La vitesse commence à augmenter très progressivement, passant de moins de 5 km/h à environ 20-30 km/h. Les points évoluent du rouge à l'orange, puis au début du jaune, indiquant une légère amélioration de la fluidité, mais le trafic reste ralenti.
- **Phase d'Accélération et Fluidification (environ 85 à 100 secondes) : Reprise Rapide de la Vitesse (Orange, Jaune, puis Vert)**
    - À partir d'environ 85 secondes, il y a une nette accélération. La vitesse passe rapidement de ~30 km/h à près de 60 km/h.

- Les points changent rapidement du jaune au vert, signalant un passage d'un trafic ralenti à une circulation fluide. C'est la période où le véhicule retrouve une vitesse de croisière plus élevée.

- **Phase de Décélération et Congestion Modérée (environ 100 à 150 secondes) : Nouveau Ralentissement (Vert, puis Rouge et Orange)**
  - Après avoir atteint un pic de ~60 km/h, la vitesse chute brutalement à partir de 100 secondes, pour atteindre environ 10 km/h autour de 110 secondes. Les points passent du vert au rouge et orange.
  - Entre 110 et 150 secondes, la vitesse oscille principalement entre 5 et 20 km/h, avec des hauts et des bas (points rouges et oranges). Cela indique une nouvelle période de congestion, moins sévère que la première mais toujours significative, avec des ralentissements et des reprises intermittentes.

- **Phase d'Accélération Finale (environ 150 à 210 secondes) : Retour à la Vitesse Élevée (Orange, Jaune, puis Vert)**
  - À partir d'environ 150 secondes, la vitesse commence à augmenter de nouveau de manière significative.
  - Elle passe d'environ 10-15 km/h à plus de 70 km/h vers 190 secondes. Les points redeviennent progressivement jaunes, puis verts.
  - La vitesse se maintient au-dessus de 60 km/h jusqu'à la fin du graphe (210 secondes), indiquant que le véhicule a retrouvé une circulation fluide sur la fin du segment, probablement en approchant de l'aéroport ou d'une section plus dégagée de la RN4.

- **Interprétation Générale :**

  Ce graphe dépeint un trajet caractérisé par deux épisodes majeurs de congestion (la première étant la plus sévère) et deux phases de circulation relativement fluide.

3.4.2.4 Analyse du segment C :

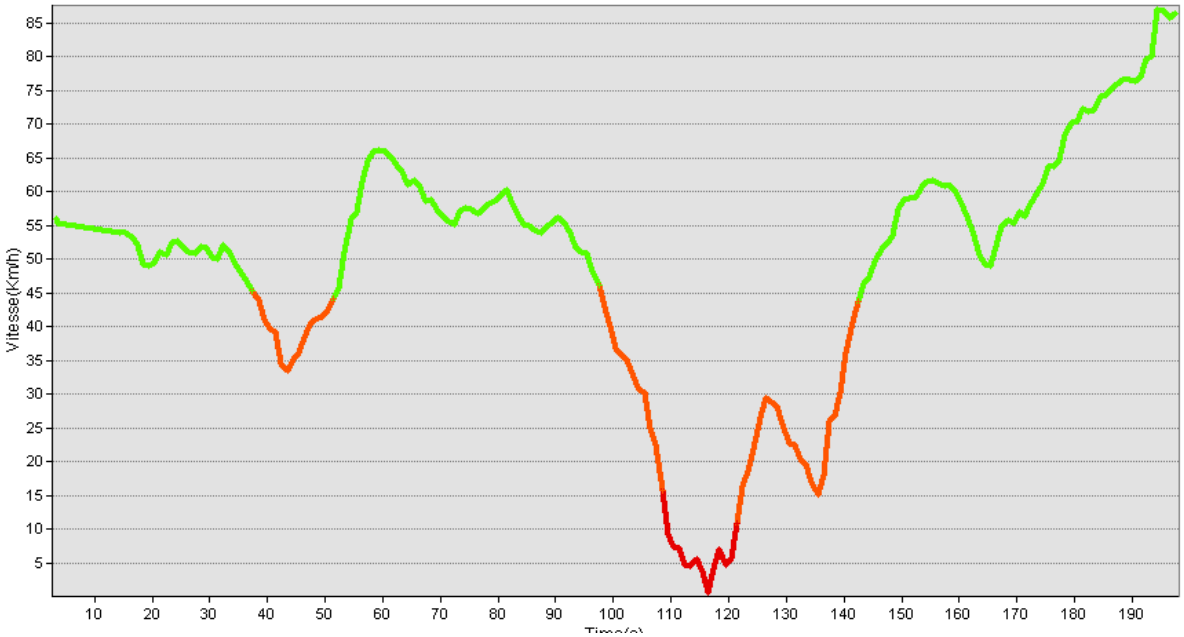


figure 18 :Graphe de la vitesse Segment C (les amendiers vers Cité djamel)

Analyse de l'evolution de vitesse : Ce graphe présente des fluctuations de vitesse significatives, suggérant un trajet urbain typique avec des zones de fluidité et des points de congestion. Les couleurs des points (vert, orange, rouge) indiquent des plages de vitesse comme celles utilisées précédemment.



Figure 19 : evolution de vitesse dans le Segment C

- **Phase Initiale (environ 10 à 40 secondes) : Vitesse Modérée et Légère Baisse (Vert, puis Orange)**
    - Au début du segment, la vitesse est relativement stable, autour de 55 km/h, avec de légères variations. Les points sont verts, indiquant un trafic fluide.
    - À partir d'environ 30 secondes, on observe une légère décélération progressive, avec la vitesse qui descend jusqu'à environ 45 km/h, puis à 35 km/h vers 40 secondes. Les points passent du vert à l'orange, signalant un ralentissement.
- **Phase de Reprise (environ 40 à 60 secondes) : Accélération (Orange, puis Vert)**
    - Après la baisse initiale, la vitesse remonte progressivement à partir de 40 secondes, passant d'environ 35 km/h à environ 65 km/h vers 60 secondes. Les points changent de l'orange au vert, indiquant une amélioration de la fluidité.
- **Phase de Stabilité Relative (environ 60 à 100 secondes) : Vitesse Fluide avec Fluctuations (Vert)**
    - Pendant cette période, la vitesse se maintient à un niveau élevé, principalement entre 55 et 65 km/h. Les points sont verts, confirmant une circulation fluide.

- Il y a des fluctuations, avec une légère baisse de vitesse entre 70 et 80 secondes (autour de 58-60 km/h) et une autre plus prononcée vers 90-100 secondes, où la vitesse descend à environ 45 km/h.

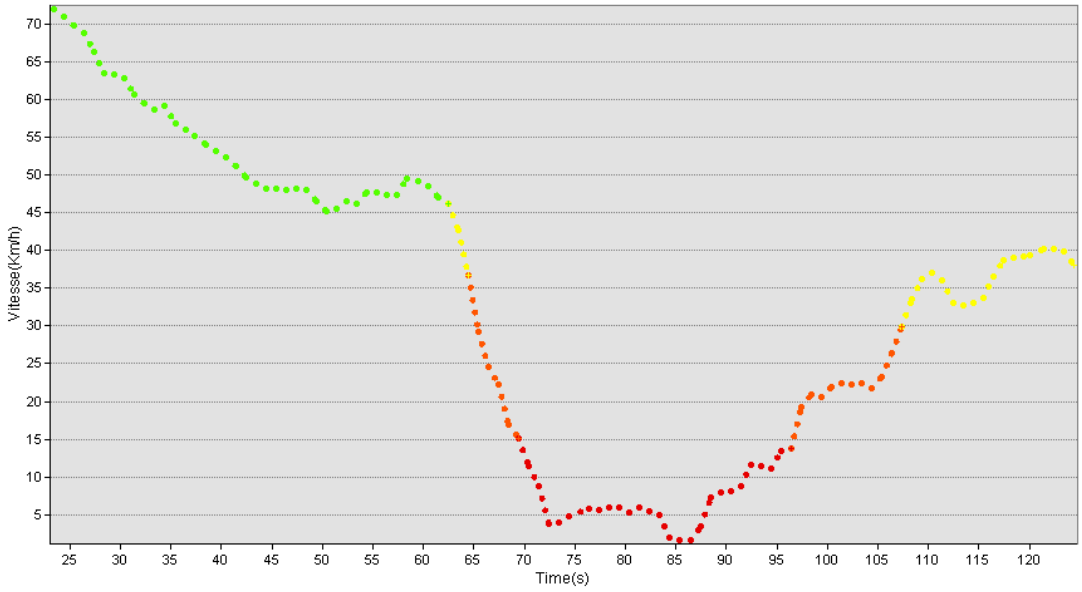
- **Phase de Congestion Sévère (environ 100 à 120 secondes) : Ralentissement Brutal et Arrêt (Orange, puis Rouge)**
  - À partir de 100 secondes, la vitesse chute de manière très significative et rapide. Elle passe de près de 50 km/h à des valeurs extrêmement basses, oscillant entre 0 et 10 km/h, surtout entre 110 et 120 secondes.
  - Les points deviennent oranges, puis majoritairement rouges, indiquant une zone de forte congestion, un embouteillage majeur, ou un arrêt prolongé (par exemple, à un feu rouge long, une intersection encombrée, ou un obstacle sur la route). C'est le point le plus bas de vitesse sur tout le segment.

- **Phase de Reprise Lente (environ 120 à 140 secondes) : Accélération Progressive et Ralentissement Secondaire (Rouge, puis Orange)**
  - Après le point de congestion extrême, la vitesse commence à remonter lentement à partir de 120 secondes, atteignant environ 30 km/h vers 125 secondes (points oranges).
  - Cependant, il y a une nouvelle baisse de vitesse autour de 130-135 secondes, où elle redescend à environ 15-20 km/h (points oranges), indiquant une reprise difficile ou un autre petit ralentissement.

- **Phase d'Accélération Forte (environ 140 à 195 secondes) : Retour à la Fluidité (Orange, puis Vert)**
  - À partir de 140 secondes, on observe une forte et continue accélération. La vitesse augmente de manière significative, passant d'environ 15 km/h à plus de 80 km/h à la fin du graphe.
  - Les points passent de l'orange au vert, signalant une transition vers un trafic très fluide et des vitesses élevées, probablement sur une voie rapide ou une section dégagée de la route.

- **Interprétation Générale :**
  Le segment C ("Les Amandiers vers Cité Djamel") est caractérisé par une dynamique de trafic variable, avec une période initiale relativement fluide, suivie d'une très forte congestion vers le milieu du trajet (autour de 100-120 secondes). Après cette zone critique, le trafic reprend et redevient très fluide.

3.4.2.5 Analyse du segment D :



Graphe de

figure 20 :l'evolution de vitesse Segment D(Cité djamel vers Castors)

- **Analyse du graphe** :Ce segment est l'inverse du Segment C (Les Amandiers vers Cité Djamel) et se dirige vers "Les Castors" qui est une zone résidentielle importante visible sur la carte.



-

Figure21 : evolution de vitesse dans le Segment D

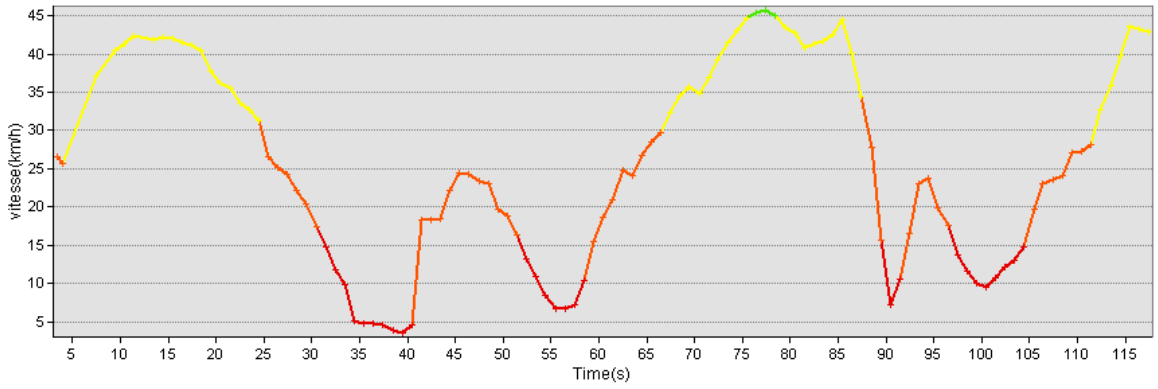
Voici une analyse détaillée des phases de vitesse :

3.4.2.6 Phases de Vitesse :

- **Phase Initiale (environ 25 à 65 secondes) : Vitesse Élevée et Légère Décélération (Vert, puis Jaune)**
    - Au début du trajet (entre 25 et environ 40 secondes), la vitesse est élevée et relativement stable, autour de 60-70 km/h. Les points sont verts, ce qui indique une circulation fluide.
    - À partir de 40 secondes, une légère décélération progressive se produit, ramenant la vitesse à environ 45-50 km/h vers 50-55 secondes. Les points restent verts, mais la courbe indique un ralentissement graduel.
    - Entre 55 et 65 secondes, la vitesse diminue plus nettement, tombant d'environ 50 km/h à 45 km/h, puis à 35-40 km/h. Les points virent au jaune, signalant un ralentissement plus prononcé mais pas encore une congestion sévère.
- **Phase de Décélération Forte et Congestion (environ 65 à 85 secondes) : Chute Abrupte et Trafic Très Lent (Orange, puis Rouge)**
    - À partir de 65 secondes, la vitesse chute de manière très significative, passant de 35-40 km/h à des valeurs extrêmement basses, atteignant presque 0 km/h entre 80 et 85 secondes.
    - Les points deviennent oranges, puis majoritairement rouges, ce qui indique une zone de forte congestion, un arrêt prolongé ou un embouteillage majeur. Ce point de blocage est très similaire à celui observé sur le Segment C, renforçant l'hypothèse d'une intersection ou d'un rond-point majeur. Sur la carte, il y a un "rond point" marqué par les OBJECTID 2719 à 2722 dans le fichier Export_Output_13.csv, avec une longueur de 0, ce qui correspond à des points d'intérêt où le trafic peut s'arrêter.
- **Phase de Reprise Lente et Accélération (environ 85 à 125 secondes) : Amélioration Progressive (Rouge, Orange, puis Jaune)**
    - Après le creux de vitesse, la circulation commence à reprendre très lentement à partir de 85 secondes. La vitesse remonte progressivement, passant d'environ 5 km/h à 15-20 km/h (points rouges et oranges).
    - Au-delà de 95 secondes, l'accélération devient plus marquée, et la vitesse continue d'augmenter pour atteindre environ 30-35 km/h vers 110 secondes, puis autour de 40 km/h à la fin du graphe (125 secondes). Les points évoluent de l'orange au jaune, indiquant une amélioration continue de la fluidité du trafic.
- **Interprétation Générale :**
  Le Segment D (Cité Djamel vers Castors) est caractérisé par un schéma de trafic qui commence de manière fluide, rencontre un point de congestion très sévère au milieu du trajet, puis retrouve une fluidité progressive vers la fin.

La forte congestion observée entre 65 et 85 secondes est très similaire en intensité et en durée à celle du Segment C, suggérant qu'il s'agit du même point de congestion, comme le rond-point visible sur la carte où plusieurs axes convergent, notamment "Vers Castors" et "Vers Cité Djamel".

3.4.2.7 Analyse du segment E :



variation de vitesse

26,604	25,668	37,152	40,464	41,292	42,372	41,832	42,12	42,084	41,436	41,112	40,392
37,728	36,216	35,46	33,552	32,688	31,392	26,496	25,2	24,336	22,176	20,412	17,46
14,76	11,844	9,864	5,112	4,824	4,752	4,536	3,96	3,564	4,68	18,252	18,324
18,432	22,248	24,48	24,336	23,4	23,04	19,692	18,792	16,452	13,212	11,016	8,496
6,732	6,66	7,308	10,44	15,444	18,684	20,952	24,876	24,084	26,748	28,584	29,772
32,364	34,452	35,748	34,776	36,936	39,168	41,544	43,02	44,604	45,36	45,72	45,036
43,38	42,768	40,788	41,328	41,724	42,48	44,46	40,032	34,56	27,792	15,66	7,2
10,548	16,632	23,112	23,76	19,98	17,568	13,788	11,628	10,008	9,54	10,728	12,132
12,996	14,868	19,692	23,04	23,508	24,192	27,144	27,288	28,224	32,76	35,928	39,816
43,56	43,2	42,984									

Figure22 : Graphe de la vitesse segment E(sortie elberki vers castors)

- Analyse du graphe :
  Le graphique montre un profil de vitesse très variable, caractérisé par de fréquentes accélérations et décélérations. C'est un comportement typique observé dans des conditions de conduite urbaines ou encombrées.



Figure 22 : evolution de vitesse dans le Segment E

- **Phases Clés de la Vitesse :**
  - **Phase Initiale (0-30s) :** La vitesse débute autour de 25 km/h, monte à plus de 40 km/h, puis diminue progressivement jusqu'à environ 5 km/h.
  - **Période de Basse Vitesse (30-40s) :** Le véhicule maintient une très faible vitesse, autour de 5 km/h, pendant environ 10 secondes. Cela pourrait indiquer un arrêt, un trafic dense ou un virage très serré.
  - **Première Accélération (40-50s) :** La vitesse augmente brusquement de 5 km/h à près de 25 km/h.
  - **Fluctuation (50-70s) :** La vitesse oscille entre 5 km/h et 30 km/h, avec une tendance générale à l'augmentation.
  - **Pic de Vitesse (70-80s) :** Le véhicule atteint sa vitesse maximale, dépassant les 40 km/h, avec un pic juste avant 80 secondes.
  - **Deuxième Décélération (80-90s) :** Une chute rapide de la vitesse, passant de plus de 40 km/h à environ 5 km/h.
  - **Deuxième Période de Basse Vitesse (90-95s) :** Une autre période de très faible vitesse, similaire à l'intervalle de 30-40 secondes.
  - **Accélération Finale (95-115s) :** La vitesse augmente progressivement à nouveau, atteignant environ 30 km/h à la fin de la période observée.
  - **Code Couleur :** Le graphique utilise différentes couleurs (vert, jaune, orange, rouge) pour différents segments de la courbe de vitesse. Bien qu'il n'y ait pas de légende explicite, ces couleurs représentent généralement des plages de vitesse ou des niveaux d'accélération/décélération. Le

rouge indique souvent une faible vitesse ou un freinage important, tandis que le vert suggère une vitesse élevée ou une circulation fluide.

Le rond-point El Bahia à Oran connaît plusieurs problèmes majeurs qui affectent la sécurité et la fluidité du trafic :Ce rond-point est un point de congestion fréquent, notamment en raison du trafic intense de véhicules légers et de poids lourds. La présence importante de camions, notamment liés au transport portuaire, contribue à des bouchons récurrents et à une circulation difficile.

Phases de Vitesse du Segment F:

Ce segment est l'inverse du Segment C (Les Amandiers vers Cité Djamel) et sa dynamique de vitesse est très révélatrice des conditions de circulation dans cette zone.

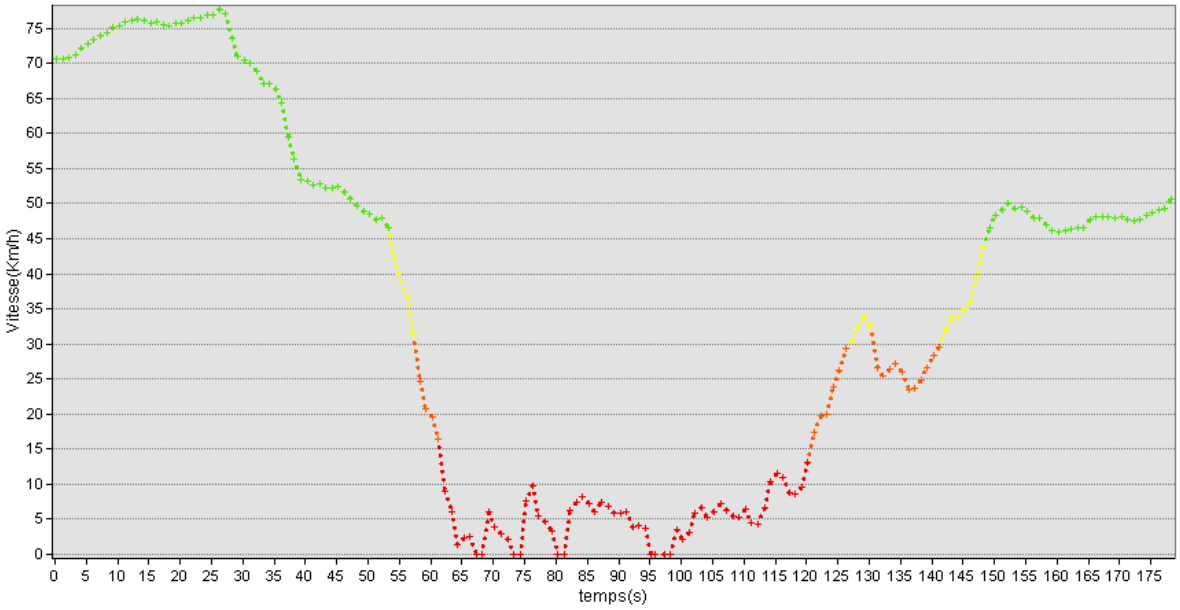


Figure 23 :Graphe de l'evolution de vitesse du segment F(Cité djamel vers les amendiers)

- **Analyse par phases :**
- **Phase Initiale (environ 0 à 35 secondes) : Vitesse Élevée et Fluide**
    - Le segment débute avec une vitesse élevée, aux alentours de 70 km/h, et même un léger pic à environ 75 km/h vers 20-25 secondes.
    - Les points sont verts, indiquant un trafic fluide et sans entrave significative au début du parcours.
- **Phase de Décélération Progressive (environ 35 à 55 secondes) : Ralentissement**
    - À partir d'environ 35 secondes, la vitesse commence à diminuer progressivement, passant de 70 km/h à environ 45-50 km/h vers 55 secondes.

- Les points restent verts, mais la courbe descend, signalant une préparation à un ralentissement, potentiellement en approchant une intersection ou un rond-point.

- **Phase de Décélération Forte et Congestion Sévère (environ 55 à 95 secondes) : Trafic Bloqué**
  - À partir de 55 secondes, la décélération s'intensifie. La vitesse chute rapidement d'environ 45 km/h à des valeurs très basses, oscillant entre 0 et 10 km/h.
  - Les points virent au jaune, puis à l'orange, et enfin au rouge, indiquant une forte congestion, des arrêts fréquents ou un blocage total du trafic. Cette période de très faible vitesse dure environ 40 secondes, ce qui est une durée significative pour un blocage.
  - La vitesse est minimale autour de 85-95 secondes, proche de 0 km/h.
- **Phase de Reprise Lente (environ 95 à 125 secondes) : Amélioration Progressive**
  - Après le point de congestion extrême, la vitesse commence à remonter très lentement, passant d'environ 0-5 km/h à environ 10-15 km/h.
  - Les points sont rouges, puis commencent à virer à l'orange, ce qui indique une reprise très difficile du trafic après le blocage.
- **Phase d'Accélération Modérée (environ 125 à 150 secondes) : Reprise plus Franche**
  - La vitesse continue d'augmenter, passant d'environ 15 km/h à un pic d'environ 30-35 km/h vers 130 secondes, puis subit une légère baisse avant de remonter à nouveau vers 30-35 km/h autour de 145 secondes.
  - Les points évoluent de l'orange au jaune, montrant une amélioration progressive des conditions de circulation.
- **Phase d'Accélération Forte et Fluidité Finale (environ 150 à 175 secondes) : Retour à la Normale**
  - À partir d'environ 150 secondes, la vitesse accélère de manière significative et continue, passant d'environ 30 km/h à plus de 50 km/h à la fin du graphe.
  - Les points redeviennent verts, signalant un retour à une circulation fluide, voire rapide, après avoir traversé la zone de congestion.



Figure 24 : evolution de vitesse dans le Segment F

Le Segment F confirme l'existence d'un point de congestion critique entre Cité Djamel et Les Amandiers. La nature bidirectionnelle de cette congestion (observée également sur le Segment C) suggère un problème structurel au niveau de l'intersection ou du rond-point concerné. Les vitesses chutent drastiquement, indiquant des arrêts fréquents et des délais importants pour les usagers empruntant cette voie.

3.4.2.8 Conclusion

L'analyse des différents segments met en évidence des points de congestion récurrents dans le réseau routier d'Oran. Le rond-point central, où plusieurs axes majeurs se croisent (comme la Pénétrante d'Oran, les routes vers Castors, les Amandiers, et Cité Djamel), est clairement identifié comme un goulot d'étranglement majeur, provoquant des arrêts quasi complets du trafic. Les autres segments (B et E) révèlent également des défis de fluidité du trafic avec des ralentissements significatifs. Cette information est cruciale pour la planification urbaine et la gestion du trafic, permettant d'identifier les zones prioritaires pour des interventions visant à améliorer la circulation, telles que l'optimisation des feux de signalisation, l'élargissement des voies, ou la mise en place de contournements.

Le rond-point est un carrefour stratégique qui dessert plusieurs directions majeures vers le centre-ville, le port, les zones industrielles et commerciales, ce qui engendre un trafic multidirectionnel dense et difficile à gérer.

Le rond-point El Bahia à Oran présente plusieurs avantages majeurs : il constitue un carrefour stratégique facilitant l’accès rapide aux différentes parties de la ville et de la wilaya, notamment vers le centre-ville, le

port, les zones industrielles et commerciales, grâce à son intégration dans le 4e boulevard périphérique et la voie express Est-Ouest ; il contribue ainsi à la fluidité du trafic en desservant efficacement les flux de véhicules légers et poids lourds, tout en étant un repère urbain identifiable grâce à sa fontaine centrale. Cependant, il souffre aussi d'inconvénients importants, tels que des embouteillages fréquents dus à l'intensité du trafic et à la circulation continue de poids lourds malgré certaines restrictions, un risque accru d'accidents graves, et l'absence d'infrastructures adaptées comme des trémies pour désengorger ce point névralgique. Par ailleurs, la complexité des directions desservies et le trafic multidirectionnel rendent sa gestion difficile, ce qui nécessite une surveillance policière constante pour réguler la circulation et éviter les blocages. Ainsi, si le rond-point El Bahia est un pivot essentiel pour la mobilité et le développement économique local, il reste un point noir à améliorer pour garantir sécurité et fluidité optimales.

3.5 Proposition d'un Projet futur : un deuxième passage supérieur

Pour traiter ce flux spécifique, sans replonger dans des travaux souterrains coûteux, les ingénieurs ont imaginé une bretelle aérienne légère :

- Origine : branche Cité Djamel, au nord-ouest du giratoire.
- Trajet : rampe courbe s'élevant à 6 % de pente, franchissant en courbe la chaussée du giratoire et rejoignant directement la RN 4 Est (figure n 07).



Figure 6 : Image qui montre la proposition d'améliorer le Traffic aux niveau du rond-point d'el Bahia

3.6 Pourquoi ce choix ?

- Coût modéré et empreinte foncière réduite (1 200 m²) par rapport à un second overpass complet.
- Impact minimal sur les réseaux enterrés, car la bretelle s'appuie sur des fondations localisées en bordure.
- Séparation nette du flux Cité Djamel → RN 4 Est, allégeant le giratoire de 20 % supplémentaires.

3.7 Bilan et perspectives

- Avant 2005 : giratoire saturé, files de 200 m, insécurité piétons.

- 2007–2024 : overpass pour RN 4 Est–Ouest, – 25 % de trafic de transit, mais saturation partielle maintenue.
- 2026 : ajout de la bretelle Cité Djamel → RN 4 Est, – 20 % de trafic local résiduel.
- Solution mixte : – 45 % de trafic évité sur le giratoire, – 30 % de temps d'attente, – 15 % de consommation carburant.

À terme, ce schéma assure une circulation avec une meilleure fluidité et une meilleure sécurité

4 De la collecte des données vers la visualisation des données sur Arcgis

4.1 L'application phyphox :

Phyphox (abréviation de PHYsical Phone Expérimentes, soit Expériences de Physique avec Téléphone) est une application mobile gratuite et open-source qui transforme votre smartphone en un laboratoire scientifique portable. Développée par l'Université RWTH d'Aix-la-Chapelle en Allemagne, elle utilise les divers capteurs intégrés de votre téléphone pour réaliser une grande variété d'expériences de physique et de mesures de données.

-Pour assurer une couverture temporelle large et représentative, la collecte des données via Phyphox a été confiée à un groupe de volontaires, comprenant des amis et collègues disposant de véhicules. Ces participants ont été mobilisés à différentes périodes de la semaine (jours ouvrables, week-ends, jours fériés) et à divers moments de la journée, afin d'enregistrer un maximum de trajets dans des conditions variées.

Cette démarche participative a permis de :

Multiplier les mesures, renforçant la fiabilité statistique de l'analyse ;

Couvrir l'ensemble des plages horaires pertinentes, y compris les heures de pointe, les périodes creuses et les trajets en soirée.

-Nous avons téléchargé plus de soixante fichiers

4.1.1 Comment fonctionne Phyphox ?

Les smartphones modernes sont dotés de capteurs sophistiqués, souvent conçus pour des fonctions quotidiennes, mais capables de bien plus. Phyphox exploite ces capteurs, vous permettant d'accéder à leurs données brutes ou de les utiliser dans des expériences prédéfinies.

Voici un aperçu de son fonctionnement :

- **Accès aux capteurs :**

  Phyphox peut accéder à divers capteurs couramment présents dans les smartphones, notamment :

  - Accéléromètre : Mesure l'accélération et peut être utilisé pour des expériences sur la chute libre, les vibrations et l'accélération centripète.
  - Gyroscope : Mesure la vitesse angulaire et aide à comprendre le mouvement de rotation.
  - Magnétomètre : Détecte les champs magnétiques, utile pour étudier le magnétisme ou même identifier les fréquences de courant alternatif.
  - Baromètre (capteur de pression) : Mesure la pression atmosphérique, qui peut être utilisée pour déterminer les changements d'altitude (par exemple, dans un ascenseur).
  - Microphone : Enregistre le son, permettant des expériences sur l'intensité sonore, l'analyse de fréquence (par exemple, l'effet Doppler, l'accord des instruments) et la vitesse du son.
  - Capteur de lumière : Mesure l'intensité lumineuse.
  - GPS : Fournit des données de localisation pour les expériences impliquant la vitesse et la position.
  - Capteur de proximité : Détecte la proximité d'un objet par rapport au téléphone.

- **Expériences prédéfinies :**

  L'application propose une variété d'expériences prêtes à l'emploi pour différents sujets de physique. Vous sélectionnez simplement une expérience, appuyez sur lecture, et l'application vous guide à travers la mesure et effectue souvent une analyse en temps réel.

- **Exportation des données brutes :**

  Pour les utilisateurs plus avancés ou ceux qui ont besoin d'analyser les données en externe, Phyphox permet d'exporter les données brutes des capteurs dans divers formats courants (par exemple, CSV) pour une utilisation avec des tableurs ou d'autres outils d'analyse.

- **Expériences personnalisées :** Une fonctionnalité puissante de Phyphox est la possibilité de créer vos propres expériences personnalisées à l'aide d'un éditeur web sur leur site (phyphox.org). Cela permet aux utilisateurs de définir des configurations de capteurs spécifiques, des étapes d'analyse de données et des visualisations, qui peuvent ensuite être facilement partagées via des codes QR.

- **Contrôle à distance :** Vous pouvez même contrôler des expériences à distance depuis un navigateur web sur un ordinateur connecté au même réseau, ce qui est très utile pour les expériences où le téléphone pourrait être dans une position inaccessible.

4.2 Exportation de données depuis Phyphox vers Excel

Phyphox est conçu pour faciliter l'exportation de vos mesures scientifiques. Voici comment procéder pour exporter vos données vers Excel depuis l'application :

a) Réalisez votre expérience et collectez les données dans l'application Phyphox.

b) Une fois la mesure terminée (ou pendant qu'elle est en cours), recherchez l'icône de menu (souvent trois points verticaux ou un bouton "Export Data") dans le coin supérieur droit de l'écran de l'expérience.

c) Dans le menu qui apparaît, choisissez l'option "Export data" ou "Exporter les données".

d) Phyphox vous proposera plusieurs formats d'exportation. Sélectionnez "Excel" (le format .xls ou .xlsx) .

e) On peut les exporter sous format .CSV

Time (s)	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Altitude WGS84 (m)	Speed (m/s)	Direction (°)	Distance (km)	Horizontal Accuracy (m)	Vertical Accuracy (m)	Satellites
7.088073688	35.6844925253477	-0.611131703349908	82.0193050318651	132.529348458644	14.764685630 7983	128.61653137207	0.011853228251 2827	48	66.551979064 9414	8
8.099123572	35.6844210391989	-0.611034348158939	91.318500741059	141.82873189 8208	13.347685813 9038	129.22872924 8047	0.023190942530 8731	24	40.804920196 5332	8
9.101436956	35.6843647738948	-0.610929659235831	95.0132212905796	145.52359977 9634	11.445997238 1592	129.88128662 1094	0.033487184129 8328	24	31.233846664 4287	14
10.119308186	35.6842991305787	-0.610849255646254	98.8101597289269	149.32071073 3888	9.4873390197 7539	130.28910827 6367	0.044126590954 0148	16	25.967422485 3516	18
11.235838877	35.6842377992691	-0.610758837935581	99.2932854077531	149.80399736 1953	6.7436752319 3359	138.63696289 0625	0.050055149826 6235	12	22.377668380 7373	19
12.293027069	35.6841958698611	-0.610718291779588	95.0103212112127	145.52114351 9744	5.7283630371 0937	147.58549499 5117	0.055421264591 8991	8	16.935695648 1934	24

13.316771414	35.6841519411984	-0.610693694274732	91.3122376584251	141.823175853477	4.271986484527759	163.027496337891	0.058931666619544472	8	14.4297952651978	27
14.333856067	35.6841211000321	-0.610685391980825	90.7515083303318	141.262528022067	3.679373264312741	170.386276245117	0.062426375076587	8	11.9143581390381	33
15.319801066	35.6840903238357	-0.610693235431413	88.8928365374277	139.40393779903	3.635655164718631	180.276016235352	0.066405681072 2185	6	10.1126050949097	34
16.320264489	35.6840550423 4	-0.610700612931 49	87.7205115507019	138.231706298738	4.408662796020 51	181.293685913086	0.071312895307 0036	6	9.11549186706543	32
17.331809834	35.6840111266203	-0.610705980964582	87.1236349515353	137.634946006531	5.366310119628 91	182.787384033203	0.077089544104 6338	6	8.41050338745117	34
18.320306295	35.6839594855678	-0.610712953231222	86.7999328550993	137.311380687141	6.246903419494 63	183.307418823242	0.083816100242 766	6	7.84006071090698	34
19.332387294	35.6838991335239	-0.610718044114 59	86.7588316629484	137.27043929766	6.770824432373 05	179.811828613281	0.091052838873 4786	4	7.38706350326538	34
20.326741794	35.6838340569495	-0.610719032341669	86.5754270065832	137.087206885362	6.742197036743 16	174.690948486328	0.098052849554 6831	4	7.03795862197876	34
21.319595331	35.6837713972644	-0.610711564339974	86.4303729096314	136.942318506825	6.665293693542 48	167.170532226562	0.104876158509 705	4	6.72609329223633	35
22.315649946	35.6837116823 13	-0.610694172555216	86.8762132755216	137.388316645654	6.991040706634 52	161.757080078125	0.111942470600 811	4	6.44344425201416	33
23.321184138	35.6836514876429	-0.610669088306946	86.6517150722566	137.163977366625	6.826857566833 5	154.773925781 25	0.119529825136 44	6	6.45370054244995	34
24.312607214	35.6835912846117	-0.61062	86.6502219825143	137.16264300076	7.119004249572 75	151.301895141602	0.127975732448 855	6	6.2819766998291	26

		9546180196								
25.333691482	35.6835297626054	-0.610574703629176	86.4820270985125	136.994610095223	8.20887565612793	143.984222412109	0.137522021405716	6	6.0950608253479	26
26.330205943	35.6834689813805	-0.610500057367916	86.6880530145563	137.200795723152	9.18073272705078	134.993743896484	0.147140409709238	6	5.9433131217 9565	26
27.329729135	35.6834183660344	-0.610413698177098	87.1594245621019	137.672299896206	9.46964645385742	125.546607971191	0.156578922435577	4	5.7996506690979	25
28.317093673	35.6833682836293	-0.610329323851669	87.2669270212712	137.779933598617	9.31525802612305	110.476715087891	0.166017038184264	4	5.9254164695 7397	21
29.329512787	35.6833388012737	-0.610231331947299	87.7135821019075	138.226665193932	9.30414104467167	101.321083068848	0.175592352399845	6	6.1742324829 1016	18
30.315193363	35.6833254249867	-0.610126601514237	86.5756467763284	137.0887636546	9.70719623565674	96.3208618164062	0.185722262750086	8	6.3891582489 0137	19
31.327521401	35.6833166853 01	-0.610014961115452	86.1709798091503	136.6841180916307	11.308235168457	86.8513031005859	0.198663221676 71	8	6.4859395027 1606	26
32.315137747	35.6833241251045	-0.609871972738454	86.6711017105117	137.1842181068855	11.926837921 1426	86.700126647 9492	0.210156173836806	8	6.3135614395 1416	28
33.329608861	35.6833316741777	-0.609745063379 19	86.4478434560418	136.960937920624	11.287946701 0498	86.8639984130859	0.220844198901345	6	6.0710897445 6787	31
34.313682053	35.6833273359275	-0.609626846841078	86.6979224299593	137.211026554078	10.761142730 7129	94.254280090332	0.232179927921852	6	5.8888282775 8789	26
35.332112036	35.6833037239 17	-0.609504751295248	86.5879906557199	137.101155382018	10.708895683 2886	104.33667755127	0.243286007373 28	6	5.7497801780 7007	25

36.328028628	35.683265380 5297	-0.609391207673089	86.530016643113	137.043281083875	10.922463417 0532	113.025344848633	0.254588214458544	6	5.661051750 18311	21
37.336249051	35.683226142 4431	-0.609275770715296	86.537192374 2444	137.050558865372	11.471197128 2959	121.526206970215	NaN	6	5.789304733 27637	27

Table 5 : données de tracé GPS par l'application phyphox

L'analyse du tableau de tracé gps :

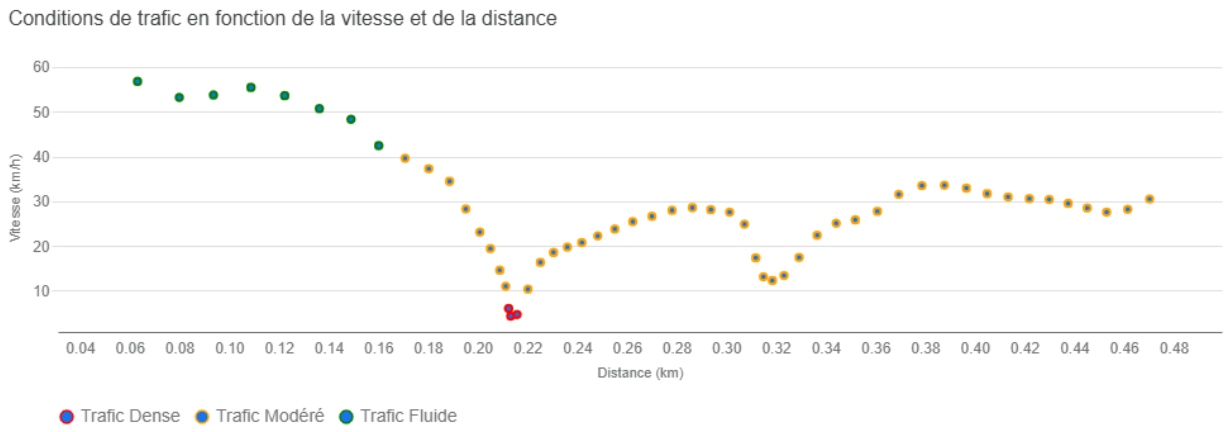


Figure 25 : graphe du trafic routier- la vitesse en fonction de la distance parcoure

Conditions de trafic en fonction de la vitesse et de la distance (Traffic Conditions vs. Speed and Distance): Ce graphique à points représente la vitesse en fonction de la distance, avec des points colorés pour indiquer les conditions de trafic. Les conditions de trafic sont définies comme suit :

Phase 1 : Trafic Fluide (Points Verts)

- **Distance :** De 0,06 km à environ 0,16 km.
- **Vitesse :** Élevée et relativement constante, se situant entre **50 km/h et 58 km/h**.
- **Interprétation :** Le trajet commence dans des conditions optimales. La circulation est libre, permettant de maintenir une vitesse élevée et stable.

Phase 2 : Décélération Brusque (Transition vers le Trafic Modéré)

- **Distance :** De 0,16 km à 0,20 km.
- **Vitesse :** Chute spectaculaire de la vitesse, passant de plus de 40 km/h à environ **15 km/h**.

- **Interprétation :** Le véhicule aborde une zone de congestion. Cette forte décélération est le signe avant-coureur d'un ralentissement majeur ou d'un embouteillage. Les points deviennent oranges, indiquant un "Trafic Modéré", qui ici correspond à une phase de transition.

Phase 3 : Trafic Dense (Points Rouges)

- **Distance :** Très localisée, autour de **0,21 km**.
- **Vitesse :** C'est le point le plus bas du graphique. La vitesse s'effondre pour atteindre **moins de 10 km/h**.
- **Interprétation :** C'est le cœur du problème de circulation. Le véhicule est quasiment à l'arrêt ou dans un trafic "stop-and-go" (arrêts et redémarrages successifs). Cette condition est logiquement qualifiée de "Trafic Dense".

Phase 4 : Reprise et Fluctuation (Trafic Modéré)

- **Distance :** De 0,22 km à la fin du graphique (0,48 km).
- **Vitesse :** Cette phase est plus complexe et entièrement classée comme "Trafic Modéré".
    - **Reprise initiale (0,22 km à 0,30 km) :** La vitesse remonte progressivement, passant de son point le plus bas à environ **30 km/h**. Le véhicule sort de la zone de congestion dense.
    - **Second ralentissement (0,30 km à 0,32 km) :** On observe une nouvelle baisse de vitesse, de 30 km/h à environ **12 km/h**. Cela pourrait être un "effet d'accordéon" ou une onde de choc du trafic, courant après un embouteillage.
    - **Stabilisation relative (0,32 km à 0,48 km) :** La vitesse remonte à nouveau et se stabilise dans une fourchette de **28 à 35 km/h**. Elle reste variable mais ne retourne pas à l'état de "Trafic Fluide".

3. Synthèse et Conclusions

- **Corrélation claire :** Le graphique établit une corrélation très nette entre la vitesse mesurée et la classification du trafic (fluide, modéré, dense).
- **Visualisation d'un événement :** Il ne s'agit pas de données aléatoires, mais de la visualisation d'un événement de trafic spécifique : l'approche, l'entrée et la sortie d'une zone d'embouteillage localisée autour de 0,21 km.
- **Définition du "Trafic Modéré" :** Fait intéressant, le "Trafic Modéré" (orange) ne représente pas une vitesse stable intermédiaire, mais plutôt les **zones de transition** : la décélération avant le point de blocage et l'accélération/fluctuation après celui-ci. C'est une représentation réaliste de la conduite dans un trafic qui n'est ni complètement fluide ni complètement bloqué.
- **Impact de la congestion :** Le graphique montre bien que même après avoir passé le point de "Trafic Dense", la circulation ne redevient pas immédiatement fluide. La vitesse reste modérée et instable sur une distance significative.

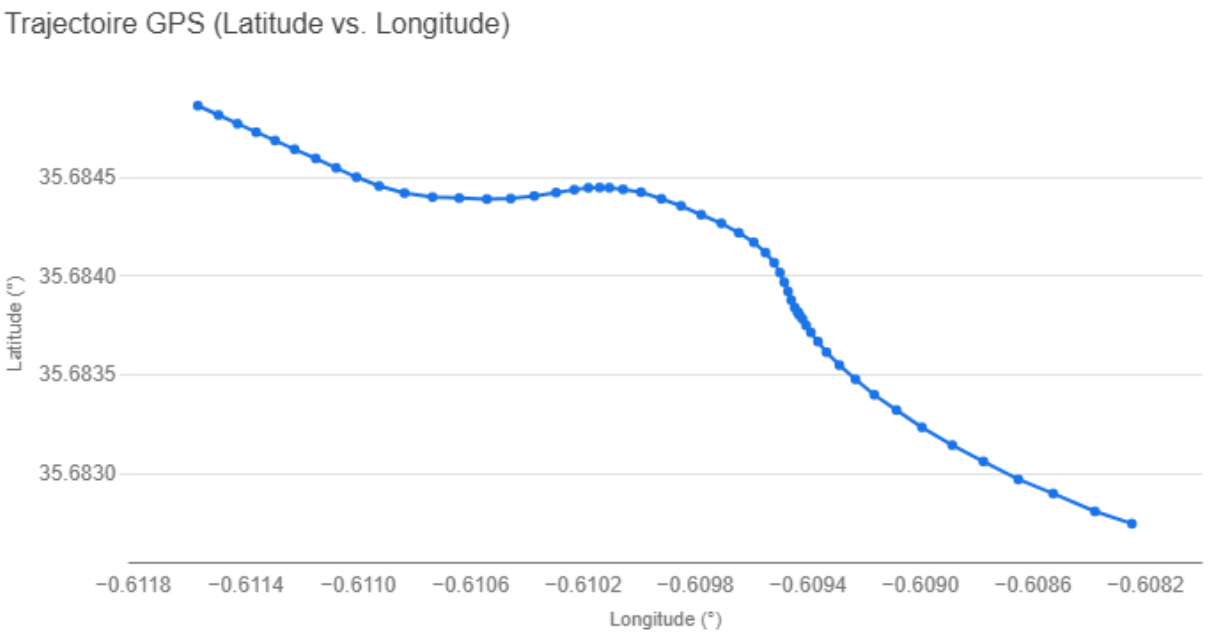


Figure 26 : Trajectoire GPS (Latitude vs. Longitude) (Latitude vs. Longitude)

Ce graphique linéaire avec points montre le chemin emprunté par le véhicule en traçant les coordonnées de latitude et de longitude.

4.3 Identification Géographique

Les coordonnées (environ 35.684° N, -0.610° W) correspondent très précisément à un point névralgique à l'entrée sud/sud-est d'Oran : **le grand rond-point de l'échangeur qui connecte la Route Nationale 4 (N4) à la Pénétrante d'Oran (Autoroute Est-Ouest A1)**.

4.3.1 Décomposition et Interprétation du Mouvement

En se basant sur la forme de la courbe, on peut décomposer la trajectoire en trois phases principales qui correspondent parfaitement à la traversée de ce rond-point :

Phase 1 : L'approche (partie supérieure gauche)

- **Description :** La trajectoire est une ligne quasi droite avec une pente négative. La latitude et la longitude diminuent de manière coordonnée.
- **Interprétation :** Le véhicule arrive du nord-ouest sur la **Route Nationale 4 (N4)**, en direction du grand rond-point. C'est une section de route droite avant d'arriver à l'échangeur.

Phase 2 : La Négociation du Rond-Point (la courbe centrale)

- **Description :** La courbe s'aplatit d'abord (la longitude continue de changer vers l'est mais la latitude reste quasi stable), puis elle plonge brusquement vers le sud (la latitude chute rapidement pour un faible changement de longitude).
- **Interprétation :** C'est la manœuvre caractéristique dans un rond-point.
    - Le véhicule entre dans le rond-point et suit sa courbure. La partie quasi-horizontale du graphique correspond au trajet sur le **côté nord/nord-est du rond-point**.
    - La "plongée" verticale correspond au moment où le véhicule prend sa sortie et se dirige franchement vers le sud/sud-est.

Phase 3 : La Sortie (partie inférieure droite)

- **Description :** La trajectoire redevient une ligne quasi droite, similaire à la première phase mais avec une orientation légèrement différente.
- **Interprétation :** Le véhicule a quitté le rond-point et s'est engagé sur la continuation de la **Route Nationale 4 (N4) en direction du sud-est**, vers des localités comme Hassi Bounif ou Sidi Chami.

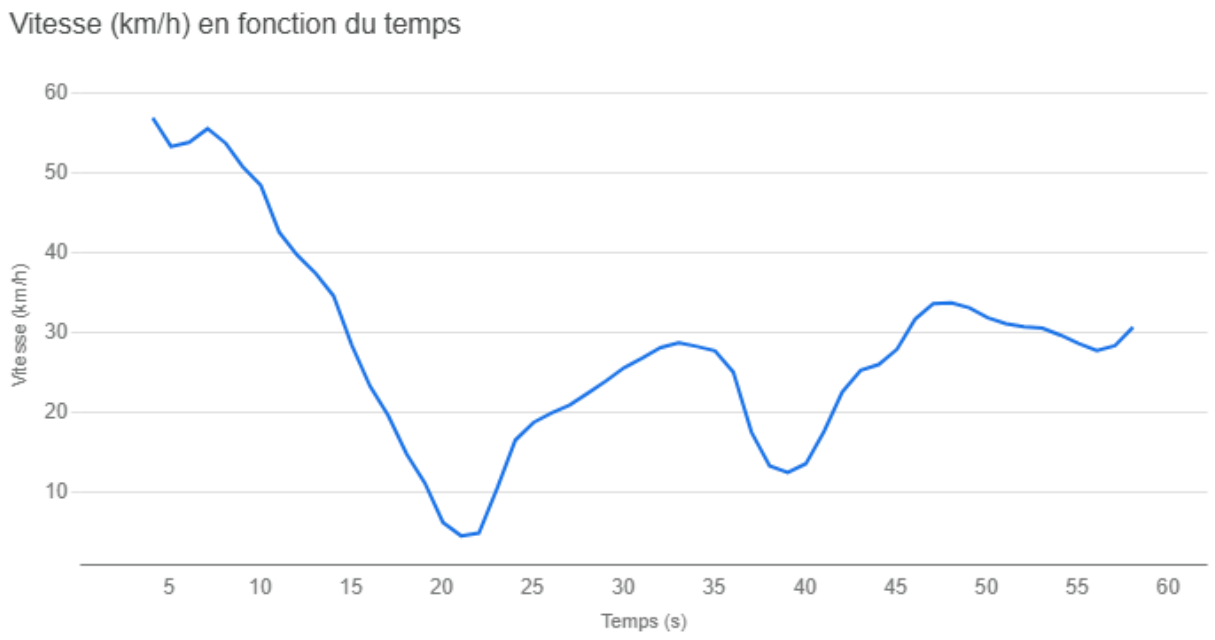


Figure 27 : Vitesse (km/h) en fonction du temps (Speed over Time)

Ce graphique linéaire montre comment la vitesse du véhicule (en km/h) a évolué au fil du temps.

On peut décomposer le mouvement en plusieurs phases distinctes :

1. **Phase 1 : Haute vitesse (de ~3s à 10s)**

- La mesure commence avec une vitesse déjà élevée. La vitesse maximale du graphique est atteinte très tôt, aux alentours de **4-5 secondes**, avec une valeur d'environ **57 km/h**.
- Entre 5 et 10 secondes, la vitesse fluctue légèrement mais reste élevée, au-dessus de 50 km/h.

2. **Phase 2 : Forte décélération (de 10s à 21s)**
   - À partir de la 10ème seconde, une décélération très marquée et continue s'amorce.
   - La vitesse chute de plus de 50 km/h en environ 11 secondes.
   - Le point le plus bas du graphique est atteint à la **21ème seconde**, où la vitesse est d'environ **4 km/h**, ce qui correspond à un quasi-arrêt.
3. **Phase 3 : Ré-accélération (de 21s à 33s)**
   - Immédiatement après ce minimum, le véhicule accélère à nouveau de manière assez constante.
   - Il atteint un pic local d'environ **29 km/h** vers la **33ème seconde**.
4. **Phase 4 : Seconde décélération (de 33s à 39s)**
   - Une nouvelle phase de freinage a lieu, plus rapide mais moins ample que la première.
   - La vitesse redescend pour atteindre un second creux d'environ **12 km/h** à la **39ème seconde**.
5. **Phase 5 : Nouvelle accélération et stabilisation (de 39s à 60s)**
   - Le véhicule accélère une fois de plus, atteignant un pic d'environ **34 km/h** vers la **48ème seconde**.
   - La fin de la période (de 48s à 60s) montre des fluctuations plus légères. La vitesse diminue légèrement avant de remonter pour finir à environ **30 km/h** à la 60ème seconde.

4.4 ArcGIS

ArcGIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau.

Les professionnels dans de nombreux secteurs utilisent ArcGIS dans un large éventail d'applications, incluant la planification et l'analyse, la gestion d'actifs, la sensibilisation opérationnelle, les opérations sur le terrain telles que l'inspection mobile et le déploiement d'urgence, les études de marché, la gestion des ressources, la logistique, l'éducation et la sensibilisation. En général, ces professionnels utilisent ArcGIS, car il les aide à :

- Résoudre des problèmes
- Prendre de meilleures décisions
- Planifier avec succès
- Faire un meilleur usage des ressources
- Anticiper et gérer le changement
- Gérer et exécuter des opérations plus efficacement
- Promouvoir la collaboration entre les équipes, les disciplines et les institutions
- Accroître la compréhension et la connaissance
- Communiquer plus efficacement
- Éduquer et motiver les autres

4.4.1 Que pouvez-vous faire avec ArcGIS ?

❖ ArcGIS vous permet de :

- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes
- Rassembler les informations géographiques
- Créer et gérer des bases de données géographiques
- Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale
- Créer des applications basées sur la carte
- Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation.

4.5 De Excel vers ArcMap :

Les fichiers Excel sont ajoutés à ArcMap comme les autres données, par l'intermédiaire de la boîte de dialogue Add Data (Ajouter des données). Lorsque vous sélectionnez un fichier Excel, vous devez choisir la table à ouvrir. Par exemple, si vous utilisez un classeur appelé Sales_Figures.xls contenant trois feuilles de calcul, Ventes, Mois et Année, chaque feuille représente une table distincte dans ArcGIS. Toutes les références de nom aux cellules ou plages définies dans Excel sont conservées dans ArcGIS.

Une feuille de calcul ouverte à partir d'ArcGIS apparaît sous la forme d'une table dont le nom se termine par le caractère dollar ($), ce qui n'est pas le cas d'une plage nommée. Pour les feuilles de calcul ou plages nommées dont le nom contient des espaces, le nom de la table est entouré de guillemets simples.

Une fois ajoutée à ArcMap, vous pouvez ouvrir la table à partir de la vue Source de la table des matières. Cependant, vous ne pouvez mettre à jour la table ni exporter des enregistrements au format Excel.

❖ L'exemple suivant explique comment un document de plusieurs feuilles est présenté dans Microsoft Excel et dans la boîte de dialogue Add Data (Ajouter des données) de ArcMap(figure n ??).

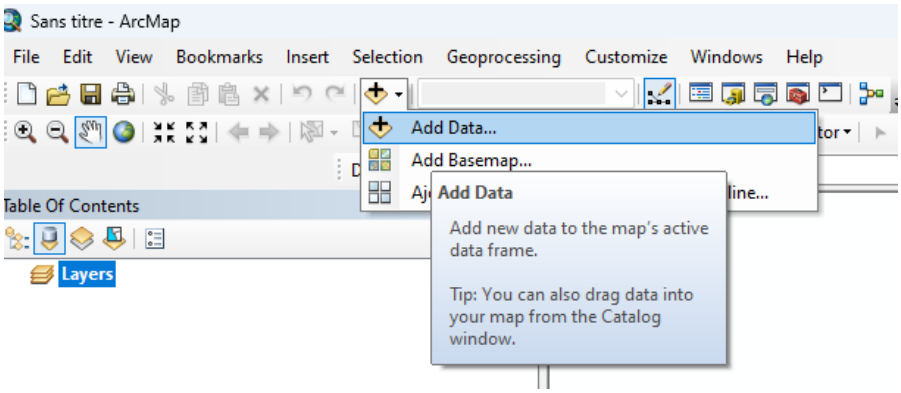


Figure 7 :interface ArcMap

- On choisit le fichier Excel qui contient les données qu'on veut les visualiser avec ArcGIS (figure 14) :

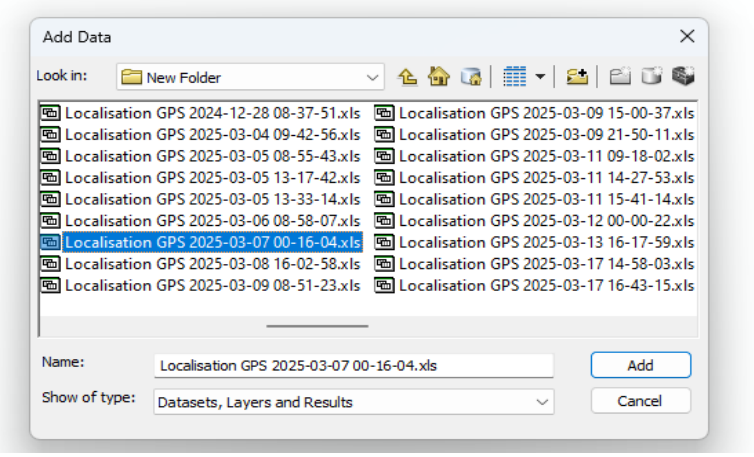


Figure 29 : tables de données GPS

- Apres le choix de la feuille Excel convenante on clique droit on choisit le tableau 'display XY data ' pour affecter les coordonnées de longitude et latitude (figure 15) :

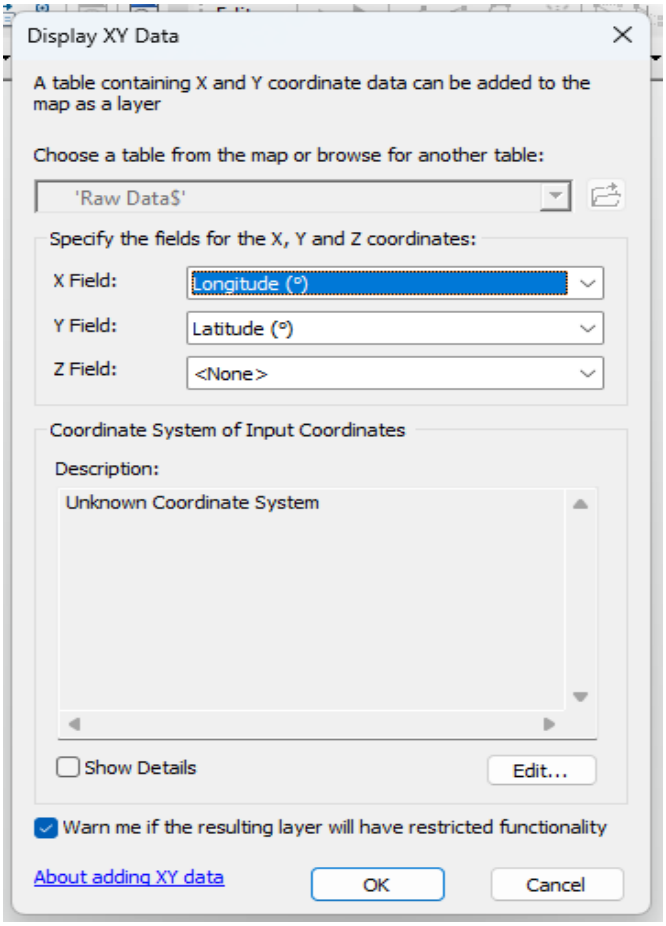


Figure 8 :fenêtre d'ArcGIS pour ajouter les coordonnées

❖ Puis ont converti les données en un fichier de forme et on obtient ce resultat (figure n 16) :

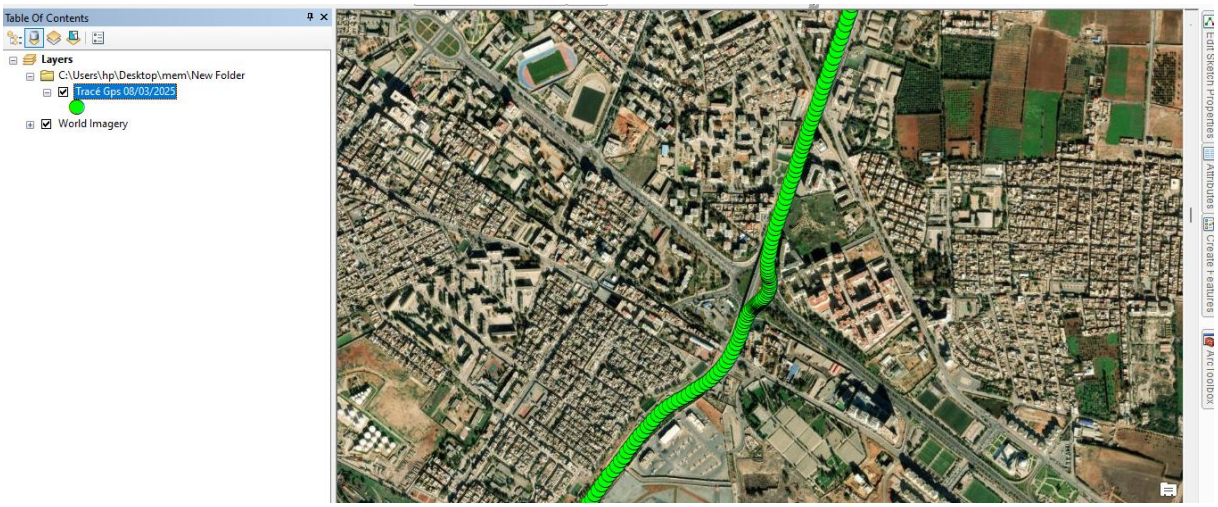


Figure 13 : fenêtre ArcMap du résultat du traitement

4.6 ModelBuilder

Est une application permettant de créer, mettre à jour et gérer des modèles. Les modèles sont des processus qui permettent de concaténer des séquences d'outils de géo traitement, en fournissant la sortie d'un outil à un autre outil. Model Builder peut également être comparé à un langage de programmation visuel de création de workflows (figure 17).

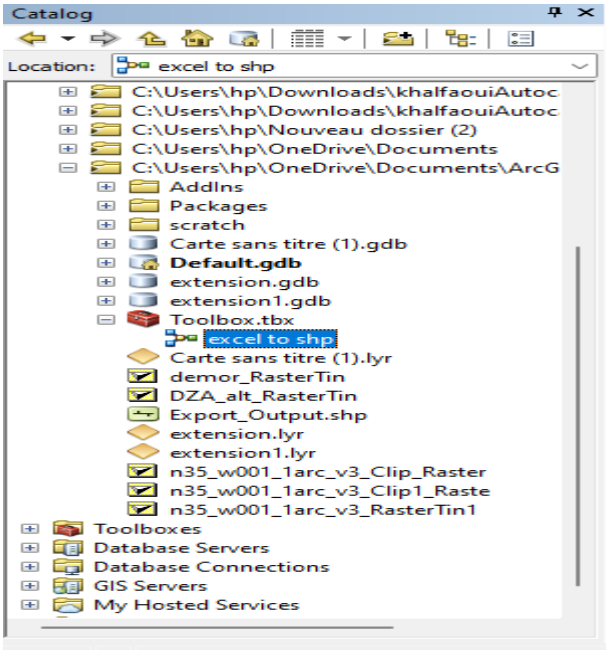


Figure 32 : ArcCatalog

- Notre model Builder a pour but l'ajout direct des données de tracé GPS et le convertir en fichier de forme (figure 18) :

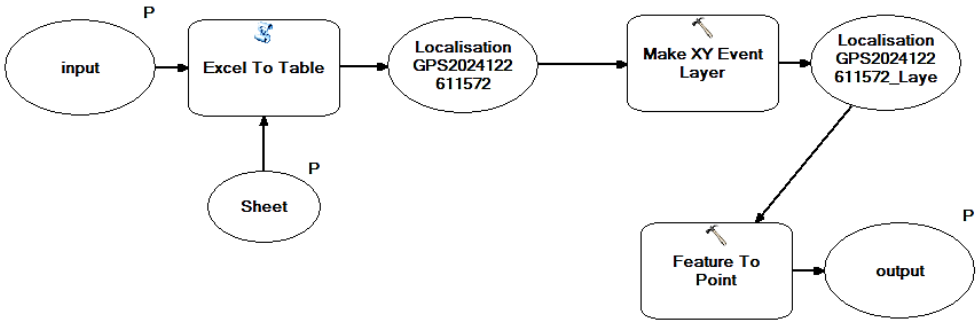


Figure 33 :l'architecture du model Builder

- Le model se résume en choisissant le fichier Excel en input puis le model fait le traitement des données puis on obtient notre fichier de forme en output
- En double cliquant sur le modèle une fenêtre pour ajouter le tableau apparaisse (figure 19) :

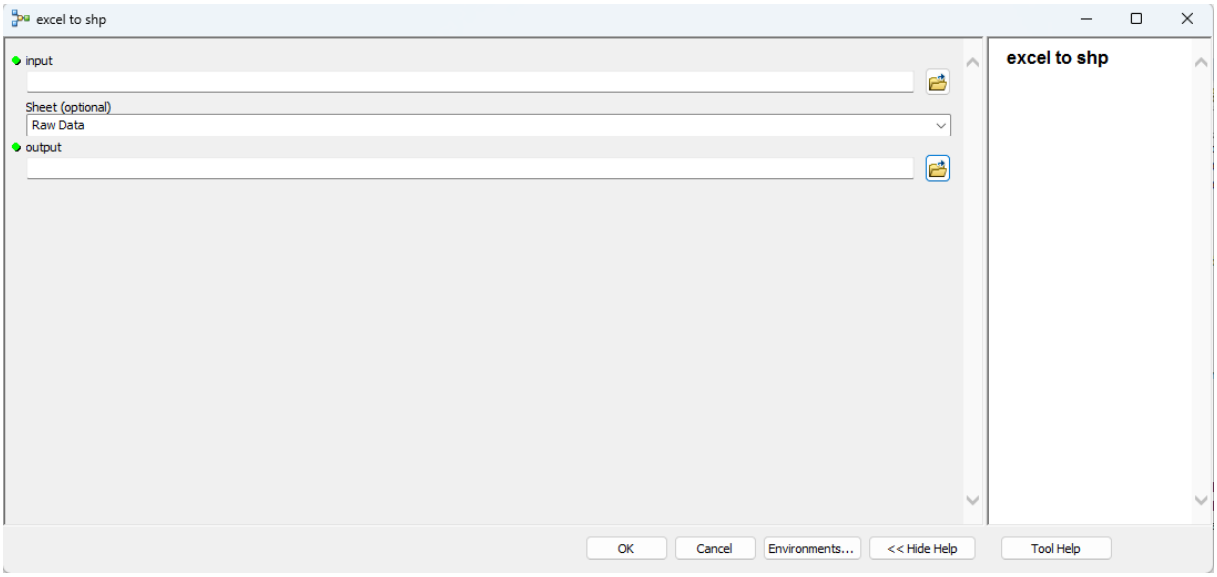


Figure 35 : fenêtre d'ajout du tableau GPS

- On choisit donc le tableau de données qu'on veut le visualiser et on choisit la cible là où on veut enregistre le fichier de forme (output) :

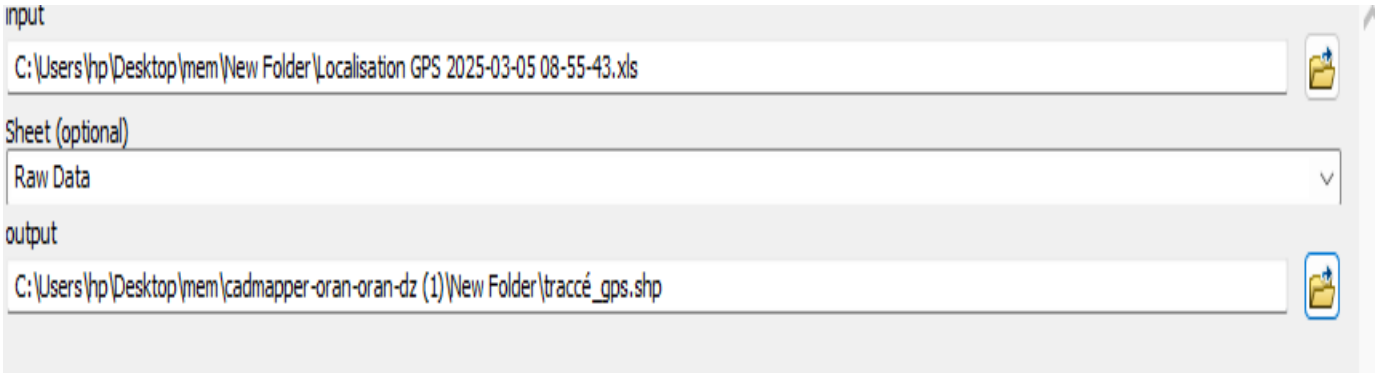


Figure 36 : Enregister

❖ Puis on attend qu'il fasse le traitement (figure 21) :

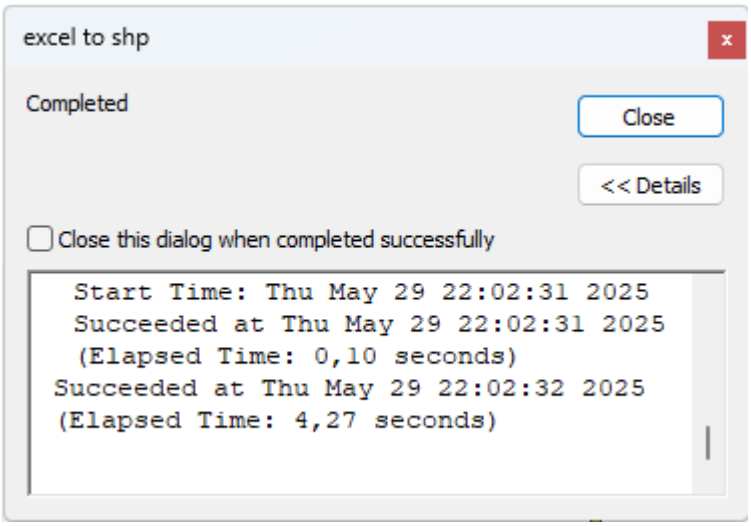


Figure 37 : fenêtre de la fin de traitement du model Builder

❖ Puis on visualise le résultat qui apparaisse dans l'interface Arma.

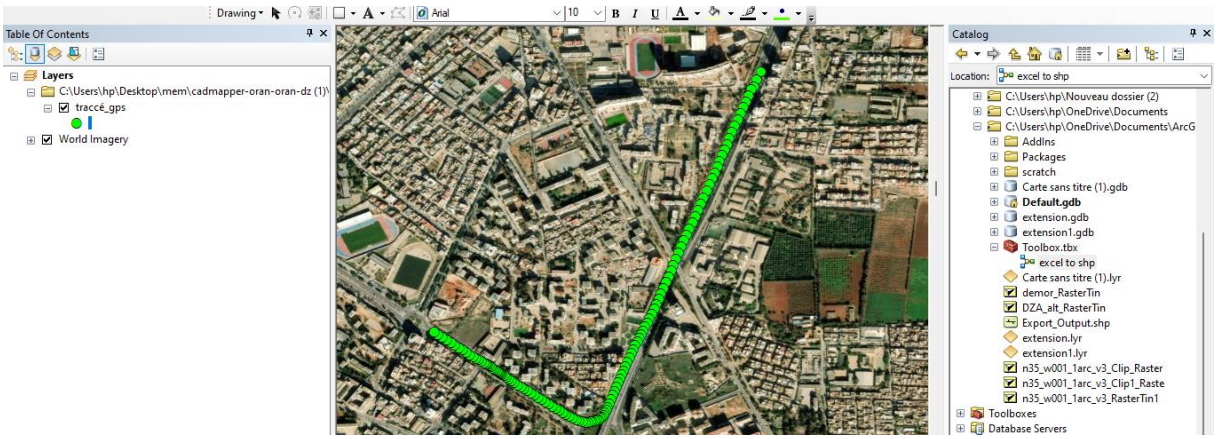


Figure 38: interface ArcMap qui montre le résultat de la jointure des données

5 Conclusion

Ce chapitre était consacré aux aspects d'implémentation et d'analyse des résultats obtenus par notre système. Suite à la présentation de la zone d'étude caractérisée par l'évolution de l'aménagement de son réseau routier durant les deux dernières décennies, les outils déployés pour la collecte, la structuration, le traitement et l'analyse spatio-temporelle du trafic routier ont été exposés. Notre étude a montré que, même avec un volume modéré d'échantillons des données GPS, l'efficacité de notre approche d'analyse du trafic routier par big data spatial et la concordance des résultats avec les études prévisionnelles sur terrain par les méthodes classiques.

6 L'application TimeTrackVisualizer :

L'application est un outil d'analyse interactive du flux de trafic GPS. Elle est conçue pour visualiser et analyser le comportement du trafic en temps réel, en se basant sur des données de vitesse.

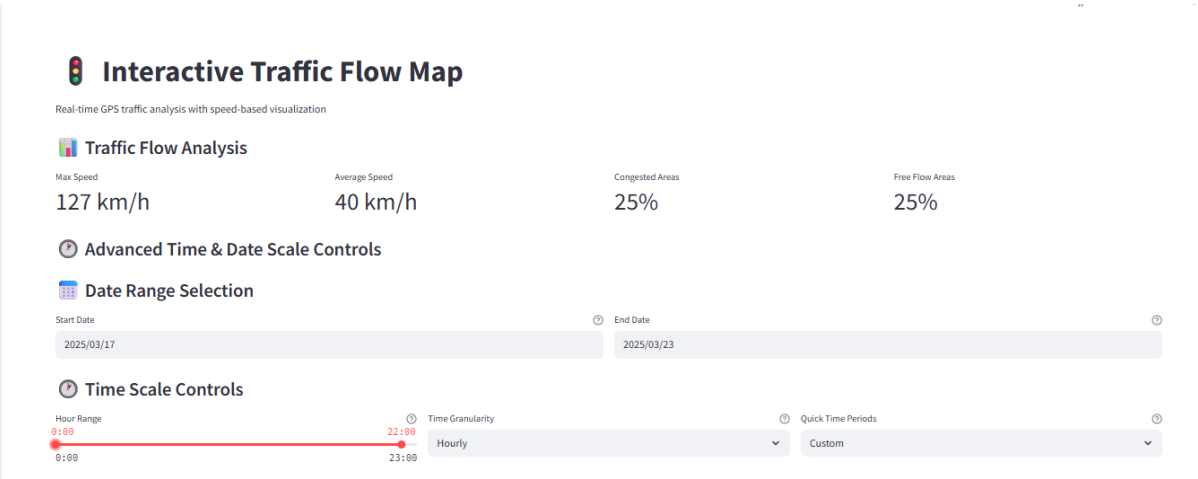


Figure39 :Voici ce que l'application permet de faire, d'après les images fournies :

6.1 1. Analyse du flux de trafic :

- Elle affiche des métriques clés telles que la vitesse maximale enregistrée (par exemple, 127 km/h), la vitesse moyenne (par exemple, 40 km/h), le pourcentage de zones congestionnées (par exemple, 25%) et le pourcentage de zones à flux libre (par exemple, 25%).

6.2 Contrôles avancés de temps et d'échelle de date :

- Sélection de la plage de dates : Les utilisateurs peuvent définir une date de début et une date de fin pour l'analyse (par exemple, du 17/03/2025 au 23/03/2025).
- Contrôles de l'échelle de temps : Il est possible de spécifier une plage horaire (par exemple, de 9h00 à 22h00), une granularité temporelle (par exemple, horaire) et des périodes rapides prédéfinies ou personnalisées.

6.3 Visualisation de la vitesse par segment :

- L'application génère des graphiques montrant l'évolution de la vitesse (en km/h) en fonction du temps (en secondes) pour différents segments de route.
- Ces graphiques utilisent un code couleur pour représenter la vitesse :
    - Vert : Vitesse élevée/flux libre.
    - Jaune : Vitesse modérée.
    - Orange : Vitesse lente/trafic ralenti.
    - Rouge : Très faible vitesse/congestion.
- Les exemples de segments incluent :

- Segment E (sortie elberki vers castors)
- Segment D (Cité djamel vers Castors)
- Segment C (les amandiers vers Cité djamel)
- Segment B (castors vers RN4 aeroport ahmed ben bella)
- Segment A (Pénétrante d'oran vers Castors)

6.4 Visualisation cartographique du flux de trafic :

- L'application affiche une carte détaillée montrant les routes et le flux de trafic coloré en fonction de la vitesse.
- La légende de la carte indique les plages de vitesse associées à chaque couleur (par exemple, 0-4.16 km/h en rouge, 4.16-8.33 km/h en orange, etc.).
- Elle semble permettre l'affichage de différentes couches (par exemple, 0302, 0103, 0701, ainsi que "Export_Output_6", "Export_Output_12", "Export_Output_14") avec leurs propres légendes de vitesse.

En somme, l'application fournit un tableau de bord complet pour le suivi GPS et l'analyse du trafic, permettant aux utilisateurs d'évaluer les conditions de circulation à la fois de manière agrégée, segment par segment, et visuellement sur une carte.

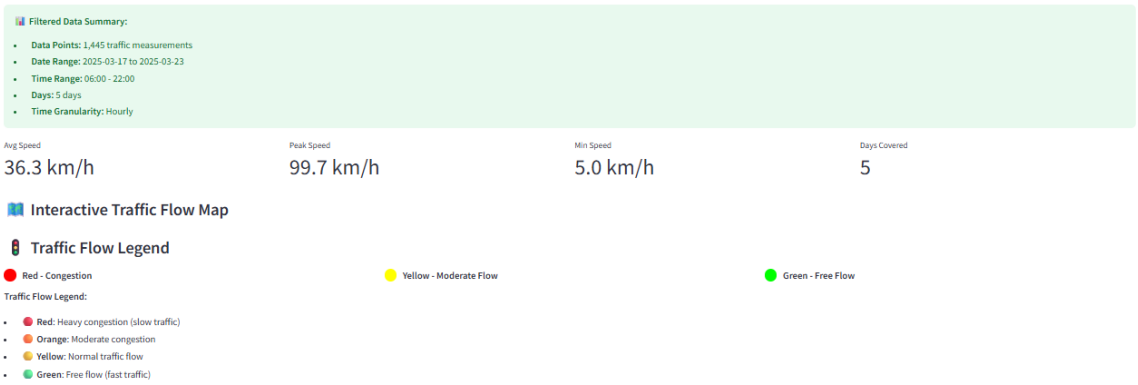


Figure40 :interface de l'application

L'application nous fait des statistiques sur le traffic en temps reels tels que la vitesse moyenne la vitesse maximale …etc.

Visualisation Segmentée de la Vitesse:

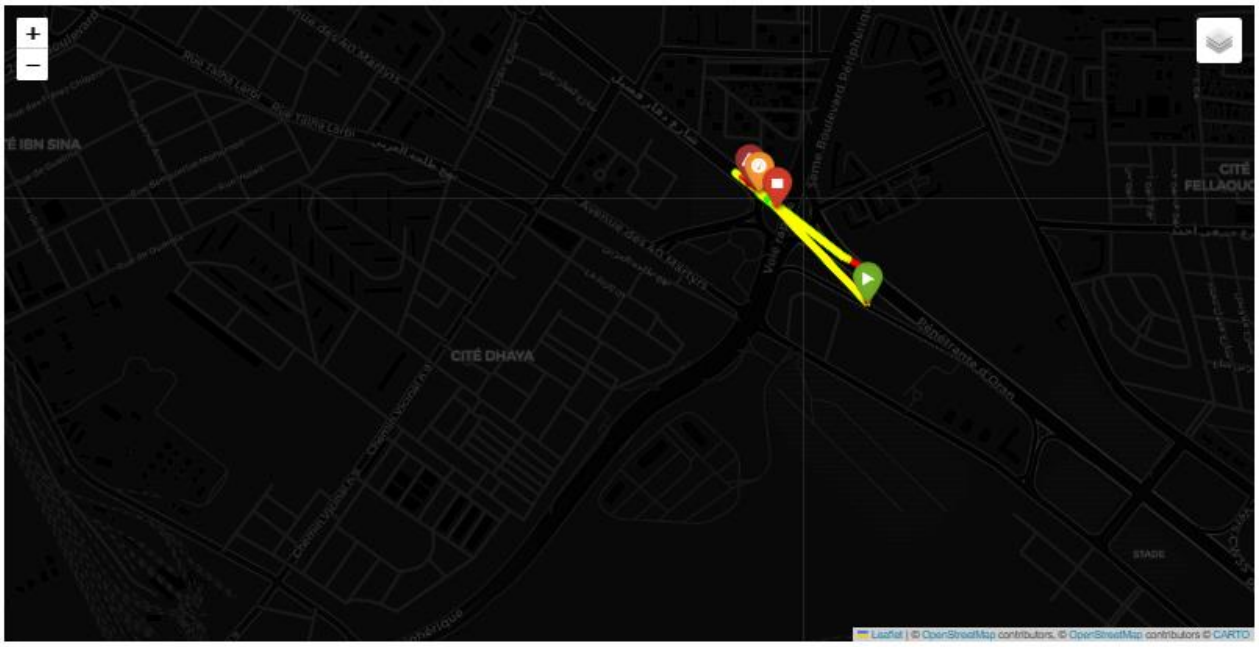


Figure41 :interface carte interactive

- Elle génère des graphiques qui montrent la vitesse (en km/h) sur des segments de route spécifiques en fonction du temps.
- Ces graphiques utilisent un code couleur pour représenter la vitesse : vert pour le flux libre/vitesse élevée, jaune pour la vitesse modérée, orange pour le trafic lent et rouge pour la congestion ou très faible vitesse.
- Des exemples de segments incluent "Segment E (sortie elberki vers castors)", "Segment D (Cité djamel vers Castors)", "Segment C (les amandiers vers Cité djamel)", "Segment B (castors vers RN4 aeroport ahmed ben bella)", et "Segment A (Pénétrante d'oran vers Castors)".

6.5 Cartographie Interactive du Flux de Trafic:

- L'application visualise le flux de trafic directement sur une carte, en colorant les routes selon la vitesse des véhicules.

- La carte inclut une légende qui associe des plages de vitesse à des couleurs spécifiques (par exemple, 0-4.16 km/h en rouge, 4.16-8.33 km/h en orange, etc.).
- Elle semble également prendre en charge l'affichage de différentes couches de données cartographiques (comme "0302", "0103", "0701", "Export_Output_6", "Export_Output_12", "Export_Output_14») Visualisation Segmentée de la Vitesse :
- Elle génère des graphiques qui montrent la vitesse (en km/h) sur des segments de route spécifiques en fonction du temps.
- Ces graphiques utilisent un code couleur pour représenter la vitesse : vert pour le flux libre/vitesse élevée, jaune pour la vitesse modérée, orange pour le trafic lent et rouge pour la congestion ou très faible vitesse.
- Des exemples de segments incluent "Segment E (sortie elberki vers castors)", "Segment D (Cité djamel vers Castors)", "Segment C (les amandiers vers Cité djamel)", "Segment B (castors vers RN4 aeroport ahmed ben bella)", et "Segment A (Pénétrante d'oran vers Castors)".
- 4. Cartographie Interactive du Flux de Trafic:
- L'application visualise le flux de trafic directement sur une carte, en colorant les routes selon la vitesse des véhicules.
- La carte inclut une légende qui associe des plages de vitesse à des couleurs spécifiques (par exemple, 0-4.16 km/h en rouge, 4.16-8.33 km/h en orange, etc.).
- Elle semble également prendre en charge l'affichage de différentes couches de données cartographiques (comme "0302", "0103", "0701", "Export_Output_6", "Export_Output_12", "Export_Output_14")(fichier de mesures gps).

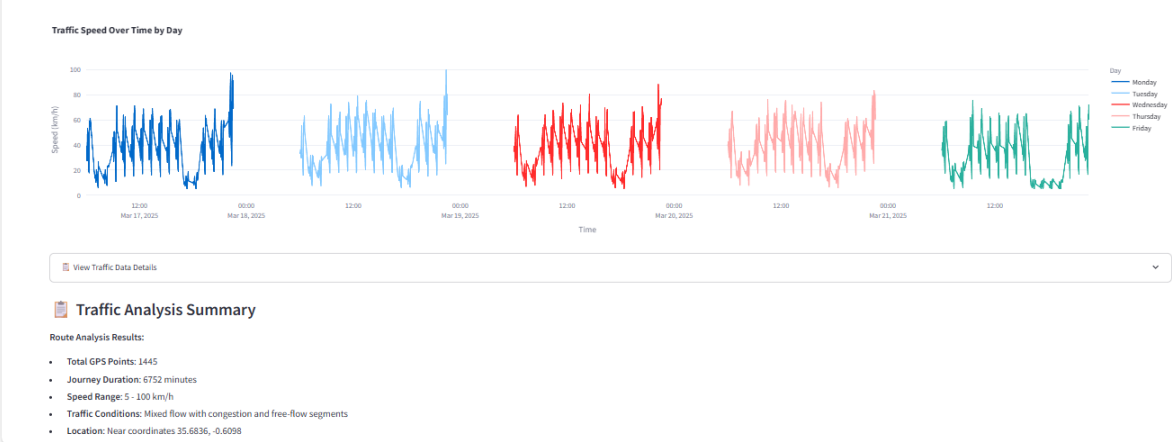


figure 42 :interface de l'application

- L'application aussi nous permis de realiser des graphes pour l'etat du traffic d'une facon journalieres en generant des graphes pour chaque periode.

6.6 Explication Du Code :

Le code Python que vous avez fourni est une application Streamlit complète conçue pour visualiser et analyser des données de suivi GPS dans notre cas on a essayer d'injecter 2 tables de données de tracé gps pour faire l'experience. Voici une analyse détaillée de ses fonctionnalités et de sa structure :

Nom de l'application : GPS Tracking Data Visualizer

6.6.1 Structure et Fonctionnalités Clés :

- Configuration de la Page (st.set_page_config) :
    - Définit le titre de l'onglet du navigateur ("GPS Tracking Data Visualizer").
    - Configure une icône de page (une carte du monde 🗺).
    - Utilise une mise en page "wide" pour maximiser l'espace d'affichage.
    - Garde la barre latérale "expanded" par défaut.
- Initialisation de l'État de Session (st.session_state) et de la Base de Données :
    - Utilise l'état de session de Streamlit pour conserver les données traitées (processed_data), les données originales (original_data), un gestionnaire de base de données (db_manager), et l'ID de la session actuelle (current_session_id) à travers les réexécutions de l'application.
    - DatabaseManager() est initialisé pour gérer la persistance des données.
- Barre Latérale (with st.sidebar) :
    - Gestion des Sessions Enregistrées :
        1. Permet de charger des sessions GPS précédemment enregistrées à partir de la base de données.
        2. Affiche une liste déroulante des sessions disponibles.
        3. Un bouton "Load Session" déclenche le chargement.
    - Section de Téléchargement de Nouvelles Données :
        1. Un st.file_uploader accepte plusieurs fichiers CSV ou TXT.
        2. Pour chaque fichier téléchargé :
            1. Détecte automatiquement l'encodage (par exemple, utf-8, latin-1) et le séparateur (,, ;, \t).
            2. Charge les données dans un DataFrame Pandas.
            3. Affiche des informations sur le fichier (encodage, séparateur, colonnes, lignes).
        3. Combine les données de tous les fichiers téléchargés.

4. Appelle DataProcessor().process_gps_data() pour traiter les données (calculs de vitesse, distance, etc.).
5. Option de Sauvegarde dans la Base de Données :
    1. Si les données sont traitées avec succès, l'utilisateur peut leur donner un nom de session et les sauvegarder dans la base de données.
    2. Sauvegarde également un résumé d'analyse du trafic (distance totale, vitesse max/moyenne, pourcentage de congestion/fluidité, durée).

- Zone de Contenu Principal (Dashboard) :
    - Cette section est affichée uniquement si des données GPS traitées sont disponibles (st.session_state.processed_data is not None).
    - Filtres et Contrôles (également dans la barre latérale) :
        1. Filtre par Plage de Dates : Permet de filtrer les données en fonction de la date des enregistrements.
        2. Filtre par Plage de Vitesse : Un curseur pour filtrer les points de données en fonction de leur vitesse (en km/h).
        3. Filtre par Fichier Source : Si plusieurs fichiers ont été téléchargés, permet de sélectionner les fichiers à afficher.
    - Statistiques Clés (st.header("📊 Key Statistics")) :
        1. Affiche des métriques importantes : Vitesse Maximale, Vitesse Moyenne, Distance Totale Parcourue, Durée Totale du Trajet.
    - Analyse de la Vitesse (st.header("🚀 Speed Analysis")) :
        1. Affiche un graphique interactif de la vitesse en fonction du temps (create_speed_chart).
    - Carte d'Analyse du Flux de Trafic (st.header("🚦 Traffic Flow Analysis Map")) :
        1. Fournit une carte interactive (folium) visualisant l'itinéraire GPS.
        2. Contrôles d'affichage de la carte : Case à cocher pour afficher les zones de congestion, les zones de vitesse, et une carte thermique du trafic.
        3. Analyse du trafic basée sur le temps :
            1. Filtre par heure de la journée pour analyser les modèles de trafic à des moments spécifiques.
            2. Option de visualisation de la direction du trafic ("Complete Route", "Forward Direction", "Return Direction").
        4. La carte est générée par create_map_visualization().

- Résumé du Flux de Trafic (st.subheader("📊 Traffic Flow Summary")) :
    1. Affiche des métriques spécifiques au trafic : Pourcentage de zones congestionnées, Pourcentage de zones à flux libre, Vitesse moyenne en congestion, Variabilité de la vitesse.
- Visualisation des Données Brutes (st.expander("📋 View Raw Data")) :
    1. Permet d'afficher le DataFrame Pandas complet des données traitées.
- Fonctionnalité d'Exportation (st.header("💾 Export Data")) :
    1. Boutons pour télécharger les données traitées au format CSV et un résumé des statistiques au format CSV.

- Écran d'Accueil / Instructions (else bloc) :
    - Si aucune donnée n'est chargée, l'application affiche un écran de bienvenue avec des instructions claires sur la manière d'utiliser l'application, les formats pris en charge, les colonnes requises et les fonctionnalités offertes.
    - Un st.expander fournit des détails sur les formats de données attendus (horodatage, coordonnées, noms de colonnes courants).

6.6.2 Dépendances Externes (mentionnées dans les imports) :

L'application s'appuie sur des modules utilitaires locaux, probablement situés dans un dossier utils/ :

- utils.data_processor.DataProcessor : Pour le traitement des données GPS (calcul de la vitesse, distance, etc.).
- utils.gps_calculator.GPSCalculator : Probablement pour les calculs géodésiques.
- utils.visualizations.create_speed_chart, create_map_visualization : Fonctions pour générer les graphiques Plotly et la carte Folium.
- utils.database.DatabaseManager : Pour l'interaction avec une base de données (sauvegarde et chargement des sessions).

6.6.3 Technologies Utilisées :

- Streamlit : Pour la création de l'interface utilisateur web interactive.
- Pandas : Pour la manipulation et l'analyse des données tabulaires.
- Plotly Express & Plotly Graph Objects : Pour la création de graphiques interactifs (graphiques de vitesse, etc.).
- Folium & Streamlit-Folium : Pour la création de cartes interactives basées sur des données géospatiales.
- NumPy : Pour les opérations numériques.
- Chardet : Pour la détection automatique de l'encodage des fichiers.

- datetime et io : Modules Python standards pour la gestion des dates/heures et des opérations d'E/S.

Cette application Streamlit est un outil robuste et convivial pour l'analyse des données de suivi GPS. Elle automatise le traitement des données, offre des visualisations interactives pour la vitesse et les itinéraires, et permet aux utilisateurs de gérer leurs sessions de données. La détection automatique de l'encodage et des séparateurs rend l'application très flexible face à divers formats de fichiers CSV/TXT. C'est un excellent exemple d'application de données interactive pour la compréhension des modèles de mobilité et de trafic.

Le code Python qui définit la classe DataProcessor, une composante essentielle de l'application Streamlit précédente, responsable du nettoyage, de la standardisation et du calcul des métriques à partir des données de suivi GPS brutes.

Voici une analyse détaillée de cette classe :

6.6.4 Nom de la classe : DataProcessor

Objectif principal : La classe DataProcessor est conçue pour gérer le traitement des fichiers de données de suivi GPS. Ses fonctions incluent la détection automatique des colonnes pertinentes (timestamp, latitude, longitude), le nettoyage des données, la conversion des types et le calcul de la vitesse et de la distance entre les points GPS.

Dépendances : Elle dépend de la classe GPSCalculator (importée via from .gps_calculator import GPSCalculator), qui est utilisée pour effectuer des calculs géodésiques, notamment la distance haversine.

Structure et Fonctionnalités Clés des Méthodes :

- __init__(self) : Constructeur
    - Initialise une instance de GPSCalculator, qui sera utilisée pour les calculs de distance.
    - Définit des listes de timestamp_patterns, latitude_patterns, et longitude_patterns. Ces listes contiennent des noms de colonnes courants (ex: 'timestamp', 'time', 'date' pour l'horodatage ; 'latitude', 'lat', 'y' pour la latitude) que la méthode detect_columns utilisera pour identifier les colonnes pertinentes dans les DataFrames.
- detect_columns(self, df) : Détection Automatique des Colonnes
    - Prend un DataFrame (df) en entrée.
    - Convertit les noms de toutes les colonnes du DataFrame en minuscules pour une correspondance insensible à la casse.
    - Itère sur les patterns prédéfinis pour trouver une correspondance (exacte ou partielle) dans les noms de colonnes du DataFrame.
    - L'ordre des boucles (for pattern in ... for i, col in enumerate(columns_lower)) garantit qu'il trouve la première correspondance pour chaque type de colonne (horodatage, latitude, longitude) et s'arrête une fois trouvée.
    - Renvoie un dictionnaire (detected) contenant les noms de colonnes originaux détectés (ex: {'timestamp': 'Time', 'latitude': 'Lat', 'longitude': 'Lon'}).

- parse_timestamp(self, timestamp_series) : Analyse de l'Horodatage
    - Prend une série Pandas (une colonne) contenant des valeurs d'horodatage.
    - Tente de convertir la série en objets datetime de plusieurs manières successives :
        1. Formats communs : Itère sur une liste de formats de date/heure courants (%Y-%m-%d %H:%M:%S, %d/%m/%Y, etc.) en utilisant pd.to_datetime avec errors='coerce' (pour convertir les erreurs en NaT - Not a Time). S'il réussit à analyser au moins une valeur, il renvoie le résultat.
        2. Analyse automatique de Pandas : Si les formats spécifiques échouent, il essaie pd.to_datetime avec infer_datetime_format=True pour laisser Pandas détecter le format.
        3. Horodatage Unix : Enfin, il tente de convertir la série en numérique. Si les valeurs numériques se situent dans des plages typiques d'horodatages Unix (secondes ou millisecondes depuis l'époque), il les convertit en datetime.
    - Renvoie la série d'horodatages analysés ou None si aucune méthode d'analyse n'a réussi.
- clean_coordinates(self, df, lat_col, lon_col) : Nettoyage des Coordonnées GPS
    - Prend le DataFrame et les noms des colonnes de latitude et de longitude.
    - Convertit les colonnes de latitude et de longitude en type numérique, en convertissant les erreurs en NaN.
    - Filtre les lignes pour ne conserver que les coordonnées valides :
        1. Latitude doit être entre -90 et 90.
        2. Longitude doit être entre -180 et 180.
        3. Exclut spécifiquement les coordonnées (0,0), qui sont souvent des valeurs par défaut ou des erreurs.
    - Renvoie un DataFrame nettoyé.
- calculate_speed_and_distance(self, df) : Calcul de la Vitesse et de la Distance
    - Prend un DataFrame contenant des colonnes timestamp, latitude, longitude.
    - Gère le cas où le DataFrame a moins de 2 points (pas de calcul possible) en renvoyant des colonnes de vitesse et distance à 0.
    - Trie le DataFrame par horodatage pour assurer un calcul séquentiel correct.
    - Itère sur les lignes du DataFrame, en comparant chaque point avec le point précédent :
        1. Calcule la distance_km entre les deux points en utilisant la méthode haversine_distance de self.gps_calc.
        2. Calcule la time_diff (différence de temps en heures).

3. Calcule la speed (vitesse en km/h) en divisant la distance par la différence de temps. Gère le cas de time_diff nul pour éviter la division par zéro.

- Ajoute les colonnes distance_km et speed_kmh au DataFrame.
- Applique un lissage de la vitesse (smooth_speed) pour filtrer les valeurs irréalistes.

- smooth_speed(self, speed_series, max_speed=200) : Lissage de la Vitesse
  - Prend une série de vitesses.
  - Définit une vitesse maximale acceptable (max_speed, par défaut 200 km/h) et remplace les vitesses supérieures par NaN.
  - Applique une moyenne glissante (rolling(window=3, center=True).median()) pour lisser les données. Cela aide à réduire le bruit et les pics isolés de vitesse qui peuvent résulter d'imprécisions des capteurs GPS.
  - Remplit les valeurs NaN restantes en utilisant les méthodes ffill (forward-fill) et bfill (backward-fill), puis les remplace par 0 si des NaN persistent.
- process_gps_data(self, df) : Pipeline de Traitement Principal
  - Cette méthode orchestre toutes les étapes du traitement :
    1. Vérifie si le DataFrame est vide.
    2. Appelle detect_columns pour identifier les noms de colonnes.
    3. Vérifie que toutes les colonnes nécessaires (timestamp, latitude, longitude) ont été trouvées, sinon lève une ValueError.
    4. Renomme les colonnes du DataFrame en noms standard (timestamp, latitude, longitude).
    5. Appelle parse_timestamp pour convertir la colonne d'horodatage.
    6. Supprime les lignes avec des horodatages invalides.
    7. Appelle clean_coordinates pour nettoyer les coordonnées GPS.
    8. Vérifie si le DataFrame est devenu vide après le nettoyage des coordonnées.
    9. Appelle calculate_speed_and_distance pour calculer les métriques de mouvement.
    10. Sélectionne et renvoie un nouveau DataFrame contenant uniquement les colonnes standardisées et les métriques calculées (timestamp, latitude, longitude, speed_kmh, distance_km).
    11. Si une colonne source_file était présente dans le DataFrame original, elle est conservée.
  - Gère les exceptions et imprime les erreurs, renvoyant None en cas d'échec du traitement.

- Forces de la classe DataProcessor :
  - Robustesse : Gère la détection automatique des colonnes, ce qui la rend flexible face à différents formats de fichiers d'entrée.
  - Nettoyage de Données : Intègre des étapes de validation pour l'horodatage et les coordonnées, ainsi que pour le lissage des vitesses.
  - Fonctionnalité Complète : Calcule les métriques essentielles (distance et vitesse) nécessaires pour l'analyse du trafic.
  - Modularité : Chaque étape de traitement est encapsulée dans une méthode distincte, facilitant la maintenance et l'extension.

Cette classe est la pierre angulaire de l'analyse des données dans votre application, transformant les données GPS brutes en un format structuré et enrichi, prêt pour la visualisation et l'analyse.

Le code Python dédiées à la visualisation des données de suivi GPS et à l'analyse du trafic. Ces fonctions s'appuient sur les bibliothèques Plotly pour les graphiques interactifs et Folium pour les visualisations cartographiques interactives.

6.6.5 Fonctions de visualisation (Plotly et Folium)

1. create_speed_chart(data)
   - Objectif : Générer un graphique interactif montrant l'évolution de la vitesse et de la distance cumulée au fil du temps.
   - Bibliothèque : Plotly (avec go.Scatter pour les lignes et make_subplots pour une disposition en grille).
   - Description : Cette fonction crée deux sous-graphiques superposés : le premier affiche la vitesse (speed_kmh) par rapport à l'horodatage, et le second montre la distance cumulée (distance_km) par rapport à l'horodatage. Elle utilise des couleurs distinctes pour chaque ligne et ajoute des informations détaillées au survol de la souris. Un sélecteur de plage (rangeselector) est inclus pour permettre aux utilisateurs de zoomer sur des périodes spécifiques (1h, 6h, 1 jour ou toutes les données), rendant l'analyse temporelle très interactive.
2. create_map_visualization(data)
   - Objectif : Créer une carte interactive pour visualiser le flux de trafic GPS, la densité et les zones de vitesse.
   - Bibliothèque : Folium (avec folium.PolyLine, folium.Marker, plugins.MarkerCluster, plugins.HeatMap, etc.).
   - Description : C'est la fonction centrale pour la visualisation spatiale. Elle :
     - Calcule le centre de la carte en fonction des coordonnées moyennes des données.

- Ajoute plusieurs couches de tuiles (TileLayer) pour diverses vues de carte (OpenStreetMap, Stamen Terrain, CartoDB).
- Trace le chemin du parcours en colorant les segments de ligne en fonction de la vitesse (get_traffic_flow_color), avec une épaisseur de ligne dynamique (plus rapide = plus épais). Des popups personnalisés fournissent des détails sur la vitesse et l'heure pour chaque segment.
- Appelle d'autres fonctions auxiliaires pour enrichir la carte : create_traffic_clusters, create_speed_zones, add_traffic_markers, add_traffic_heatmap, et add_time_controls.
- Ajoute des contrôles interactifs comme le contrôle des couches, la mesure de distance et un bouton plein écran.

Fonctions Auxiliaires pour la Visualisation Cartographique :

- get_traffic_flow_color(speed_ratio)
  - Objectif : Déterminer la couleur d'un segment de ligne sur la carte en fonction du ratio de vitesse (vitesse actuelle par rapport à la vitesse maximale).
  - Description : Implémente une cartographie des couleurs progressive, allant du rouge foncé (forte congestion) au vert (flux libre), pour visualiser intuitivement l'état du trafic.
- get_traffic_description(speed_ratio)
  - Objectif : Fournir une description textuelle de l'état du trafic basée sur le ratio de vitesse.
  - Description : Utilisée dans les popups de la carte pour donner une signification lisible aux couleurs de flux de trafic (par exemple, "Heavy Congestion", "Free Flow").
- create_traffic_clusters(map_obj, data)
  - Objectif : Regrouper les marqueurs de points GPS proches sur la carte en fonction de la densité du trafic (vitesse).
  - Bibliothèque : folium.plugins.MarkerCluster.
  - Description : Ajoute des clusters de marqueurs qui regroupent des points de "trafic lent" (en rouge) et de "trafic rapide" (en vert). Cela aide à identifier les zones où le trafic est particulièrement dense ou fluide, sans surcharger la carte avec trop de marqueurs individuels.
- create_speed_zones(map_obj, data)
  - Objectif : Visualiser les zones de vitesse "lentes" et "rapides" sur la carte.
  - Description : Identifie les points dont la vitesse est inférieure au 25e percentile (zones lentes, en rouge) ou supérieure au 75e percentile (zones rapides, en vert). Ces points sont marqués par des cercles discrets, aidant à repérer les goulots d'étranglement ou les tronçons d'autoroute.

- add_traffic_markers(map_obj, data)
    - Objectif : Ajouter des marqueurs spécifiques pour les points clés du parcours GPS.
    - Description : Place des marqueurs distincts pour le début du parcours (vert, icône "play"), la fin du parcours (rouge, icône "stop"), le point de vitesse maximale (orange, icône "tachometer") et le point de vitesse minimale (rouge foncé, icône "exclamation-triangle"). Ces marqueurs améliorent la navigabilité et l'identification des événements critiques sur la carte.
- add_traffic_heatmap(map_obj, data)
    - Objectif : Créer une carte de chaleur (heatmap) pour visualiser les zones de congestion du trafic.
    - Bibliothèque : folium.plugins.HeatMap.
    - Description : Génère une carte de chaleur où l'intensité (chaleur) est inversement proportionnelle à la vitesse. Les zones avec des vitesses plus faibles auront une intensité plus élevée, indiquant une plus grande congestion. Cette couche est initialement cachée (show=False) pour être activée par l'utilisateur via le contrôle des couches.
- add_time_controls(map_obj, data)
    - Objectif : Afficher des informations sur la période d'analyse du trafic.
    - Description : Ajoute une petite boîte d'information statique sur la carte, affichant l'heure de début, l'heure de fin et la durée totale des données GPS, offrant un contexte temporel aux visualisations.
- get_speed_color(speed_ratio)
    - Objectif : Autre fonction de cartographie des couleurs basée sur le ratio de vitesse, allant du bleu (lent) au rouge (rapide).
    - Description : Similaire à get_traffic_flow_color mais avec un dégradé de couleurs différent, potentiellement pour d'autres applications ou une autre perspective visuelle.
- create_speed_histogram(data)
    - Objectif : Créer un histogramme de la distribution des vitesses enregistrées.
    - Bibliothèque : Plotly Express (px.histogram).
    - Description : Fournit une vue statistique de la fréquence des différentes plages de vitesse, permettant d'identifier les vitesses les plus courantes et l'étendue des vitesses.
- create_speed_summary_stats(data)
    - Objectif : Calculer et retourner un dictionnaire de statistiques descriptives pour la vitesse.
    - Description : Calcule des métriques comme la moyenne, la médiane, l'écart-type, le minimum, le maximum, et les quartiles (25e et 75e percentiles) de la colonne speed_kmh.

Ces statistiques sont précieuses pour une compréhension rapide des caractéristiques de vitesse du trajet.

6.7 Conclusion

En résumé, cet ensemble de fonctions forme un module de visualisation complet, capable de transformer des données GPS brutes en aperçus interactifs et significatifs sur le comportement de déplacement et les conditions de trafic, couvrant à la fois les aspects temporels et spatiaux de l'analyse.

Conclusion Générale

Au terme de notre analyse, il apparaît clairement que la congestion routière au niveau du rond-point d'El Bahia, porte d'entrée sud de la métropole oranaise, n'est pas une fatalité. Les approches traditionnelles, basées sur des comptages ponctuels et des aménagements souvent réactifs, ont montré leurs limites face à la complexité et au dynamisme des flux de circulation modernes. La véritable révolution réside dans le changement de paradigme offert par la convergence entre les big data, la géomatique et la modélisation avancée.

L'exploitation des big data géolocalisées – issues des smartphones, des véhicules connectés, et des capteurs routiers – permet de passer d'un instantané figé à un film continu du trafic. Ces données massives, une fois traitées et analysées grâce à la puissance combinée d'ArcGIS pour la structuration spatiale et de Python pour l'automatisation et le développement algorithmique, permettent de construire bien plus qu'une simple carte : un véritable jumeau numérique du rond-point d'El Bahia et de ses axes affluents.

Ce modèle dynamique ne se contente pas de décrire la congestion, il l'explique. Il peut identifier avec une précision redoutable les causes profondes des blocages : interférences entre les flux entrants, saturation des voies de sortie, impact des heures de pointe ou d'événements exceptionnels. Plus important encore, il devient un laboratoire virtuel pour tester, sans coût ni perturbation, l'efficacité de multiples scénarios d'aménagement. Que se passerait-il si l'on modifiait la géométrie du giratoire ? Si l'on installait une signalisation intelligente ? Si l'on créait une voie dédiée aux transports en commun ? Le modèle peut simuler l'impact de chaque décision, quantifier les gains en fluidité et fournir des preuves tangibles pour orienter les investissements publics vers les solutions les plus efficientes.

Cependant, la pleine valeur de cette technologie ne se réalise que lorsqu'elle est rendue accessible et actionnable pour tous. C'est pourquoi la finalité de ce processus de modélisation doit être le développement d'une application web de mobilité intelligente. Cette plateforme se déclinerait en deux volets :

1. Pour les usagers : Une interface grand public, accessible sur smartphone ou ordinateur, qui fournirait en temps réel l'état du trafic au niveau du rond-point (fluide, dense, saturé) grâce à des codes couleur intuitifs. Surtout, en s'appuyant sur le modèle prédictif, l'application pourrait anticiper la congestion à court terme (ex : "Saturation attendue dans 15 minutes") et proposer des itinéraires alternatifs intelligents, permettant aux conducteurs de devenir des acteurs proactifs de la fluidification du trafic.

2. Pour les autorités : Un tableau de bord décisionnel sécurisé pour les services de la wilaya, la police de la circulation et les planificateurs urbains. Cet outil leur donnerait accès à des analyses approfondies, des alertes automatiques en cas d'incident (accident, panne), et à l'interface de simulation pour la planification à long terme.

En conclusion, la synergie entre les big data et la modélisation géomatique ne constitue pas seulement une solution technique au problème de congestion du rond-point d'El Bahia. Elle représente une opportunité

pour Oran de se positionner comme une métropole pionnière, adoptant une gouvernance urbaine basée sur la donnée (*data-driven*). En transformant un point noir notoire en un cas d'école de gestion intelligente de la mobilité, la wilaya peut non seulement améliorer drastiquement la qualité de vie de ses citoyens et son efficacité économique, mais aussi paver la voie vers la ville de demain : une ville plus connectée, plus réactive et plus résiliente.

Bibliographie

(s.d.). Récupéré sur spatialelearning: https://spatialelearning.com/

(s.d.). Récupéré sur https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=1908&wilaya=31

Jiang , W., & Luo , J. (2022). Big Data for Traffic Estimation and Prediction: A Survey of Data And Tools. *MDPI*, 5, 23. doi:https://doi.org/10.3390/asi5010023

ABDALLAH BERRHAIL, R., & BENSAHA, S. (2022). *Système intelligent de surveillance du trafic routier.* memoire, Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib .

Abdelhamid, D. (s.d.). Classification - Concepts de base. Récupéré sur http://www.abdelhamid-djeffal.net/web_documents/classification-conceptsdebase.pdf

Abdesalam, A. (2015). *Big Data Concepts et Cas d'utilisation.* CERIST.

Aguini, M. (2023). *Gestion opérante du trafic routier par méthode d'apprentissage.* Memoire. Récupéré sur https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/14906/1/AGGUINI_MERIEM_F5_1688739571.pdf

Allemand, S. (2018). *Introduction aux technologies et applications Big Data.*

Amel, B. (2022, juin). Conception d'un modèle de contrôle adaptatif du trafic. Guelma.

Amrane, A. (2015). Rapport sur le Big Data. *researchgate*, 4.

Arcgis. (s.d.). Récupéré sur Arcgis: https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-spline-works.htm

ArcMap. (s.d.). Récupéré sur ArcGIS Desktop: https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/latest/extensions/network-analyst/traffic-what-is-traffic-data.htm

Audard, F., Carpentier, S., & Oliveau, S. (2014). Les " big data " sont-elles l'avenir de la géographie [théorique et quantitative] ? *HAL*, 2.

AWS. (s.d.). Récupéré sur https://aws.amazon.com/fr/what-is/linear-regression/

Bahga , V., & Madisetti, A. (2019). *Big Data Analytics: A Hands-On Approach.* Bahga & Madisetti.

Bellemens, T., De Shutter, B., & De Moor, B. (2002). Models for traffic control. *Journal A, 43*(3-4), 13--22. Récupéré sur https://www.dcsc.tudelft.nl

Board, C. P. (2015). *BIG DATA AND TRANSPORT.* OECD/ITF.

Board, C. P. (2015). *Big Data and Transport Understanding and assessing options Corporate Partnership Board Report Corporate Partnership Board CPB.* ITF.

BOUKHELKHAL, Y. (2017). Big Data , Trends and challenges.

Cerema. (2023). *Analyse automatisée de données de trafic routier à l'aide de techniques avancées.* Récupéré sur Cerema: https://www.cerema.fr/fr/actualites/analyse-automatisee-donnees-trafic-routier-aide-techniques

Chen, X., & Chaowei , Y. (2014). Introduction to big geospatial data research. *Taylor and francis* .

cielen, d., Meysman, A., & ali, m. (2016). *Introducing Data Science.* MANNING,SHELTER ISLAND.

Comprendre le traffic routier. (2004). Faculté des Sciences et de la Technologie, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Récupéré sur https://fac.umc.edu.dz/fstech/cours/G%20Transport/Gestion_Dynamique_des_Flux_de_Circulation_M1_ITL.pdf

Corea, F. (2019). *Studies in Big Data 50 An Introduction to Data Everything You Need to Know About AI, Big Data and Data Science.* Springer.

Croft, P. (2015). *Guide to traffic management Part 1.* austroads.

Daten, & Wissen. (2025). *AI in Traffic Management.* Récupéré sur DATEN & WISEN: https://datenwissen.com/blog/ai-in-traffic-management/

Faye, S. (2014). *Contrôle et gestion du trafic routier urbain par un réseau de capteurs sans fil.* THÈSE, Télécom ParisTech.

Forum, I. T. (2021). *Road safety in cities: Street design and traffic management solutions.* OECD Publishing.

GARDARIN, G. (2003). *Bases de Donnees.* Groupe Eyrolles .

Guinamard, F. (2018). Open Data et Big Data : leurs apports dans le cadre des études de mobilité. *HAL* , 30.

Guo, H., & Xu, L. (2023). Research on the application of big data visualization technology in urban road congestion. *European Journal of Remote Sensing*. doi:https://doi.org/10.1080/22797254.2022.2147448

Jae-Gil, L., & Minseo , K. (2015). Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *sciencedirect*, 2.

Jiayang , W., Wensheng , G., Han-Chieh , C., & Philip S. , Y. (2024). Geospatial Big Data: Survey and Challenges. *IEEE JOURNAL OFSELECTEDTOPICSINAPPLIEDEARTHOBSERVATIONSANDREMOTESENSING*.

Jorge Neil V, B., & Sunny B, D. (s.d.). Spatial Big Data. *Presentation PPT*.

KHIAL, D. N. (s.d.). *Routes I.* Cours, UMMTO.

Lansley, G., De Smith, M., Goodchild, M., & Longley, P. (2018). Big Data and Geospatial Analysis. *GEOSPATIAL ANALYSIS*.

Laouni, D. (2020). Analyse de données massives -Big Data- pour la prédiction. *These doctorat*. ALgerie.

Li, S., Dragicevic, S., Francesc Antón, C., Sester, M., Winter, s., Arzu, C., . . . Cheng, T. (2016). Geospatial big data handling theory and methods: A review and research challenges. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.

Lumsden, J., Bastin, L., & Lush, V. (2012). Geospatial Data Quality Indicators. *SEMANTIC SCHOLAR*.

Meriem, A. (2023, juin). *Gestion opérante du trafic routier par méthode d'apprentissage.* Memoire de fin d'etudes, Université 8 Mai 1945- Guelma-.

Mouloud, K. (2021). *Contribution à l'étude de la congestion et la régulation du trafic routier pour l'évaluation de la circulation en milieu urbain.* Université Frères Mentouri Constantine -1.

Moustapha, M. (2014). *Modélisation mathématique et simulation du trafic routier.* Memoire. Récupéré sur https://cermics.enpc.fr/cermics-theses/2014/2014/mint-moustapha.pdf

Oberoi, K. S. (2019). *Spatio-temporal modeling of urban road traffic.* these, Normandie Université.

Pumain, D. (2017). La géographie et les données massives. *HAL open science*, 2.

Roger, F., & Mark , M. (2015). Big Data Storage Techniques for Spatial Databases: Implications of Big Data Architecture on Spatial Query Processing. Dans *Information Granularity, Big Data, and Computational Intelligence.* Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-08254-7_14

SAIDI, C., & DANOUNE , I. (2019). Vers une meilleure optimisation pour l'analyse prédictive. *Memoire*. REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.

Samir, D. (2018). *Modélisation et Commande du Réseau de Trafic Urbain d'une Agglomération.* these, Université badji mokhtar , Annaba.

Saudi arabia Transport and Mobility. (s.d.). Récupéré sur saudi mobility consulting: https://saudimobilityconsulting.com/how-ai-can-reduce-saudi-traffic-congestion-by-25/

Sauvageot, F. (2004). *Modélisation du trafic routier.* Récupéré sur https://www.mathom.fr/mathom/sauvageot/Modelisation/Trafic/trafic_serfati.pdf

Sayed , A., & A. Hefny, H. (2023). Traffic Flow Prediction Using Big Data and Geographic Information Systems: A Survey of Data Sources, Frameworks, Challenges, and Opportunities. *International Journal of Computing and Digital Systems*. Récupéré sur https://www.researchgate.net/publication/372788139

SKANDER, M. (s.d.). *Systèmes de gestion des bases de données.*

Spline. (s.d.). Récupéré sur Techno-Science: https://www.techno-science.net/definition/5437.html

Spline. (2005). Récupéré sur Wikipedia: https://fr.wikipedia.org/wiki/Spline

Xu , C., & Yang, C. (2014). Introduction to big geospatial data research. *Annals of GIS*.

Yilma, A. D. (2023). *DEMYSTIFYING GEOSPATIAL BIG DATA, GEOSPATIAL.* United Nations Economic Commission for Africa.

Zeng, G. (2015). Application of Big Data in Intelligent Traffic System. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 01-04.

Zhenlong, L., Wenwu, T., Qunying , H., Eric , S., & Qingfeng , G. (2020). Introduction to Big Data Computing for Geospatial Applications. *International Journal of Geo-Information*.