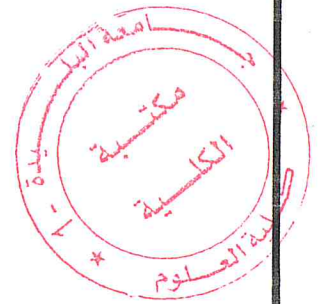


RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT INFORMATIQUE



Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention d'un diplôme de Master en Informatique
Spécialité : Systèmes Informatiques et Réseaux

Thème

**Développement d'un Framework pour l'Estimation à court terme
du trafic routier**

Réalisé par :
- HANIFI Mohamed
- AIT MOHAMMED Yassine

Encadré par :
- Mr. BOUCHAMA Nadir

Organisme d'accueil : Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique

Jury :

Président : Mme. BOUTOUMI Bachira Maitre Assistant A à USDB 1.
Examineur : Mr. DERRAR Hacène Maitre Conférence B à USDB 1.
Promoteur : Mr. OULD-KHAOUA Mohamed Professeur à USDB 1.

Date de Soutenance : 30/06/2018

Promotion : 2017/2018

MA-004-462-1

Dédicace

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots,
Que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes chers
parents ;*

*Qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le
chemin par leurs conseils judicieux.*

*J'espère qu'un jour, je pourrais leurs rendre un peu de ce qu'ils
ont fait pour moi,*

Que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Je dédie aussi ce travail à.

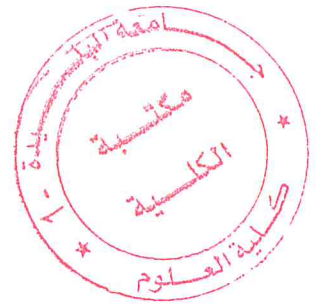
*Mes sœurs : Fatima-Zohra, Meriem et Asma ainsi que leurs
enfants*

Toutes ma famille surtout mes deux grand-mères,

Mes amis,

Tous mes professeurs qui m'ont enseigné

Et à tous ceux qui me sont chers.



Mohamed.

Dédicace

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots,
Que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes chers
parents ;
Qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé le
chemin par leurs conseils judicieux.
J'espère qu'un jour, je pourrais leurs rendre un peu de ce qu'ils
ont fait pour moi,
Que dieu leur prête bonheur et longue vie.
Je dédie aussi ce travail à.
Mes sœurs
Toutes ma famille,
Mes amis,
Tous mes professeurs qui m'ont enseigné
Et à tous ceux qui me sont chers.*

Yassine.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier très chaleureusement notre encadreur monsieur BOUCHAMA Nadir pour ses aides précieuses, pour sa spontanéité et ses compétences professionnelles incontestables, durant toute cette période d'encadrement. « Il est et il sera pour nous un exemple de rigueur et de droiture dans l'exercice de la profession. » »

Nous remercions également notre promoteur monsieur OULD-KHOUA pour la confiance placée en nous et pour avoir accepté de diriger ce travail.

Aussi, nous remercions madame NOUALI Nadia et aussi toute l'équipe DTISI du CERIST pour leurs encouragements et leurs conseils tout au long de ce projet. Nos vifs remerciements aux membres du jury pour l'intérêt accordé à notre travail en l'examinant minutieusement et avec attention.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu pour la réussite dans nos études.

A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci.

Résumé

L'estimation du trafic routier est l'une des fonctions principales d'un système de transport intelligent (ITS) dont l'objectif est de réduire les embouteillages, la pollution, et les accidents. Le but de ce travail est de concevoir une plateforme d'estimation à court terme du trafic routier basée sur les données des véhicules flottants. Ainsi, le système proposé est basé de trois modules principaux : acquisition de données, traitement de données par CTM (Cell Transmission Model), et enfin affichage des paramètres de trafic (densité, et temps de voyage). Après avoir proposé et implémenté notre système, nous avons procédé à une évaluation de performances via le simulateur SUMO. La zone d'étude est la première Rocade Sud, qui relie « Paradou, Hydra, Daïra Bir Mourad Rais, Alger » avec « Ben Aknoun, Daïra Bouzareah, Alger » dans deux sens avec une distance d'environ 3.5 kilomètres. Les résultats obtenus montrent l'impact du taux de pénétration des FCD sur la qualité de l'estimation des paramètres de trafic visés.

Mots clés : Estimation du trafic routier, Données de véhicules flottantes, Cell Transmission Model, Open Street Map, SUMO.

Abstract

Road traffic estimation is one of the main functions of an Intelligent Transport System (ITS) whose objective is to reduce congestion, pollution and accidents.

The aim of this work is to design a platform for short-term estimation of road traffic based on Floating Car Data. Thus, the proposed system is based on three main modules : data acquisition, data processing by CTM (Cell Transmission Model), and finally display of traffic parameters (density, and travel time).

After having proposed and implemented our system, we did a performance evaluation via the SUMO simulator. The study area is the first South Ring Road, which connects "Paradou, Hydra, Daira Bir Mourad Rais, Algiers" with "Ben Aknoun, Daira Bouzareah, Algiers" in two directions with a distance of about 3.5 kilometers. The obtained results show the impact of the FCD penetration rate on the quality of the estimate of the targeted traffic parameters.

Keywords : Road traffic estimation, Floating Car Data, Cell Transmission Model, Open Street Map, SUMO.

ملخص

يعتبر تقدير حركة المرور على الطرق أحد الوظائف الرئيسية لنظام النقل الذكي (ITS) الذي يهدف إلى الحد من الازدحام والتلوث والحوادث.

الهدف من هذا العمل هو تصميم منصة لتقدير حركة مرور الطرق على المدى القصير بناءً على البيانات الواردة من المركبات الطافية. وهكذا، يستند النظام المقترح على ثلاث وحدات رئيسية: الحصول على البيانات، معالجة البيانات عن طريق نموذج نقل الخلايا (CTM)، وأخيراً عرض معلومات الحركة (الكثافة، ووقت السفر).

بعد اقتراح نظامنا وتطبيقه، أجرينا تقييم الأداء عبر جهاز محاكاة SUMO. منطقة الدراسة هي أول طريق جنوب الدائري، الذي يربط بارادو، حيدرة، دائرة بئر مراد رابيس، الجزائر مع بن عكنون، دائرة بوزريعة، الجزائر في اتجاهين بمسافة حوالي ٥.٣ كيلومتر. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها تأثير معدل اختراق FCD على جودة تقدير معلومات الحركة المستهدفة.

الكلمات المفتاحية: تقدير حركة المرور على الطرق، بيانات المركبة الطافية، نموذج

نقل الخلايا، SUMO، Open Street Map

Table des matières

Introduction générale	1
Objectif	2
Plan du mémoire	2
1 Introduction aux techniques de l'estimation du trafic routier	4
1.1 Introduction	4
1.2 Smart City	5
1.2.1 Définition	5
1.3 Systèmes de transport intelligents	6
1.3.1 Définition	7
1.3.2 Les Blocs de bases des ITS	8
1.4 Estimation du trafic	9
1.4.1 Estimation selon la durée	9
1.4.2 Estimation selon l'échelle	11
1.4.3 Estimation selon les données	15
1.5 Les sources de données	18
1.5.1 Smartphone	19
1.5.2 Les réseaux sociaux (Social media)	20
1.5.3 Internet of Things (IoT)	21
1.5.4 La vidéo	23
1.5.5 Réseaux cellulaires	24
1.5.6 Détecteurs de données en boucle inductive (ILDD)	25
1.6 Conclusion	27
2 Estimation à court terme du trafic routier en utilisant les données des véhicules flottants	28

2.1	Introduction	28
2.2	Les données de véhicules flottantes (FCD)	29
2.2.1	Définition	29
2.2.2	Quelques Applications des FCD	31
2.3	Les données de véhicules flottantes étendues (XFCD)	32
2.3.1	Van et al. (2015)	33
2.3.2	Runyoro et al. (2013)	34
2.3.3	Lovisari et al. (2015)	36
2.3.4	Montero et al. (2016)	37
2.3.5	YUAN et al. (2014)	38
2.3.6	Felix Rempe et al. (2016)	40
2.3.7	OCTOTelematics (2006)	41
2.3.8	Liu et al. (2008)	43
2.3.9	Rohde et al. (2011)	44
2.4	Conclusion	49
3	Proposition d'un framework pour l'estimation de trafic routier	50
3.1	Introduction	50
3.2	Vue synoptique du modèle idéal	50
3.3	Vue synoptique du Modèle proposé	51
3.3.1	Module Acquisition des données via FCD	51
3.3.2	Module traitement de données à l'aide de modèle mathématique CTM .	54
3.3.3	Module d'affichage et de calcul des métriques :	57
3.4	Les algorithmes utilisés	58
3.5	Architecture de déploiement de la solution	61
3.6	Présentation du langage UML	62
3.6.1	Définition	62
3.6.2	Les principaux acteurs du système	63
3.7	Conclusion	65
4	Tests et Résultats	66
4.1	Introduction	66
4.2	Présentation de l'environnement du travail	66

4.2.1	Logiciels Utilisé	66
4.2.2	Langages de programmation utilisés	76
4.3	Plateforme Développée	78
4.3.1	Présentations des interfaces de l'application	79
4.3.2	Les modules de l'application	82
4.4	Résultats et Discussions	83
4.4.1	Zone étudiée	83
4.4.2	Scénarios et paramètre de simulation	84
4.4.3	Commentaire sur les résultats obtenus	86
4.5	Conclusion	95
Conclusion générale		96
Bibliographie		98
A Annexe A		1
1.1	Cell Transmission Model	1
1.2	CTM : le Trafic réseau	7
B Annexe B		12
2.1	Simulation of Urban MObility	12
2.1.1	SUMO Guide d'installation	12
2.1.2	Krauss Car Following Model	14
2.1.3	Les lignes de commandes SUMO	15
2.1.4	Les fichiers de simulation	19

Table des figures

1.1	Les facteurs de la ville intelligente	6
1.2	Traffic control cycle [Van Lint, 2015]	9
1.3	Performance des modèles de Densité-Vitesse [Wang et al., 2011]	14
1.4	L'avancement de flux [Mathew, 2014]	16
1.5	Interaction des personnes aux événements [Ferrari et al., 2011]	21
1.6	Framework global du système basé sur IOT [Cao et al., 2011]	22
1.7	Caméra vidéo	23
1.8	Le système global [Valerio et al., 2009]	25
1.9	Le système global [Valerio et al., 2009]	26
2.1	Communication par GPS [Turner et al., 1998]	30
2.2	Communication à partir d'un téléphone cellulaire [Turner et al., 1998]	31
2.3	Capteurs de véhicule et signaux pour l'acquisition de XFCD [Huber et al., 1999]	
	33	
2.4	Visualisation de la conception fonctionnelle de la méthodologie proposée. L'in- formation des types de données hétérogènes est fusionnée dans le modèle d'ob- servation [Van Erp, 2015]	34
2.5	Proposition d'architecture de système d'information routière en temps réel(RRI) [Runyoro and Ko, 2013]	35
2.6	L'architecture de Node js [Lovisari et al., 2015]	37
2.7	L'Exemple à Barcelone : site de test de simulation et modèle Aimsun. Iti- néraire 2 en bleu (central) Corridor Aragó sélectionné en orange (droite) [Montero et al., 2016]	38
2.8	Données de trajectoire brutes (1),(2,3,4) estimées $V_E(t, x)$ avec la densité des données la plus élevée [Rempe et al., 2016]	41
2.9	page Web OCTOtelematics pour le périphérique de Rome [De Fabritiis et al., 2008]	42

2.10	L'architecture des services d'informations sur le trafic basés sur WebGIS [Liu et al., 2008]	44
2.11	Représentation cellulaire pour CTM [Rohde and Friedrich, 2011]	44
2.12	Zone de test. Les points représentent les signaux de trafic, TT = mesure du temps de déplacement [Rohde and Friedrich, 2011]	47
3.1	Le modèle idéal d'un système d'estimation de trafic routier	51
3.2	Le modèle proposé	51
3.3	Le parsing	53
3.4	Le mapping	53
3.5	Exemple de mapping	54
3.6	Une portion de route dans SUMO-GUI	54
3.7	Le partitionnement des cellules	55
3.8	Affichage des métriques dans l'application	58
3.9	Exemple de déploiement de la solution dans le terrain	62
3.10	Diagramme de cas d'utilisation globale de TrafficEstApplication	64
3.11	Diagramme de séquence	65
4.1	Logo OpenStreetMap	66
4.2	Logo SUMO	67
4.3	La zone d'étude dans SUMO	68
4.4	L'interface de OSM	70
4.5	Le réseau routier étudié	71
4.6	Le processus de simulation	72
4.7	Le fichier BenAk.cfg	73
4.8	Interface SUMO-GUI	73
4.9	Logo NetBeans	74
4.10	Logo Excel	74
4.11	Logo Edraw max	75
4.12	Logo JAVA	76
4.13	Logo Python	77
4.14	Logo XML	77
4.15	Interface Principale de TrafficEstApplication	80

4.16 Choisir itinéraire et temps	81
4.17 Résultat du temps de voyage et de la densité sur l'itinéraire Said-Hamdine vers Ben-Aknoun après 20 minutes.	82
4.18 Les modules de l'application	83
4.19 La zone d'étude (La rocade sud) depuis OpenStreetMap	84
4.20 Résultat de l'estimation de densité (10s)	87
4.21 Résultat de l'estimation de temps de voyage (10s)	88
4.22 Résultat d'estimation de densité (20s)	89
4.23 Résultat d'estimation de temps de voyage (20s)	90
4.24 Résultat d'estimation de densité (30s)	91
4.25 Résultat d'estimation de temps de voyage (30s)	92
4.26 Résultat de l'estimation de la densité de la variante 2 avec une distribution BI- NOMIAL	94
4.27 Résultat de l'estimation de temps de voyage de la variante 2 avec une distribu- tion BINOMIAL	95
1.1 L'avancement de flux [Mathew, 2014]	2
1.2 la relation de Densité-Flux pour le CTM [Mathew, 2014]	3
1.3 La cellule 2 à l'instant 2	5
1.4 La cellule 1 à l'instant 2	5
1.5 La cellule 3 à l'instant 2	6
1.6 Cellules ordinaires	8
1.7 Deux cellules fusionnant	9
1.8 Deux cellules divergentes	10
2.1 ajouter SUMO au path	13
2.2 SUMO HOME	14
2.3 la commande NETCONVERT	16
2.4 la commande POLYCONVERT	16
2.5 la commande RandomTrips.py	17
2.6 Le fichier vss.xml	19
2.7 Le fichier BenAk.vss.Add.xml	20
2.8 Le fichier BenAk.sumo.cfg	21

Liste des tableaux

2.1	Tableau comparatif entre les solutions citées	48
3.1	tableau descriptif des attributs du fichier fcd-output	52
3.2	Les entrées du CTM	56
4.1	Les outils de SUMO	69
4.2	Les résultats de l'estimation de densité (10s)	87
4.3	Les résultat d'estimation de temps de voyage (10s)	88
4.4	Les résultat d'estimation de densité (20s)	89
4.5	Les résultat d'estimation de temps de voyage (20s)	91
4.6	Résultat de l'estimation de densité (30s)	92
4.7	Les résultat d'estimation de temps de voyage (30s)	93
1.1	Les entrées finales simulant le trafic	7
2.1	NETCONVERT	16
2.2	NETCONVERT	16
2.3	POLYCONVERT	17
2.4	RandomTrips.py	18

Introduction générale

La haute croissance de la congestion routière constatée ces dernières années dans les grandes villes d'Algérie et surtout à la capitale Alger, devient une des préoccupations principales des organismes liés à la gestion du trafic routier. Les immenses embouteillages paralysent les autoroutes pendant de longues périodes en nous laissant l'impression que l'autoroute s'est transformée en un gigantesque parking. Selon les statistiques de la direction des transports de la wilaya, pas moins de 128 000 véhicules circulent à Alger centre aux heures de pointe (7h-8h) et près de 325 000 autres véhicules y entrent par les différents accès (sud, nord et ouest) ce qui provoque d'importants embouteillages aux heures d'affluence.

La construction de nouvelles routes est également une solution très coûteuse, en particulier dans les zones urbaines où la quantité de terres disponibles est très limitée. Au lieu de cela, l'utilisation du réseau routier existant doit être optimisée. Il existe plusieurs méthodes qui peuvent être utilisées pour parvenir à une utilisation plus efficace du réseau routier existant. Ceci comprend diverses stratégies et politiques utilisées pour influencer les choix du voyageur. Plusieurs des stratégies utilisées comprennent une sorte de service de systèmes de transport intelligents (ITS).

L'estimation de l'état de trafic routier est l'une des méthodes qui vise à informer les voyageurs de l'état du trafic actuel et futur. Sur la base de ces informations, le voyageur peut choisir de voyager à un autre moment, de prendre un autre itinéraire, d'utiliser un autre mode de transport ou de ne pas voyager du tout. Cependant, pour que les informations fournies aient un impact sur les choix du voyageur, elles doivent être précises et pertinentes. L'information peut, par exemple, être distribuée aux voyageurs au moyen de panneaux à messages variables le long de la route, d'un équipement de navigation embarqué ou d'un site Web ou d'une application mobile. Tous ces services d'information peuvent être étiquetés comme services ITS. En outre, dans la gestion moderne du trafic, l'objectif est d'être plus pro-actif et d'avoir des estimations précises de l'état actuel et futur du trafic sur une grande partie du réseau. Dans le Manuel des ITS [Miles et al., 2004], les ITS sont définis comme " un terme générique pour l'application intégrée des technologies de communication, de contrôle et d'information au système de transport ".

La tâche d'estimation de l'état du trafic fait référence dans ce contexte à l'estimation en temps réel de différentes variables de flux de trafic pour un réseau dans un intervalle de temps et une résolution spatiale spécifiques. Il existe dans la littérature plusieurs techniques pour l'estimation du trafic routier. Ces techniques peuvent être classées selon la durée en trois classes : long terme, moyen terme, et court terme. Plusieurs sources de données peuvent être utilisées pour estimer le trafic : capteurs, smartphones, données de véhicules flottants (FCD, Floating Car Data), IoT.

Objectif

Ce travail vise à développer une méthodologie efficace d'estimation du trafic routier à court terme basée sur des données réelles de trafic continu obtenues depuis une source de donnée notamment les données des véhicules flottants (FCD, Floating Car Data). Pour ce faire, nous avons développé un système composé de trois modules principaux, à savoir :

1. **Un module d'acquisition de données** : Ce module comporte la récolte des données de véhicules flottants qui sont dans notre réseau routier.
2. **Un module de traitement** : Ce traitement se fait à l'aide des modèles mathématiques suivants :
 - L'estimation de la densité du trafic sur un tronçon routier via le modèle mathématique Cell Transmission Model de [Daganzo, 1994] [Daganzo, 1995].
 - L'estimation de temps de voyage via le modèle macroscopique de flux [Drew, 1968] en calculant la vitesse moyenne puis déduire le temps de voyage.
3. **Un module d'affichage** : Ce module est réalisé par le développement de l'application TrafficEstApplication.

Plan du mémoire

Ce travail est structuré en deux grandes parties, chaque partie contenant deux chapitres. Ils sont comme suit :

PARTIE 1 : La partie théorique.

- **Chapitre 1** : Ce chapitre présente la revue de la littérature des différentes méthodes de l'estimation du trafic routier.
- **Chapitre 2** : Dans ce chapitre, nous allons faire étude approfondies d'une méthode d'estimation du trafic routier.

PARTIE 2 : La partie pratique.

- **Chapitre 3** : Ce chapitre présente la méthode proposée pour estimer le trafic routier à l'aide des modèles mathématiques et des données des véhicules flottants comme source de données.
- **Chapitre 4** : Ce chapitre présente l'implémentation du framework proposé et discute les résultats des simulations faites avec le simulateur microscopique SUMO.

Dans la conclusion générale, nous allons récapituler les principaux résultats obtenus et présenter quelques perspectives pour des travaux futures.

Chapitre 1

Introduction aux techniques de l'estimation du trafic routier

1.1 Introduction

L'infrastructure de transport devient de plus en plus complexe et le nombre de véhicules augmente dans les villes du monde entier. Pour relever ce défi, les systèmes de gestion des transports ont été considérablement améliorés au cours des dernières décennies, et plus récemment grâce aux systèmes de transport intelligents (Intelligent Transport System ITS). Soutenus par d'autres technologies avancées telles que les systèmes de positionnement global, les réseaux sans fil, les systèmes de calcul parallèles, etc..., les ITS sont capables de collecter les données des réseaux de trafic, d'analyser l'état du réseau et de prendre des décisions de gestion en temps réel.

Au cours de la dernière décennie, des importants progrès ont été réalisés dans le domaine des ITS. Les problèmes de circulation massifs ont poussé les pouvoirs publics à multiplier les initiatives concernant les autoroutes intelligentes qui fournissent un flux continu d'informations sur l'évolution temporelle des conditions de circulation. Avec le progrès des technologies de collecte du trafic, les applications ITS telles que l'évitement des collisions, la limite de vitesse variable et la prévision du trafic sont aujourd'hui utilisées et améliorées.

1.2 Smart City

Actuellement, 54% de la population mondiale vit dans les régions urbaines, et 80% de la population mondiale vivra dans les zones urbaines à l'avenir. Le logement urbain devrait augmenter dans les décennies à venir. Cette croissance de la population a générée de nombreux problèmes pour les villes dans des domaines tels que le transport, les biens, l'énergie et d'autres. Les villes devront trouver de nouveaux moyens de relever ces défis en matière de croissance démographique et d'urbanisation. Plusieurs études et approches ont été développées qui dépendent de la technologie pour aider à créer la « ville intelligente ».

1.2.1 Définition

Une ville intelligente et durable¹ est une ville innovante qui utilise les technologies de l'information et de la communication (TIC) et d'autres moyens pour améliorer la qualité de vie, l'efficacité des opérations et des services urbains et la compétitivité tout en veillant à ce qu'il réponde aux besoins des générations présentes et futures en ce qui concerne les aspects économiques, sociaux et environnementaux. Harrison dans un document d'entreprise IBM, a déclaré qu'un Ville intelligente désigne une ville instrumentée, interconnectée et intelligente. "Instrumenté" se réfère à la capacité de capturer et d'intégrer le monde réel en direct données par l'utilisation de capteurs, de compteurs, d'appareils, d'appareils personnels, et d'autres capteurs similaires. "Interconnecté" signifie l'intégration de ces données dans une plate-forme informatique qui permet la communication de ces informations parmi les différents services de la ville. "Intelligente" se réfère à l'inclusion de complexe des services d'analyse, de modélisation, d'optimisation et de visualisation pour améliorer le fonctionnement décisions[Harrison et al., 2010].

Les principales 6 dimensions d'une ville intelligente comme montre la figure 1.1² ont été identifiées à travers ces revues de la littérature [Giffinger et al., 2007], [Van Soom, 2009], [Girad et al., 2009], [Lombardi et al., 2011], [Lombardi et al., 2012] , [Purnomo et al., 2016] et incluent :

1. Économie intelligente : est un aspect que les auteurs associent à un esprit d'innovation, d'esprit d'entreprise, la flexibilité du marché du travail, l'intégration sur le marché

1. <https://www.itu.int/en/ITU-T/ssc/united/Pages/default.aspx>

2. <https://smartcity.org.hk/index.php/aboutus/background>

international.

2. Gouvernance intelligente : elle est liée à la participation aux processus de décision, à la transparence des systèmes de gouvernance, disponibilité des services publics et qualité des stratégies politiques.
3. Environnement intelligent : est compris en termes d'attractivité des conditions naturelles, manque de pollution et gestion durable des ressources.
4. Personnes intelligentes : lié au niveau de qualification du capital humain et social, flexibilité, créativité, tolérance, cosmopolitisme et participation à la vie publique.
5. Vie intelligente : impliquant la qualité de vie, imaginé et mesuré en termes de disponibilité de services culturels et éducatifs, attractions touristiques, cohésion sociale, environnement sain, sécurité personnelle et logement.
6. Mobilité intelligente : elle fait référence à l'utilisation des TIC dans les technologies de transport modernes pour améliorer le trafic urbain.

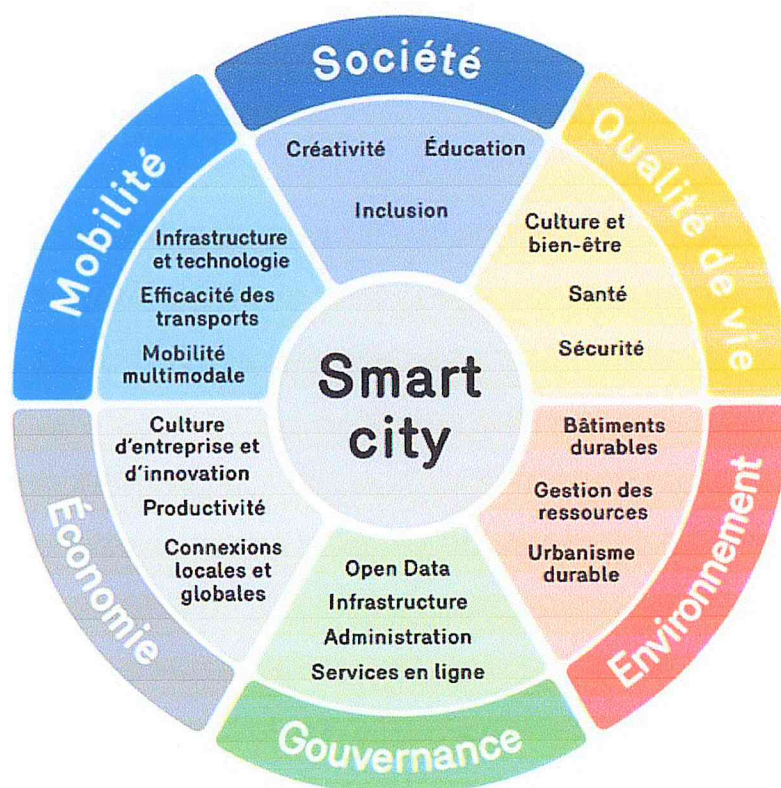


FIGURE 1.1 Les facteurs de la ville intelligente

1.3 Systèmes de transport intelligents

La technologie de l'information (en abrégé IT) est actuellement appliquée à l'échelle mondiale. Dans l'éducation, la santé, les industries et le gouvernement, le rôle de l'informatique est devenu de plus en plus important au cours des dernières années. Pour de nombreux pays, la construction de nouvelles routes et d'autres infrastructures de circulation pour répondre à la demande croissante de trafic n'est plus une solution viable. L'objectif est de passer de l'asphalte, du béton et de l'acier à une utilisation plus intelligente de l'infrastructure de la circulation actuellement en place. C'est dans ce contexte que les technologies de l'information et de la communication se mêlent aux systèmes de transport intelligents (ITS). L'IT permet aux éléments du réseau de transport " véhicules, routes, feux de circulation, panneaux de message, etc. " de devenir intelligents en les intégrant avec des micro-puces et des capteurs et en les habilitant à communiquer entre eux grâce aux technologies sans fil. Dans les principaux pays du monde, les ITS apportent une amélioration significative de la performance du système de transport, notamment une réduction de la congestion et une sécurité accrue et la commodité des voyageurs[Ezell, 2010].

1.3.1 Définition

Les systèmes de transport intelligents (ITS) sont l'application des technologies de l'informatique, de l'électronique et de la communication et des stratégies de gestion d'une manière intégrée pour fournir des informations aux voyageurs afin d'accroître la sécurité et l'efficacité des systèmes de transport de surface. Ces systèmes impliquent des véhicules, des conducteurs, des passagers, des exploitants de routes et des gestionnaires qui interagissent entre eux et avec l'environnement et qui établissent des liens avec les systèmes d'infrastructure complexes pour améliorer la sécurité et la capacité des réseaux routiers [Mathew, 2014].

Les ITS donnent aux acteurs des systèmes de transport le pouvoir de se renseigner pour prendre des décisions plus éclairées. Des exemples de ces décisions sont amplement du côté de l'utilisateur par exemple, comportement de choix de route, comportement de temps de départ et comportement de choix de mode, mais aussi du côté du contrôleur par exemple, la détection automatique des incidents (AIDA) [Wang and Papageorgiou, 2005]. Les ITS peuvent offrir cinq avantages clés, accroître la sécurité, améliorer le rendement opérationnel, améliorer la mobilité

et la commodité, offrir des avantages environnementaux et, enfin, stimuler la productivité et favoriser la croissance économique et l'emploi [Ezell, 2010].

L'information sur le trafic en temps réel est un élément clé des ITS. Il est donc nécessaire d'obtenir en quelque sorte une image complète de l'état du trafic du réseau à l'heure actuelle et dans un proche avenir pour dériver ces informations de trafic [Wang and Papageorgiou, 2005]. Plus cette image est précise, plus les ITS peuvent être mis en œuvre pour les acteurs du réseau de trafic. La tâche consistant à dériver mathématiquement une image de l'état de trafic du réseau à partir des données de trafic est séparée dans la tâche de l'estimation d'état de trafic et de prédiction d'état de trafic. Le but des deux est de fournir une image robuste, complète et précise de l'état du trafic urbain sur tous les liens du réseau [Wang and Papageorgiou, 2005].

1.3.2 Les Blocs de bases des ITS

Les blocs de bases des ITS sont composés comme montre la figure 1.3 :

- Sensors/Detectors (Capteurs/Détecteurs) : sont les sources de données utilisées pour estimer l'état de trafic tel que les Floating Car Data, Loop Detector Data.
- Actuators (Actionneurs) : sont les actionneurs qui influent le système de trafic.
- Traffic system (système de trafic) : le système développé de la gestion du trafic.
- Traffic flow model (modèle de flux de trafic) : le modèle utilisé pour l'estimation du trafic.
- Historical Database (base de donnée historique) : ou sont stockées les données récoltées de l'état de trafic précédent.

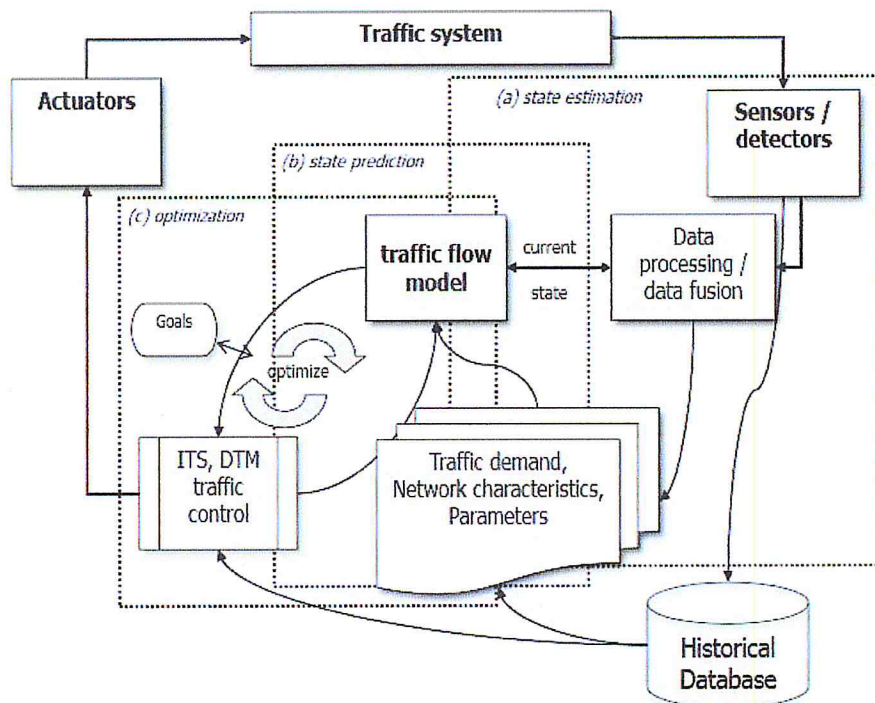


FIGURE 1.2 Traffic control cycle [Van Lint, 2015]

L'estimation d'état de trafic fait partie du cycle de contrôle du trafic présenté dans la figure 1.3, dans lequel, selon le graphique de [Van Lint, 2015] un modèle de flux de trafic (traffic flow model) est situé au centre, ce dernier peut être remplacé par d'autres modèles et méthodes mathématiques qui n'utilisent pas les fondamentaux de flux de trafic.

1.4 Estimation du trafic

Ces dernières années, la prévision du trafic est devenue une tâche cruciale dans le domaine des systèmes de transport intelligents (ITS), jouant un rôle fondamental dans la planification et le développement des systèmes de gestion et de contrôle du trafic. La tâche d'estimation de l'état du trafic fait référence dans ce contexte à l'estimation en temps réel de différentes variables de flux de trafic pour un réseau dans un intervalle de temps et une résolution spatiale spécifiques.

1.4.1 Estimation selon la durée

Les notions de court, moyen ou long terme servent à caractériser l'horizon temporel que l'on se fixe pour réaliser une estimation.

1.4.1.1 Estimation à court terme

Depuis le début des années 1980, les prévisions de trafic à court terme font partie intégrante de la plupart des systèmes de transport intelligents (ITS). Il s'agit d'une estimation faite de quelques secondes à éventuellement quelques heures dans le futur sur la base des informations de trafic actuelles et passées. La plupart de l'intérêt a porté sur le développement de méthodologies qui peuvent être utilisées pour modéliser les caractéristiques du trafic telles que le volume, la densité et la vitesse, ou les temps de déplacement, et produire les conditions de circulation [Ahmed and Cook, 1979].

Un bon modèle d'estimation des conditions de circulation fournira cette capacité et rendra les services de gestion du trafic et d'information des voyageurs plus efficaces. En tant qu'aspect important de l'état du trafic, le flux de trafic peut donner un aperçu de l'état du trafic et les estimations de flux de trafic ont déjà suscité un grand intérêt de la part des chercheurs ces dernières années [Yu et al., 2003]. L'horizon de prévision à court terme peut se définir comme un horizon de type horaire. Dans l'estimation à court terme du trafic l'information est diffusée en temps réel via plusieurs alternatives tels que les Smartphones, Radio, ... etc.

1.4.1.2 Estimation à moyen terme

L'estimation à moyen³ terme portera sur les quelques jours à venir (du lendemain jusqu'à 1 semaine). Pour ce type d'estimation, on ne travaille plus à l'échelle de la journée, mais plutôt à l'échelle horaire, on parlera donc de prévisions de trafic horaires. L'horizon de prévision à moyen terme peut se définir comme un horizon de type journalier. Il existe de nombreuses méthodes pour réaliser des prévisions de trafic horaire à moyen terme, notamment selon la variable d'état du trafic que l'on souhaite prédire (débit, vitesse, temps de parcours, congestion...).

Cependant, ces méthodes s'appuient généralement sur deux caractéristiques essentielles qui influent directement le trafic routier, à savoir :

- à l'échelle horaire : la répétition des comportements des usagers liés à des déplacements périodiques, soit de type domicile-travail, soit de type saisonnier.

3. <http://dtrf.setra.fr/pdf/pj/Dtrf/0006/Dtrf-0006484/DT6484.pdf>

- à l'échelle journalière : l'appartenance de chaque journée à typologie prédéfinie (les jours ouvrés, les samedis, les veilles de jours fériés...).

Il dispose ainsi d'un "profil horaire moyen" de l'évolution des trafics prévisible lors de cette journée. Ce profil horaire moyen peut ensuite être corrigé selon certains paramètres tenant compte par exemple des prévisions météorologiques les jours à venir.

1.4.1.3 Estimation à long terme

L'estimation à long terme du trafic est devenue un travail fondamental et essentiel dans la recherche sur la congestion du trafic routier⁴. Il joue un rôle important dans l'atténuation de la congestion du trafic routier et l'amélioration de la qualité de la gestion du trafic. L'horizon de l'estimation à long terme peut se définir comme un horizon de type mensuel ou annuel. A cet horizon, les éléments saisonniers et calendaires jouent un rôle important, les calendriers étant généralement connus plus d'un an à l'avance (vacances scolaires, jours fériés et ponts...). Les prévisions de circulation réalisées par Bison futé⁵ sont un exemple classique de prévisions à long terme.

1.4.2 Estimation selon l'échelle

Il existe plusieurs types de modèles à différentes échelles qu'il convient de choisir en fonction du phénomène physique que l'on cherche à comprendre. Selon qu'on s'intéresse à l'écoulement global du trafic sur un réseau routier. Il existe deux modèles : macroscopique et microscopique, mais ce ne sont pas les seules possibilités, il existe également une autre échelle alternative de modélisation, il s'agit de modèles mesoscopiques qui consiste à étudier le comportement des véhicules sans pour autant expliciter les interactions individuelles.

1.4.2.1 Estimation microscopiques

Les modèles microscopiques considère un flux routier est de considérer individuellement chaque véhicule comme un agent ayant ses propres caractéristiques. Les modèles microscopiques obéissent à des lois de poursuite car ils décrivent le comportement d'un véhicule en réaction au véhicule qui le précède sur la route. Ils sont composés de deux dynamiques exprimées par : une équation cinématique décrivant l'évolution temporelle du véhicule et une

4. <http://dtrf.setra.fr/pdf/pj/Dtrf/0006/Dtrf-0006484/DT6484.pdf>

5. <http://www.bison-fute.gouv.fr/>

loi de poursuite représentant les interactions entre le véhicule et son prédécesseur. Ces modèles sont appelés « car-following » ou modèles de voiture-suveuse [Mint Moustapha, 2014].

Les modèles de simulation de trafic microscopique présentent de forts avantages pour saisir la dynamique détaillée du trafic et se sont avérés être un outil précieux pour évaluer l'amélioration de la capacité du corridor et les améliorations de l'exploitation du trafic. Leurs applications ont été récemment étendues à un éventail plus large de questions liées au transport, notamment la gestion de la congestion, l'amélioration des corridors multimodaux, la planification des évacuations, l'utilisation des terres et le développement économique [Zhang et al., 2012].

Les modèles microscopiques couvrent la modélisation dynamique et aléatoire de mouvements de véhicules individuels au sein d'un système. Chaque véhicule est déplacé à travers le réseau dans de petits pas de temps et selon les caractéristiques physiques du véhicule, les règles fondamentales du mouvement et le comportement du conducteur. Les variables microscopiques typiques sont la longueur, le taux d'accélération, les temps d'accélération, les temps de vitesse et la distance [Reim, 2013].

Il existe plusieurs simulateurs microscopiques tels que :

- AIMSUN⁶.
- PTV-VISSIM⁷.
- PARAMICS⁸.
- SUMO⁹.

1.4.2.2 Estimation macroscopiques

Les modèles de simulation macroscopiques décrivent l'évolution des flux de trafic dans le temps et dans l'espace, en fonction des relations entre le volume de trafic, la vitesse et la densité, où la densité est définie comme le nombre de véhicules par kilomètre de route. Le flux de trafic est représenté comme un agrégat (moyen) des mesures mentionnées, au lieu d'un groupe de véhicules individuels.

6. <https://www.aimsun.com/aimsun-next/top-features/>

7. <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/trial-version/>

8. <http://www.paramics-online.com/>

9. <http://www.dlr.de/>

Le modèle macroscopique le plus commun est le LWR (nommé d'après ses auteurs, Lighthill-William-Richards), qui décrit ce processus en utilisant deux concepts de base : ondes cinématiques [Whitham, 1955] et ondes de choc [Richards, 1956], qui sont définis par un ensemble d'équations différentielles. Certains modèles plus récents, comme le modèle de transmission cellulaire de Daganzo, sont également utilisés [Daganzo, 1994], [Daganzo, 1995]. Dans ce modèle, la route est discrétisée en cellules. Le volume de trafic sur chaque cellule est pris en compte et le nombre de véhicules traversant les limites entre deux cellules adjacentes après chaque étape de simulation est calculé. Par conséquent, ce modèle peut être vu comme une discrétisation de la précédente, LWR. Quelques années plus tard, en 1999, une optimisation de ce modèle a été introduite par Daganzo lui-même, où la relation avec les valeurs de densité de la cellule dans le passé est incorporée [Daganzo, 1999].

Le principal avantage des modèles macroscopiques est que ces modèles ont moins de paramètres que les modèles mésoscopiques ou microscopiques, ils permettent d'obtenir une efficacité de calcul plus élevée [Burghout, 2005]. Les modèles macroscopiques tiennent compte des caractéristiques cumulatives du flux de trafic. Outre le modèle microscopique, le modèle macroscopique ne repose pas sur le suivi de véhicules individuels, mais utilise des équations sur la conservation du débit et sur la façon dont les incidents dans le flux de la circulation se diffusent à travers le système comme une onde de choc.

L'objectif des modèles macroscopiques est de simuler le trafic sur les réseaux de transport, tels que les autoroutes, les corridors et les autoroutes rurales. Ces modèles peuvent être utilisés pour prévoir l'encombrement causé par la demande de trafic ou les incidents dans un réseau. Les variables macroscopiques typiques sont la vitesse, le flux et la densité [Reim, 2013].

La relation Densité-Vitesse :

La modélisation de la relation vitesse-densité a commencé avec le modèle linéaire de Greenshields dans l'article de fond : Une étude de la capacité routière (Greenshields, 1935). Par la suite, beaucoup d'efforts ont été consacrés à la révision ou à l'amélioration d'une telle relation trop simplifiée. Ces efforts comprennent le modèle de Greenberg (Greenberg, 1959), le modèle Underwood (Underwood, 1961), Northwestern (Drake et May, 1967, Drew, 1968), le modèle généralisé Pipes-Munjal (Pipes, 1967), Newell's Model (Newell, 1961).), Modèle Del

Castillo et Benitez (Del Castillo, 1995a, b), modèle Greenshields modifié (Jayakrishnan et Tsai, 1995), modèle de Kerner et Konhäuser (Kerner et Konhäuser, 1994), modèle Van Aerde (Van Aerde, 1995) et MacNicolas Modèle (MacNicholas, 2008). Le tableau 1 énumère la plupart des modèles de densité de vitesse à régime unique trouvés dans la littérature. Reportez-vous à la figure 1 pour leurs performances par rapport aux données empiriques [Wang et al., 2011].

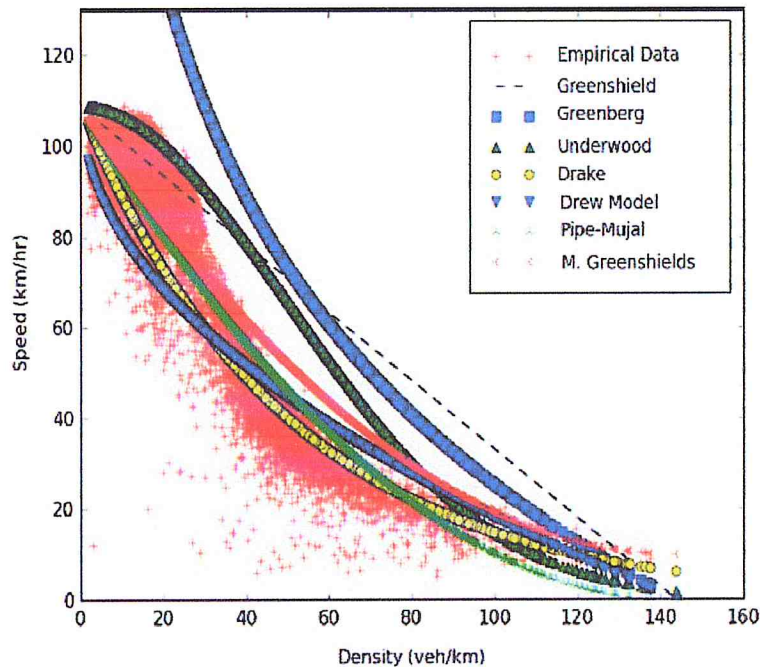


FIGURE 1.3 Performance des modèles de Densité-Vitesse [Wang et al., 2011]

1.4.2.3 Estimation mésoscopiques

Les modèles mésoscopiques sont une combinaison d'attributs microscopiques et macroscopiques. Alors qu'ils simulent encore des véhicules individuels, ils décrivent leurs activités et interactions sur les relations macroscopiques. Les modèles mésoscopiques apparaissent comme une solution équilibrée entre les modèles macroscopiques agrégés et l'approche microscopique individuelle [Burghout, 2005].

Il existe plusieurs modèles mésoscopiques. Certains d'entre eux font des groupes de véhicules et les traitent comme des entités individuelles, fournissant des niveaux élevés de détails pour ces entités, mais une faible précision concernant leurs interactions et leur comportement [Taylor, 2003].

Une autre approche discrétise les liens routiers dans les cellules, qui peuvent être vides ou peuvent contenir un véhicule. Un ensemble de règles comportementales simples déterminent le nombre de cellules que chaque véhicule doit déplacer à chaque étape de la simulation [Jayakrishnan et al., 1994], [Gawron, 1998].

Les modèles mésoscopiques combinent les propriétés des modèles de simulation microscopique et macroscopique. En tant que tels, les modèles mésoscopiques fournissent moins de fidélité que les outils de microsimulation, mais sont supérieurs à l'analyste de planification typique est des techniques [Burghout, 2005].

1.4.3 Estimation selon les données

1.4.3.1 Model driven

Les modèles dans l'ingénierie du trafic sont nécessaires pour prédire le comportement du trafic dans la planification et la conception du réseau routier. Les modèles peuvent être microscopiques et macroscopiques comme le modèle de transmission cellulaire CTM (Cell Transmission Model) de Daganzo.

Cell Transmission Model

Le modèle de transmission cellulaire (CTM) de Daganzo [Daganzo, 1994], [Daganzo, 1995] applique une approximation numérique convergente au modèle continu (modèle LWR) de Lighthill et Whitham [Whitham, 1955] et Richards [Richards, 1956] pour obtenir une description du trafic en temps discret. Dans le concept CTM, le modèle de trafic LWR est discrétisé en cellules. La méthode suppose que la route peut être divisée en segments homogènes pour réaliser une chaîne de cellules (avec une longueur arbitraire).

Le modèle de transmission cellulaire simule les conditions de circulation en proposant de simuler le système avec une stratégie de balayage temporel où les conditions actuelles sont mises à jour à chaque impulsion d'une horloge. La section de route considérée est divisée en sections homogènes appelées cellules, numérotées de $i = 1$ à I . Les longueurs des sections sont définies égales aux distances parcourues dans le trafic léger par un véhicule typique en une seule horloge. Dans des conditions de trafic léger, tous les véhicules d'une cellule peuvent être

supposés passer au suivant avec chaque tic d'horloge, i.e [Mathew, 2014] :

$$n_{i+1}(t+1) = n_i(t) \quad (1.1)$$

Où $n_i(t)$ est le nombre de véhicules dans la cellule i à l'instant t .

L'équation d'avancement peut s'écrire, l'occupation de la cellule à l'instant $t+1$ est égale à son occupation à l'instant t , plus l'arrivée(Inflow) et moins la sortie(Outflow), i.e [Mathew, 2014] :

$$n_i(t+1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \quad (1.2)$$

Où $n_i(t+1)$ est l'occupation des cellules à l'instant $t+1$, $n_i(t)$ l'occupation des cellules à l'instant t , $y_i(t)$ est l'entrée à l'instant t , $y_{i+1}(t)$ est la sortie à temps t .

Les débits sont liés aux conditions actuelles à l'instant t comme indiqué ci-dessous [Mathew, 2014] :

$$y_i(t) = \min[n_{i-1}(t), Q_i(t), N_i(t) - n_i(t)] \quad (1.3)$$

Où $n_{i-1}(t)$: est le nombre de véhicules dans la cellule $i-1$ à l'instant t , $Q_i(t)$ est le débit de capacité dans i pour l'intervalle de temps t , $N_i(t) - n_i(t)$ la quantité d'espace vide dans la cellule i à l'instant t comme il est montré dans la figure suivante.

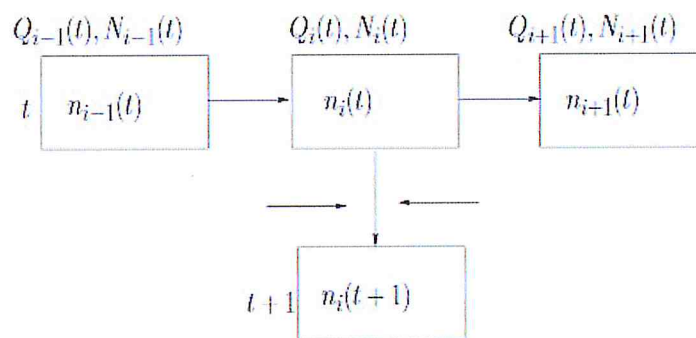


FIGURE 1.4 L'avancement de flux [Mathew, 2014]

Plus de détails sur le CTM est indiqué dans l'annexe A.

Link Transmission Model

Le Link Transmission Model (LTM) propage le trafic sur les liaisons comme supposé dans la théorie des ondes cinématiques(The kinematic wave). Le trafic est caractérisé par trois variables

macroscopiques : débit q , densité k et vitesse moyenne v . Yperman et al. disent que la théorie des ondes cinématiques, introduite par Lighthill et Whitham [Whitham, 1955] et Richards [Richards, 1956], peut être résolue en utilisant des méthodes analytiques et graphiques. Dans sa théorie simplifiée des ondes cinématiques, Newell [Newell, 1993] analyse analytiquement et graphiquement les nombres de véhicules cumulatifs sur les liaisons. Son analyse est limitée à un tronçon d'autoroute avec quelques rampes d'entrée et de sortie [Yperman et al., 2005].

Le Link Transmission Model détermine les temps de déplacement de la liaison dynamique sur un réseau de trafic compte tenu d'une demande de trafic variable dans le temps et compte tenu des proportions divisées à chaque jonction. Le réseau est constitué de liens homogènes i , qui commencent à l'endroit x_i^0 et se terminent à l'endroit x_i^L . Les liens peuvent avoir n'importe quelle longueur L_i et ils sont connectés les uns aux autres via des nœuds. L'évolution du trafic sur le réseau routier est représentée par le nombre cumulé de véhicules $N(x, t)$ qui passent les emplacements x_i^0 et x_i^L de chaque lien i par le temps t . Et puisque la discipline FIFO est assurée dans chaque partie du réseau, cette représentation en termes de nombre de véhicules cumulés permet une dérivation simple des densités et des temps de parcours des liaisons [Yperman et al., 2005]. Le trafic se propage sur un lien comme supposé dans la théorie des ondes cinématiques, qui est basée sur le concept de conservation des véhicules. Newell montre que les véhicules ne sont ni créés ni perdus le long d'une liaison homogène dans une certaine région d'intérêt $(\partial x, \partial t)$, s'il existe une fonction cumulative de nombre de véhicules $N(x, t)$ dans cette région $(\partial x, \partial t)$ [Newell, 1993]. Les dérivées partielles de $N(x, t)$ sont les fonctions de flux et de densité [Yperman et al., 2005] :

$$q(x, t) = \frac{\partial N(x, t)}{\partial t} \quad (1.4)$$

$$k(x, t) = \frac{-\partial N(x, t)}{\partial x} \quad (1.5)$$

A condition que la fonction $N(x, t)$ existe dans une certaine région $(\delta x, \delta t)$, ainsi que ses dérivées premières et secondes [Yperman et al., 2005].

$$\frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial x \partial t} = \frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial t \partial x} \quad (1.6)$$

avec 1.4 et 1.5 devient :

$$\frac{\partial q(x, t)}{\partial x} + \frac{\partial k(x, t)}{\partial t} = 0 \quad (1.7)$$

qui est la forme bien connue de la loi de conservation.

La méthode simplifiée de Newell est utilisée pour déterminer les flux d'envoi et de réception, ce qui constitue la première étape de l'algorithme de la solution LTM. En déterminant les flux d'envoi et de réception qui sont compatibles avec la théorie simplifiée de Newell, le LTM assure le comportement cinématique des ondes sur ses liens [Yperman, 2007]. Le flux d'envoi $S_i(t)$ du lien i à l'instant t est déterminé comme le débit sortant de ce lien entre les temps t et $t + \delta t$ dans le cas où il n'y a pas de conditions aux limites en x_i^L . Le flux d'envoi est limité par les conditions aux limites amont de la liaison si elles incluent un état de trafic à flux libre. Le flux d'envoi du lien i est également restreint par ses propriétés de lien. Le flux maximum de lien i est égal à q_M . En général, le flux d'envoi de lien i sera le plus restrictif de ces deux conditions [Yperman, 2007] :

$$S_i(t) = \min\left[\left(N(x_i^0, t + \delta t - \frac{L_i}{v_{f,i}}) - N(x_i^L, t), q_{M,i} \delta t\right)\right] \quad (1.8)$$

où $N(x_i^0, t + \delta t - \frac{L_i}{v_{f,i}}) - N(x_i^L, t)$ est le nombre maximum de véhicules pouvant être envoyés par le lien i pendant δt .

Le flux de réception $R_j(t)$ de la liaison j à l'instant t est défini comme le nombre maximal de véhicules pouvant entrer dans l'extrémité amont de cette liaison pendant $[t, t + \delta t]$, si un réservoir de trafic à demande de trafic infinie à cette fin de lien. Le flux de réception est limité par les conditions aux limites à l'extrémité aval du lien x_j^L . Le flux d'envoi du lien j est également restreint par ses propriétés de lien. Le flux maximum de lien j est égal à q_M . En général, le flux de réception de lien j sera le plus restrictif de ces deux conditions [Yperman, 2007] :

$$R_j(t) = \min\left[\left(N(x_j^L, t + \delta t - \frac{L_j}{w_j}) + K_{jam} L_j - N(x_j^0, t), q_{M,i} \delta t\right)\right] \quad (1.9)$$

où $N(x_j^L, t + \delta t - \frac{L_j}{w_j}) + K_{jam} L_j - N(x_j^0, t)$ est le nombre maximum de véhicules pouvant être reçus par le lien j pendant δt .

1.5 Les sources de données

De nos jours, les nouvelles technologies comme le GPS, les capteurs, les téléphones intelligents et les réseaux sociaux nous donnent l'occasion d'augmenter le volume de données collectées pour développer des modèles de transport plus précis [Vij and Shankari, 2015].

1.5.1 Smartphone

Plusieurs méthodes ont été proposées qui utilisent des capteurs dans les smartphones pour la détection d'activité dans divers environnements (localisation intérieure [Lu et al., 2009], détection de trafic [Mohan et al., 2008]). Les méthodes d'estimation du trafic basées sur le smartphone évitent le besoin de matériel spécialisé installé dans les véhicules ou sur le bord de la route. Ces solutions participatives (en utilisant la collecte de données participative distribuée) ont l'avantage d'être très évolutives car le nombre d'utilisateurs de smartphones augmente rapidement [Bhoraskar et al., 2012].

Le système Nericell [Mohan et al., 2008] est un Exemple d'utilisation de cette technologie ,qui utilise un accéléromètre, un microphone, une radio GSM et des capteurs GPS disponibles dans les smartphones que les utilisateurs transportent avec eux. Dans une méthode basée sur un smartphone, l'orientation du téléphone peut être arbitraire par rapport au mouvement. De ce fait, il est nécessaire de réorienter virtuellement les axes du téléphone par rapport au véhicule. Nericell n'utilise que l'accéléromètre et les relevés GPS pour cela. La direction de la gravité est utilisée pour détecter l'orientation verticale, et l'accélération enregistrée pendant un événement de freinage est utilisé pour calculer l'orientation horizontale. Nericell détecte les conditions routières et de circulation sur la base d'heuristiques basées sur des seuils [Bhoraskar et al., 2012].

Wolverine est une méthode similaire au système Nericell en ce qu'elle utilise également des capteurs de smartphone pour la surveillance de l'état du trafic. Cependant, pour la réorientation des axes, cette méthode utilise le magnétomètre pour trouver l'orientation horizontale du téléphone au lieu d'attendre un freinage. Cela rend le système plus fiable et réduit également l'utilisation intensive du GPS [Bhoraskar et al., 2012]. De plus, au lieu d'heuristiques basées sur des seuils pour déterminer le trafic et les conditions routières, la méthode Wolverine

utilise des techniques d'apprentissage automatique (K-means clustering et Support Vector Machine (SVM)) plus robustes et polyvalentes que les méthodes basées sur des seuils [Bhoraskar et al., 2012]. Par conséquent, les principales contributions de cette méthode sont deux : (1) Un nouvel algorithme pour réorienter virtuellement les axes de coordonnées d'un téléphone désorienté (2) Techniques d'apprentissage automatique pour identifier les événements de ralentissement et de freinage [Bhoraskar et al., 2012].

1.5.2 Les réseaux sociaux (Social media)

Les réseaux sociaux attirent quotidiennement de nombreux nouveaux utilisateurs et en recueillent des informations sur les événements et les faits qui se produisent dans le monde réel. L'exploitation de ces informations peut aider à identifier les schémas de mobilité dans un environnement urbain et à produire des services sociaux [Ferrari et al., 2011]. Les données sociales représentent un trésor d'informations encore sous-exploré, en particulier lorsqu'il est enrichi de la dimension de localisation (par exemple, les statuts Facebook, Message Twitter géolocalisé ou photos Flickr). Les données sociales expriment une myriade de « traces de vie » décrivant, par des conventions de réseaux sociaux, la manière dont les gens vivent et interagissent dans leur propre ville. Cette vision est illustrée à la figure 1.5. Sur le côté gauche, les gens produisent traces au cours de leur propre vie, ces traces se croisent lorsque les gens participent, créent ou sont soumis à des événements qui se déroulent au même moment et dans le même lieu en milieu urbain [Ferrari et al., 2011].

Dans l'article, Ferrari et al. sont attachés à résoudre le problème de l'extraction de modèles urbains à partir de fragments de traces de vie multiples et clairsemées de la participation aux réseaux sociaux. Pour analyser cette tâche difficile, ils ont analysé 13 millions de messages Twitter (3 Go) de données à New York. Ensuite, ils testent sur ces données une approche probabiliste des modèles de sujets pour extraire automatiquement des Patterns urbains à partir de données de réseaux sociaux basés sur la localisation. Ils constatent que les Patterns extraits peuvent identifier les points chauds de la ville et reconnaître un certain nombre de comportements de foule majeurs qui se répètent dans le temps et l'espace dans le scénario urbain [Ferrari et al., 2011].

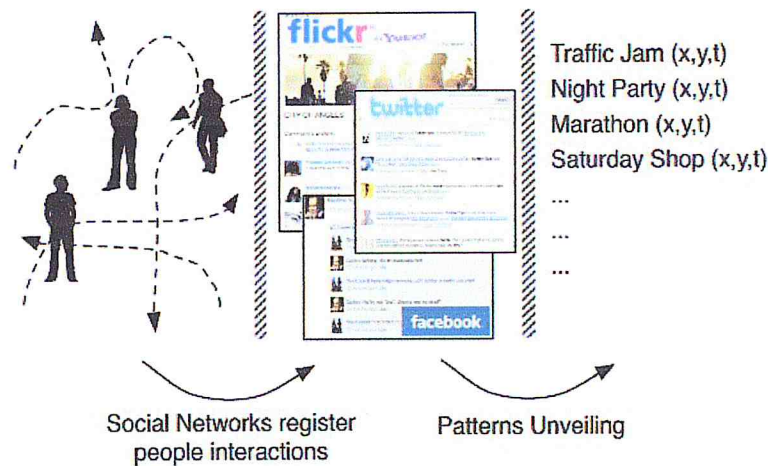


FIGURE 1.5 Interaction des personnes aux événements [Ferrari et al., 2011]

1.5.3 Internet of Things (IoT)

Au cours des dernières années, le paradigme de communication récent l'internet des objets a attiré l'attention des milieux universitaires et industriels, car il représente une énorme opportunité de réaliser des économies et de générer de nouveaux revenus dans un large éventail d'industries. Les principales raisons derrière cet intérêt sont ses capacités. L'IoT peut être utilisé pour créer un monde où tous les objets intelligents de notre vie quotidienne sont connectés au Internet et interagir les uns avec les autres avec un minimum d'implication humaine pour atteindre un objectif commun [Atzori et al., 2010].

Cao et al. utilisent cette technologie (IoT) et proposent une architecture de système de collecte et de surveillance de l'information sur le trafic (comme illustrée dans la figure 1.7) sur la tendance de la mise en réseau des véhicules [Cao et al., 2011]. Le système utilise les technologies clés de IoT (RFID, WSN, etc.) pour la collecte d'informations sur le trafic et le suivi de l'emplacement pour améliorer la sécurité du trafic et l'utilisation des ressources. L'architecture du système est divisée en quatre couches qui sont :

1. **Couche de perception d'identification** : Utilisation RFID, GPS et autres capteurs pour collecter des informations physiques d'équipement de transport en temps réel.
2. **Couche de transport réseau** : réseau d'interconnexion à travers le WSN et l'information de perception sera transféré accessibilité, haute fiabilité et haute sécurité.

3. **Couche de traitement des données** : le centre de traitement reçoit les informations et les partage à travers la couche d'interface et d'application sans délai.
4. **Couche de service d'application** : elle inclut la plateforme de support d'application et les plates-formes de service d'application. Des écrans électroniques et des écrans de voiture affichent les informations sur le trafic en temps réel. Il est pratique d'analyser le flux de trafic.

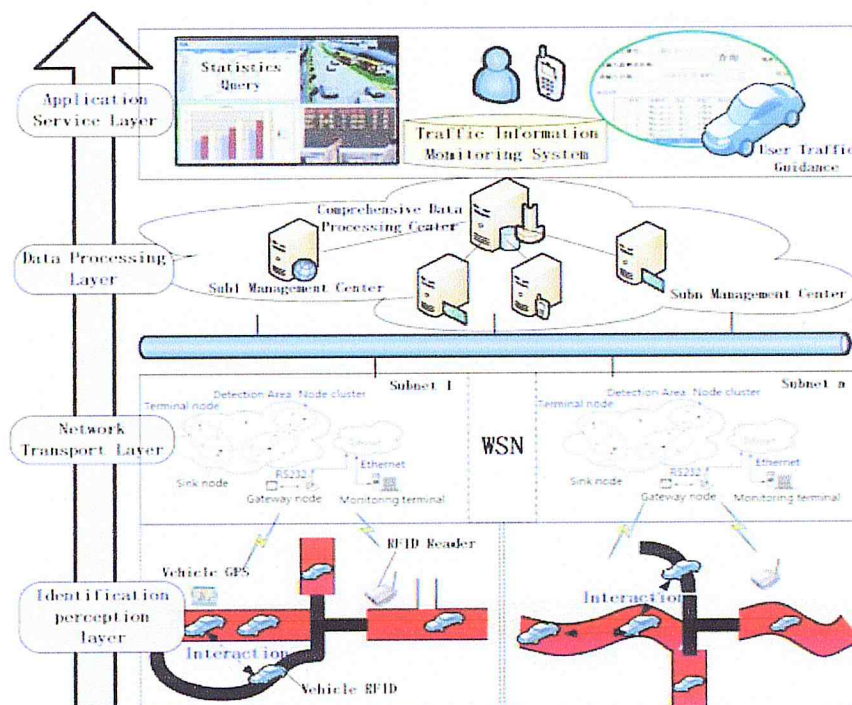


FIGURE 1.6 *Framework global du système basé sur IOT [Cao et al., 2011]*

La RFID du véhicule contient les informations de base du véhicule et du propriétaire, qui est le capteur de collecte d'informations du système. La plupart des véhicules sont équipés de GPS. Et le GPS fait partie du nœud du réseau de capteurs, qui peut fournir de nouvelles idées et méthodes pour mesurer la vitesse, la direction de conduite et la densité de trafic. WSN rassemble les informations d'état du véhicule en tant que nœud actif, puis les envoie. Ensuite, les véhicules peuvent interagir les uns avec les autres. Le nœud de réseau lui-même est une tête de cluster. Ce système peut aider à sauver en cas d'accident.

1.5.4 La vidéo

L'enregistrement vidéo peut être utilisé pour collecter des données de trafic de deux manières. La première consiste à utiliser des caméras haute résolution placées au-dessus de la route pour suivre tous les véhicules dans la vue de la caméra. La seconde consiste à utiliser les caméras vidéo pour enregistrer les numéros de plaque aux endroits spécifiés, ce qui équivaut à utiliser la vidéo comme lecteur de plaque d'immatriculation.

L'utilisation de caméras haute résolution pour suivre les trajectoires des véhicules ne fournit pas de données en temps réel en raison de la grande quantité de travail de post-traitement qui doit être effectué sur les images pour les transformer en données de trajectoires réelles [Mimbela and Klein, 2000]. Lorsqu'elle est correctement traitée, la vidéo peut fournir des trajectoires de véhicules à très haute résolution (position du véhicule tous les dixièmes de seconde). Cependant, cette technologie est coûteuse à déployer et ne peut couvrir qu'une partie relativement petite de la chaussée (généralement moins d'un mile) [Mimbela and Klein, 2000].

Le projet NGSIM est un exemple de l'utilisation de ce type de technologie, qui à ce jour a surtout été utilisé pour fournir aux chercheurs des trajectoires de véhicules de haute précision sur un petit domaine spatio-temporel (moins d'un mile pour moins d'une heure). Ce type de données est utile pour la recherche sur l'estimation du trafic artériel.



FIGURE 1.7 *Caméra vidéo*

1.5.5 Réseaux cellulaires

Le concept selon lequel un flux de téléphones mobiles peut être associé à un flux d'utilisateurs de la route a conduit ces dernières années à une activité industrielle pertinente. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour collecter des données de mobilité / localisation à partir du réseau cellulaire. Une première différenciation de haut niveau peut être faite entre les systèmes de surveillance actifs et passifs [Valerio et al., 2009].

Valerio et al. [Valerio et al., 2009] ont développé un framework qui vise à surmonter les limitations des techniques Actives/Passives discutées ci-dessus en combinant différentes techniques dans un cadre intégré. L'idée est de déployer un système qui va au-delà de la surveillance GSM en couvrant également l'UMTS et le GPRS, c'est-à-dire le domaine à commutation par paquets, dont la pénétration du marché augmente rapidement. Un examen approfondi de diverses techniques présentées dans la littérature révèle un certain nombre de limites :

— **Les techniques actives :**

Les techniques actives peuvent présenter des problèmes d'évolutivité lorsqu'elles sont utilisées dans le cadre de la surveillance routière car l'utilisation de radio-messages ou de mécanismes de positionnement LCS pour un grand nombre d'UE nécessite le transfert d'une quantité considérable de données. Le risque est d'épuiser les ressources précieuses du réseau, en particulier sur les canaux de contrôle de l'interface radio, et d'affecter la disponibilité du service pour les utilisateurs cellulaires conventionnels. Un autre inconvénient concerne la batterie UE : chaque fois qu'un terminal rapporte des informations au réseau, il consomme de l'énergie, ce qui réduit le temps d'attente [Valerio et al., 2009].

— **Les techniques passives :** Les techniques passives souffrent de différents types de problèmes, principalement la qualité et la granularité des informations disponibles. Toutes les études antérieures sur les techniques passives se concentrent sur le réseau GSM à commutation de circuits (CS) et ignorent l'évolution en cours vers les réseaux à commutation de paquets (PS), qui est la principale caractéristique des systèmes 3G et 4G [Valerio et al., 2009].

La mise en œuvre d'une infrastructure de gestion du trafic intelligente au-dessus du réseau cellulaire comprend plusieurs étapes (voir Figure 1.8). Premièrement, les données de

localisation et de mobilité doivent être collectées sur le réseau. Les informations collectées sont ensuite envoyées à une unité de traitement qui, à l'aide de cartes géographiques, de cartes de puissance de signal et d'autres données/informations disponibles pour l'opérateur cellulaire, filtre les données relatives aux utilisateurs non routiers. Enfin, dans une troisième phase, les utilisateurs de différentes routes sont différenciés et les conditions de circulation routière sont déduites des données collectées et ensuite distribuées aux utilisateurs du système [Valerio et al., 2009].

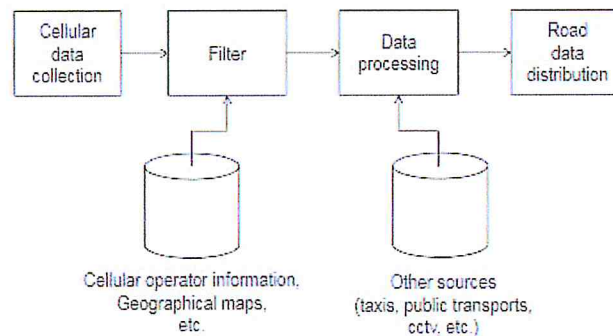


FIGURE 1.8 Le système global [Valerio et al., 2009]

1.5.6 Détecteurs de données en boucle inductive (ILDD)

Le détecteur à boucle inductive est l'un des plus populaires instruments de collecte de données de trafic sur une longue période dans de grandes zones. Le volume de circulation, la vitesse et l'occupation peuvent être obtenus à partir de ces détecteurs. En particulier, les données relatives aux volumes sont largement utilisées dans la gestion du trafic, y compris les informations sur le trafic en temps réel et le contrôle du trafic.

La précision et la fiabilité des données obtenues à partir des détecteurs de boucle sont critiques pour la qualité des applications. Cependant, un inconvénient important des données de détecteur de boucle est la défaillance de fiabilité due à des fonctions d'équipement défectueuses et à des défauts de communication. En particulier dans les zones urbaines, les travaux routiers affectent souvent les détecteurs de boucle. Les diagnostics de données en boucle ont été largement étudiés pendant des décennies. Dans la littérature, les erreurs de données ont été principalement identifiées en utilisant des contrôles de

seuil sur la vitesse, le volume ou l'occupation, soit individuellement soit combinés avec des localisations adjacentes et avec des données historiques, la méthode temporelle-temporelle([Ramezani and Moshiri, 2011],[Sun and Zhang, 2005]).

La figure 1.9 représente les éléments d'un ILD. Il se compose d'une ou plusieurs bobines avec un ou plusieurs tours (généralement trois à cinq) intégrés dans le revêtement de la route; câbles isolés pour la connexion des bobines à l'armoire de commande; et l'équipement électronique (c'est-à-dire le détecteur) à l'intérieur de l'armoire [Lamas-Seco et al., 2016].

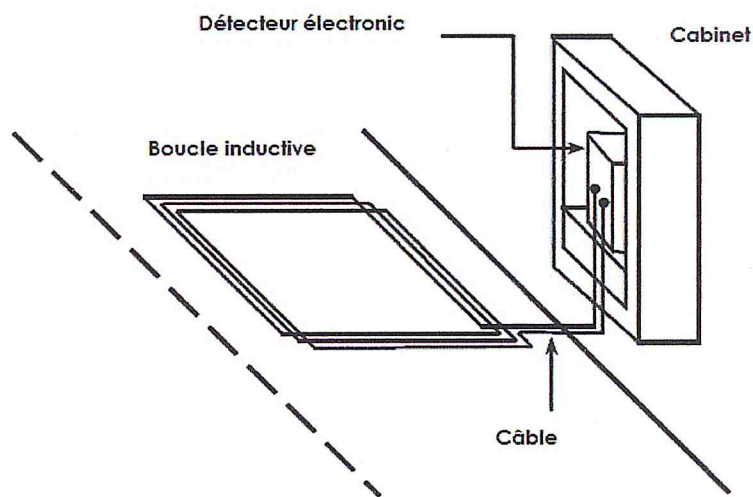


FIGURE 1.9 Le système global [Valerio et al., 2009]

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté différentes méthodes et techniques pour estimer le trafic routier selon la durée, l'échelle et les données. Après nous avons présenté les différentes sources utilisées pour la récolte de données du trafic sur les routes. Dans notre travail nous allons nous intéresser sur l'estimation du trafic routier à court terme on nous basant sur les données collectées par les Floating Car Data (FCD). Dans le prochain chapitre nous allons voir les différents travaux déjà faits pour l'estimation du trafic routier à travers le monde.

Chapitre 2

Estimation à court terme du trafic routier en utilisant les données des véhicules flottants

2.1 Introduction

Au cours des dernières années, les Systèmes de Transport Intelligents (STI) sont devenus un enjeu populaire dans la gestion des transports, particulièrement en termes de systèmes de surveillance du trafic, en utilisant des données d'information sur le trafic provenant des capteurs de trafic. Les STI sont conçus pour apporter de l'innovation afin d'améliorer les systèmes de transport pour résoudre les problèmes de transport tels que la congestion routière. Il traite de l'information et la technologie de communication dans les véhicules, entre véhicules (par exemple voiture-voiture) et entre les véhicules et l'emplacement fixe (par exemple voiture-infrastructure) qui pourrait fournir des informations routières pour guider les utilisateurs des systèmes de transport et la surveillance du trafic.

Compte tenu de la puissance de détection et de calcul des véhicules d'aujourd'hui, chaque véhicule sur la route est un réservoir d'informations précieuses sur les conditions de voyage actuelles. Si seulement nous pouvions récolter cette information et la mettre à bon usage ! Ceci est la prémisse des systèmes de données de voiture flottantes (FCD). Le terme Floating Car Data (FCD) est apparu depuis la fin des années 1990. Depuis, cette technologie émerge dans un nombre exponentiel de publications issues de différents domaines de recherche. Outre le FCD

comme méthode de génération de données, le produit de données acquis a souvent la même terminologie et est souvent utilisable dans le même contexte.

2.2 Les données de véhicules flottantes (FCD)

2.2.1 Définition

Le terme FCD (Floating Car Data) fait référence au concept de collecte d'informations à partir de véhicules dans le cadre de leurs activités normales (c'est-à-dire flottantes) à travers le réseau routier. Comme ce champ est encore en train de mûrir, un autre terme « véhicules de sonde » est également utilisé pour signifier essentiellement la même chose. Les données collectées sont pertinentes pour la circulation, la météo et la sécurité, chaque message incluant également l'heure et le lieu. Une entité centrale assimile et traite ensuite ces données et distribue les résultats aux voyageurs et aux administrations routières afin de soutenir l'information des voyageurs, la gestion des routes et la sécurité. En substance, l'horizon d'information pour les voyageurs s'étend au-delà des dizaines de mètres fournis par les capteurs, et au-delà des centaines de mètres fournis par les communications inter-véhicules, à l'ensemble du réseau routier[Bishop, 2005].

Llorca et al. Définissent Les données de voiture flottantes (FCD) font référence à une technologie qui collecte des informations sur l'état de la circulation à partir d'un ensemble de véhicules individuels qui flottent dans le trafic actuel. Chaque véhicule qui peut être vu comme un capteur de mouvement fonctionnant dans un réseau distribué, est équipé de systèmes de positionnement (GPS) et de communication (GSM, GPRS, UMTS, etc.), transmettant son emplacement, sa vitesse et sa direction à un point central [Llorca et al., 2010].

Les systèmes FCD sont de plus en plus utilisés dans diverses applications importantes car ils permettent de surmonter les limites des technologies de surveillance du trafic fixe (coûts d'installation et de maintenance, manque de flexibilité, nature statique de l'information, etc) [Llorca et al., 2010].

Il existe deux types des FCD : (1) Système FCD basé sur GPS, (2) Système FCD à base cellulaire.

2.2.1.1 Système FCD basé sur GPS

GPS-based système utilise le système de récepteur GPS qui est déjà attaché sur la voiture pour recueillir des informations sur les véhicules. Avec cette technologie, les données flottantes sont dérivées d'un type de périphérique différent. Ensuite, les données sont communiquées au fournisseur de services en utilisant l'unité radio de bord habituelle ou via des données de réseau cellulaire. Par conséquent, le système peut localiser l'emplacement exact et le mouvement de cette voiture spécifique, par exemple, en calculant la vitesse instantanée. Le principe de fonctionnement est montré dans la figure 2.1.

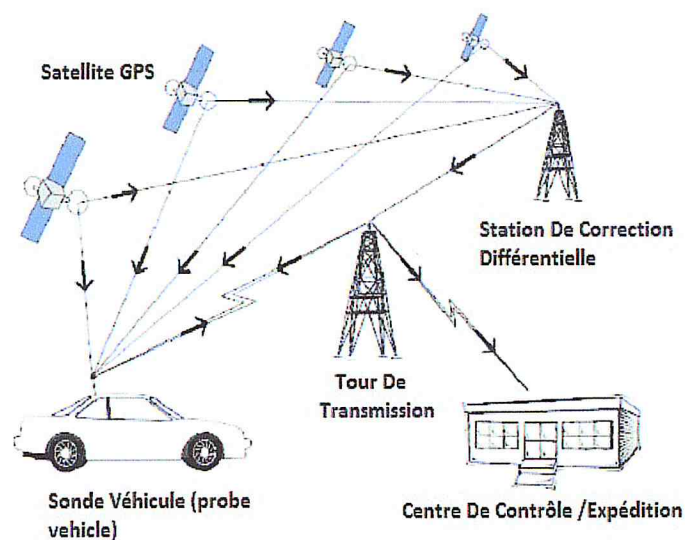


FIGURE 2.1 Communication par GPS [Turner et al., 1998]

2.2.1.2 Système FCD à base cellulaire (CFCD)

Cellular-based système est dérivé de réseaux cellulaires. Le principal avantage est qu'aucun dispositif spécial ou matériel n'est nécessaire et chaque téléphone mobile devient, en fait, un capteur. L'emplacement et le mouvement du téléphone mobile sont déterminés en utilisant l'une des technologies de localisation disponibles sur le réseau mobile. Un grand nombre de combinés mobiles en mouvement permanent permet d'extraire des données de haute qualité du réseau. Ensuite, les données seront envoyées au centre de données par l'intermédiaire de l'unité radio de bord habituelle ou via des données de réseau cellulaire. Cependant, des algorithmes plus complexes sont nécessaires pour extraire l'information. Nous pouvons voir comment cela fonctionne dans la figure 3.1.

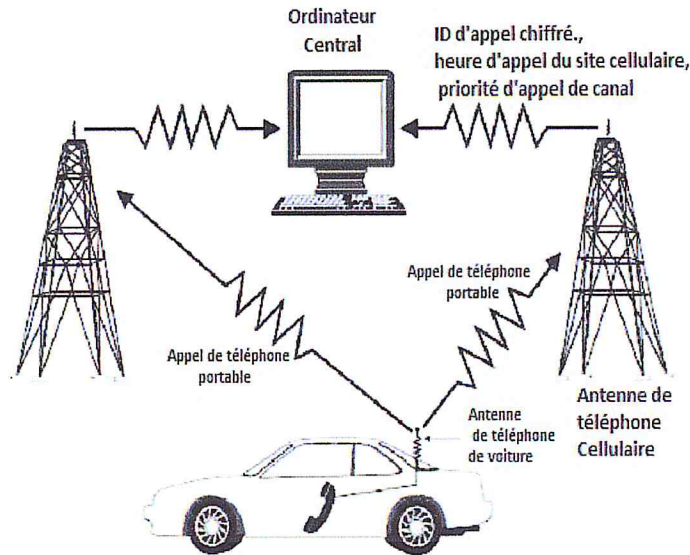


FIGURE 2.2 Communication à partir d'un téléphone cellulaire [Turner et al., 1998]

2.2.2 Quelques Applications des FCD

les techniques FCD peuvent être très utiles pour obtenir une image de la circulation, de la météo et des conditions routières pour l'ensemble du réseau routier. De plus, étant donné que les cartes numériques doivent être aussi précises et à jour que possible, les véhicules qui signalent des exceptions à leur base de données cartographique peuvent jouer un rôle important dans la création de données en temps réel[Bishop, 2005].

Il existe de nombreuses applications qui pourraient bénéficier de l'amélioration des FCD tels que :

- Le trafic routier : la détection des ralentissements du trafic routier.
- La météo : la détection de dégivrage.
- La gestion routière : l'envoi anticipé de l'équipe d'intervention en cas d'un incident ou détection d'une route glissante.
- La sécurité : le préavis de l'incident de la circulation, la détection des routes glissantes.
- Les bases de données cartographiques : la mise à jour et la correction des cartes géographiques.

2.3 Les données de véhicules flottantes étendues (XFCD)

Outre la vitesse du véhicule, il existe toute une gamme d'autres données de fonctionnement et de commutation disponibles sous forme numérique sur les systèmes de bus des véhicules modernes. Ils sont obtenus à partir d'interrupteurs, de sous-systèmes ou de capteurs qui sont des équipements standard ou optionnels sur le véhicule. Étant disponibles sous forme numérique, ils peuvent être enregistrés sur le véhicule sans trop de complexité et utilisés pour le processus d'obtention d'informations sur la circulation et l'environnement. Ces données sont appelées données de voiture flottante étendue (XFCD) [Huber et al., 1999].

Les données provenant des sources suivantes sont particulièrement intéressantes :

- Les essuie-glaces ou le capteur de pluie,
- Le thermomètre externe et le système de climatisation,
- Le système d'éclairage du véhicule (feux de freinage et de brouillard),
- Les feux de détresse, etc.
- Les capteurs pour les systèmes contrôlant la dynamique du véhicule,
- Systèmes d'assistance au conducteur

En acquérant et en évaluant ces données, il pourrait être possible d'obtenir des informations sur le trafic et la situation générale qui vont bien au-delà de ce qui était initialement disponible avec FCD. La figure 2.3 montre les données du véhicule et les systèmes utilisés pour l'acquisition de données XFCD [Huber et al., 1999].

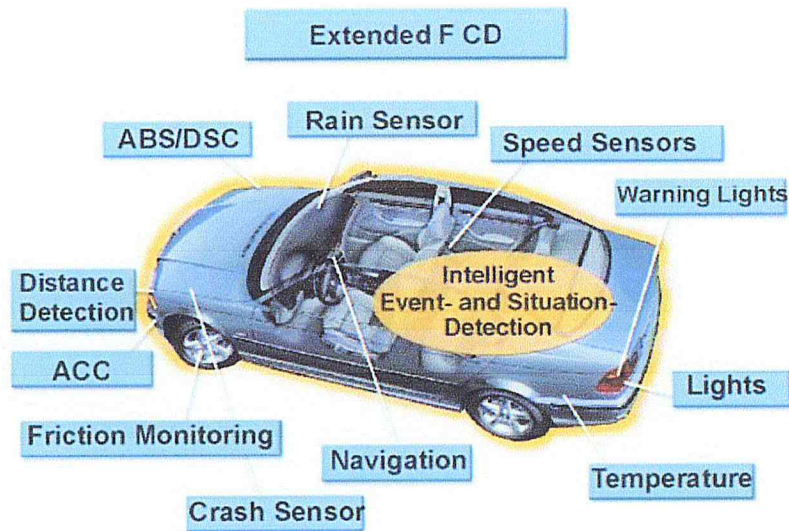


FIGURE 2.3 Capteurs de véhicule et signaux pour l'acquisition de XFCD [Huber et al., 1999]

2.3.1 Van et al. (2015)

Cette thèse recherche propose une méthodologie d'estimation de l'état du trafic autoroutier qui est capable d'utiliser une entrée combinée de données Loop-Detector (LDD) et Floating Car Data (FCD). Bien que la méthodologie proposée pour l'estimation de l'état du trafic puisse être utilisée pour un plus large éventail d'applications de gestion du trafic, elle est conçue pour fonctionner dans le système de gestion du trafic de l'FOT d'Amsterdam.

Pour le FOT Amsterdam, ceci est intéressant car il permet une approche intégrale, estimation - prédiction - contrôle. En outre, la nouvelle information, FCD, peut affecter positivement toutes les variables de trafic macroscopiques à travers le modèle de flux de trafic. L'estimation de l'état de la circulation fondée sur un modèle comprend trois parties, à savoir un modèle de flux de trafic, un modèle d'observation et une technique d'assimilation. Plusieurs types de données (hétérogènes) sont utilisés [Van Erp, 2015].

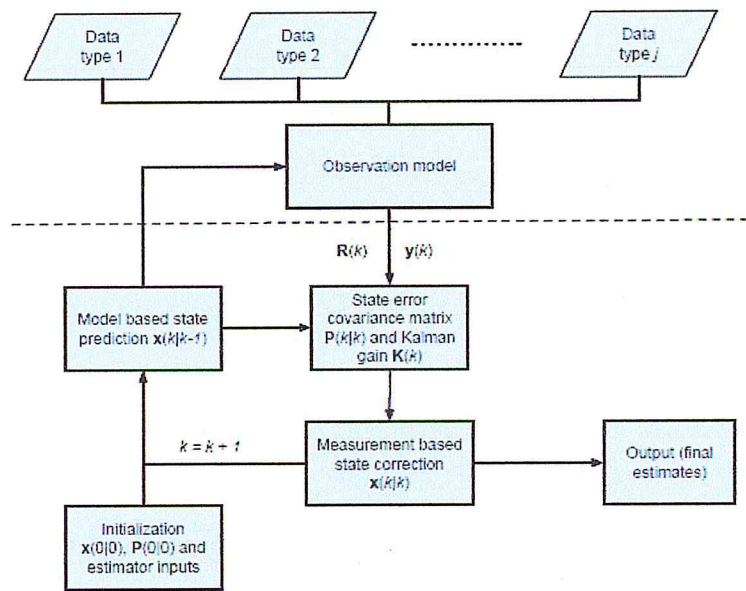


FIGURE 2.4 Visualisation de la conception fonctionnelle de la méthodologie proposée. L'information des types de données hétérogènes est fusionnée dans le modèle d'observation [Van Erp, 2015]

Dans la figure 3.2, les types de données sont affichés. Bien que seulement deux types de données (LDD et FCD) seront considérés plus peuvent être ajoutés s'ils sont disponibles sans avoir à modifier la méthodologie. L'algorithme en langage MATLAB est conçu pour effectuer deux tâches, à savoir l'estimation de l'état du trafic et l'estimation de la performance. Dans cette thèse, toutes les étapes prises pour aller des données brutes (FOSIM) aux estimations des variables macroscopiques sont considérées comme faisant partie de l'estimation de l'état de trafic. Cela implique donc également de déterminer les données d'entrée en fonction des paramètres de densité de données et d'erreur de mesure [Van Erp, 2015].

2.3.2 Runyoro et al. (2013)

Dans ce projet, l'architecture de système RRI proposée prend en compte la collecte, le traitement et la diffusion de données sur le trafic routier en temps réel. Les technologies de communication et l'infrastructure facilement disponibles sont intégrées pour gérer le RRI. Les téléphones mobiles compatibles GPS sont utilisés comme capteurs mobiles, comme expliqué dans la section précédente. Les téléphones mobiles sont utilisés pour la diffusion de l'information, en plus d'autres techniques telles que la radio, la télévision et Internet [Runyoro and Ko, 2013]. Comme le montre la figure 3.3, les principaux composants de

l'architecture proposée sont :

- La collecte de données.
- Le traitement et le stockage des données.
- Diffusion de l'information.

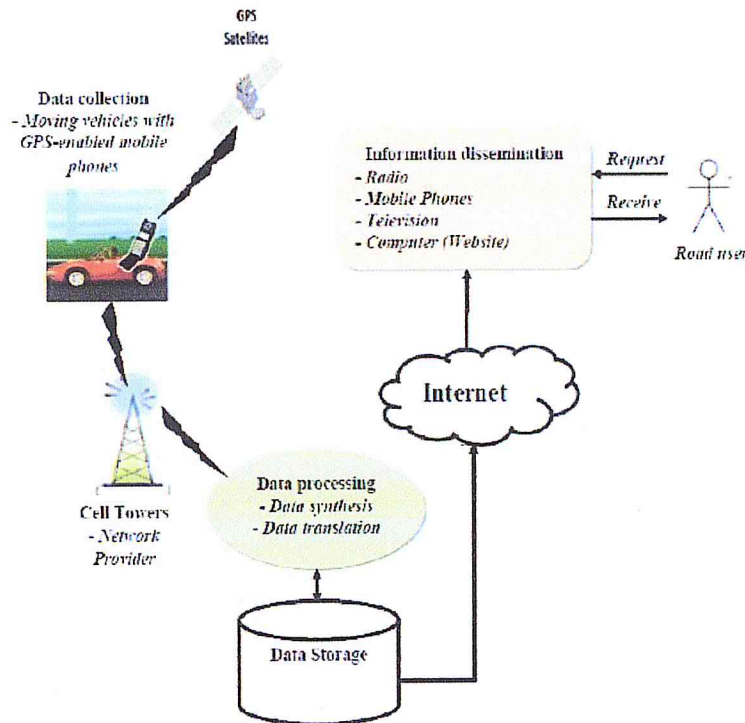


FIGURE 2.5 Proposition d'architecture de système d'information routière en temps réel(RRI) [Runyoro and Ko, 2013]

La mise en œuvre de l'architecture proposée contribuera au contrôle de la congestion ainsi, ils ont proposé une architecture de système RRI, qui considère l'utilisation efficace de la technologie de communication facilement disponible en Tanzanie pour faciliter le contrôle de la congestion dans les villes Tanzaniennes [Runyoro and Ko, 2013]. Le traitement d'inférence Fuzzy a été utilisé pour formuler le mappage d'une entrée donnée à une sortie en utilisant la logique floue, qui a été simulée pour gérer le traitement des données de trafic. Le scénario d'essai était la route Morogoro, qui est la route principale qui relie toutes les routes d'accès au centre-ville de Dar es Salaam. Le système d'inférence Fuzzy de Mamdani a été simulé en utilisant MATLAB R2007a pour développer le modèle Fuzzy [Runyoro and Ko, 2013].

2.3.3 Lovisari et al. (2015)

Cet article aborde le problème de la reconstruction de densité dans les réseaux de trafic avec des sources d'informations hétérogènes. Le réseau est partitionné en cellules dans lesquelles les véhicules circulent de leur origine à leur destination. L'état du réseau est représenté par les densités de véhicules dans chaque cellule. L'estimation de la densité est d'une importance cruciale dans les futurs systèmes de transport intelligents à des fins de surveillance, de contrôle et de navigation. Cependant, déployer des capteurs fixes à cet effet peut être très coûteux. Par conséquent, la plupart des réseaux de capteurs fixes sont plutôt clairsemés. Au contraire, les technologies récentes ont énormément augmenté la disponibilité des données de voitures flottantes relativement peu coûteuses. Un algorithme de fusion de données est ensuite proposé pour incorporer les deux sources d'information dans un observateur unique de densité de véhicules. L'efficacité de l'algorithme proposé est représentée dans un scénario réel à partir des données du réseau de capteurs fixes de Grenoble Traffic Lab (GTL) et des données INRIX Floating Car sur la Rocade Sud à Grenoble [Lovisari et al., 2015].

Dans cet article, Lovisari et al. proposent un algorithme qui vise à reconstruire la densité du trafic nommé (Online density reconstruction algorithm) en fusionnant des mesures de capteurs fixes et des données de voitures flottantes (FCD). Nous utilisons un modèle macroscopique, partitionnant le réseau en cellules et assignant à chaque cellule une densité de véhicules. Ce dernier évolue dynamiquement selon une loi de conservation de masse de premier ordre. Le modèle de trafic macroscopique le plus célèbre est le modèle Lighthill-Whitham et Richards (LWR) basé sur PDE, qui est capable de reproduire des phénomènes cruciaux tels que les ondes de choc du trafic, et une discrétisation bien connue de la LWR-PDE est le Cell Transmission Model (CTM) [Lovisari et al., 2015]. Cette approche hérite du modèle mathématique CTM la topologie cellulaire, mais ils n'utilisent pas directement le modèle dynamique résultant. Au lieu de cela, les flux entrants et sortants sont estimés sur la base des mesures de débit disponibles uniquement, et les mesures de vitesse sont utilisées pour calculer une pseudo-mesure de la densité [Lovisari et al., 2015].



FIGURE 2.6 L'architecture de Node js [Lovisari et al., 2015]

La figure 3.4 présente le dispositif expérimental est le Grenoble Traffic Lab (GTL), un réseau de capteurs déployés à des fins de surveillance et de recherche le long de la Rocade Sud, une autoroute de 12 km encerclant la ville de Grenoble [Lovisari et al., 2015].

2.3.4 Montero et al. (2016)

L'utilisation des données de voiture flottante (FCD) comme un cas particulier de données de véhicule de sonde (PVD) a fait l'objet de recherches approfondies pour estimer les conditions de circulation, les temps de déplacement et les matrices de voyage origine-destination [Montero et al., 2016]. Il est basé sur des données collectées à partir d'un parc de véhicules équipés de GPS ou de téléphones portables disponibles. Les véhicules coopératifs dotés de capacités de communication de véhicule à véhicule (V2V) et de véhicule à infrastructure (V2I) représentent un pas en avant, car elles permettent également de suivre les véhicules entourant la voiture équipée [Montero et al., 2016].

Cet article présente les résultats d'une expérience limitée avec une petite flotte de voitures coopératives dans le Central Business District (CBD) de Barcelone connu sous le nom de L'Eixample. Les données recueillies à partir de l'expérience ont été utilisées pour construire et calibrer l'émulation des fonctions coopératives dans un modèle de simulation microscopique

qui a capturé le comportement des capteurs de véhicules dans le CBD de Barcelone. Un tel modèle calibré permet d'émuler des données de flotte à grande échelle qui vont bien au-delà de ce qu'une petite flotte de véhicules coopératifs pourrait capturer [Montero et al., 2016].

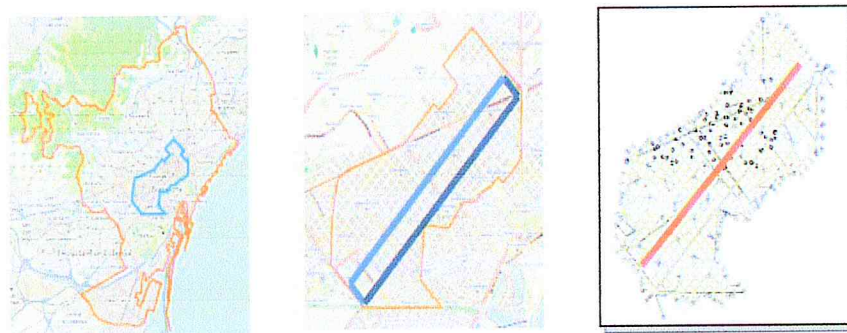


FIGURE 2.7 L'Exemple à Barcelone : site de test de simulation et modèle Aimsun. Itinéraire 2 en bleu (central) Corridor Aragó sélectionné en orange (droite) [Montero et al., 2016]

Dans cette expérience ils ont appliqué les définitions généralisées d'Edie pour estimer les variables d'état de trafic dans une région spatio-temporelle A spécifiquement pour le flux $q(A)$, la densité $k(A)$ et la vitesse $v(A)$, ont été définies par Edie comme suit :

$$q(A) = \frac{d(A)}{|A|}, k(A) = \frac{t(A)}{|A|}, v(A) = \frac{d(A)}{t(A)} \quad (2.1)$$

Où $d(A)$ est la distance totale parcourue par tous les véhicules dans la région A , $t(A)$ est le temps total passé par tous les véhicules dans la région A et $|A|$ la zone spatio-temporelle de la région .

L'algorithme a été validé à partir de trois perspectives différentes à l'itinéraire 2. Il a été effectué en comparant les données collectées et émulées en fonction du profil de forme α robuste pour l'échantillon de points définis par les positions par rapport à la sonde. Deuxièmement, nous avons comparé les distributions collectées et émulées pour le nombre de véhicules observés par horodatage et par durée de détection de temps par véhicule. Troisièmement, nous avons vérifié les distributions de variables de trafic collectées et émulées, telles que la distance frontale et arrière entre véhicules et les vitesses pour les sondes et les voitures observées [Montero et al., 2016].

2.3.5 YUAN et al. (2014)

Yuan et al. ont développé un simulateur à l'Université de Technologie de Delft, spécialement conçu pour l'analyse détaillée des discontinuités dans les réseaux d'autoroutes. Tous les paramètres en termes de comportement de conduite ont été calibrés et validés sur la base des données des autoroutes néerlandaises [Yuan et al., 2014].

Dans cet article, un modèle de système lagrangien pour l'estimation d'état est utilisé. L'approche utilise la technique de filtrage de Kalman étendue (EKF), dans laquelle le modèle d'onde cinématique Lagrangien discrétisé avec une extension (modèles de nœuds) pour les discontinuités de réseau est utilisé comme équation de processus et la relation moyenne entre l'espacement et la vitesse du véhicule (le diagramme fondamental) est utilisé comme équation d'observation [Yuan et al., 2014]. En coordonnées lagrangiennes, le diagramme fondamental lagrangien fournit un modèle d'observation naturel pour les données de voitures flottantes (FCD). Les FCD sont directement liés à l'espacement (s) et la vitesse (v) d'un peloton de véhicule en fonction de sa localisation spatiale au même moment. Les équations suivantes s'appliquent :

$$y_t = s_t + r_t(\text{observation de l'espacement - équation linéaire}) \quad (2.2)$$

$$y_t = h(s_t) + r_t(\text{observation de la vitesse}) \quad (2.3)$$

Ceci assouplit l'hypothèse utilisée dans la formulation eulérienne selon laquelle les FCD représentent les conditions dans une « cellule » fixe spatio-temporelle.

Les observations eulériennes (en boucle) et les observations lagrangiennes (données de voiture flottantes, FCD) sont utilisées comme données d'entrée pour les modèles d'observation de EKF. Cela indique que deux types de scénarios de données sont étudiés indépendamment. L'un utilise les observations de vitesse des détecteurs de boucle, et trois résolutions spatiales sont étudiées, à savoir 500 m, 800 m, 1000 m. L'autre est avec des données FCD (vitesse), et les taux de pénétration et les fréquences de rapport sont respectivement de 5% / 30 s, 5% / 10 s, et 10% / 10 s. Bien que le choix de FCD soit trop idéal par rapport à la réalité, il est justifié pour la démonstration du modèle. Dans chaque scénario de données, 10 simulations ont été réalisées avec différents modèles de trafic (différentes graines aléatoires ou demandes de trafic

différentes) [Yuan et al., 2014].

2.3.6 Felix Rempe et al. (2016)

Dans cet article, Felix Rempe et al. ont évalué la performance de la méthode de lissage adaptative généralisée bien connue (GASM) en tant qu'estimateur de vitesse de circulation en ligne avec des données de voiture flottantes (FCD) en tant que source unique de données [Rempe et al., 2016]. Par conséquent, les principaux défis découlant de la faible densité et du retard dans la collecte des FCD sont abordés et une procédure utilisant le GASM est proposée qui permet d'estimer les vitesses de circulation de façon continue.

Dans une étude subséquente, la méthode est appliquée à de vrais FCD enregistrés par une énorme flotte de capteurs mobiles sensibles à la vie privée au cours d'un schéma de congestion commun sur l'autoroute allemande A 99. L'objectif de l'étude est d'évaluer la précision de l'estimation de la vitesse du trafic en utilisant le GASM en ligne en ce qui concerne les différentes densités de données et les retards [Rempe et al., 2016]. Le GASM qui permet de fusionner différentes sources de données et détermine la vitesse $VE(t, x)$ à l'instant t et la position x le long d'une route comme la superposition de deux champs de vitesse $V_{cong}(t, x)$ et $V_{free}(t, x)$ le facteur de pondération $w(t, x)$ avec $w \in [0, 1]$:

$$V_E(t, x) = w(t, x)V_{cong}(t, x) + (1 - w(t, x))V_{free}(t, x) \quad (2.4)$$

$$w(t, x) = \frac{1}{2} \left[1 + \tan h \left(\frac{V_{thr} - \min(V_{free}, V_{cong})}{\Delta V} \right) \right] \quad (2.5)$$

Où V_{thr} et ΔV sont les paramètres utilisés pour calibrer la fonction de pondération.

Dans cette étude, trois paramètres différents sont à l'étude. Tout d'abord, ils ont choisis : $(\tau, \sigma)_1 = (50 \text{ s}, 300 \text{ m})$ qui est référencé comme un noyau de taille moyenne. De plus, $(\tau, \sigma)_2 = (300 \text{ s}, 500 \text{ m})$ en tant que noyau large et $(\tau, \sigma)_3 = (30 \text{ s}, 100 \text{ m})$ en tant que noyau local sont étudiés. La figure 3.6 illustre les estimations résultantes pour les trois paramètres du noyau. Les méthodes sont notées GASMM, GASMW et GASML respectivement.

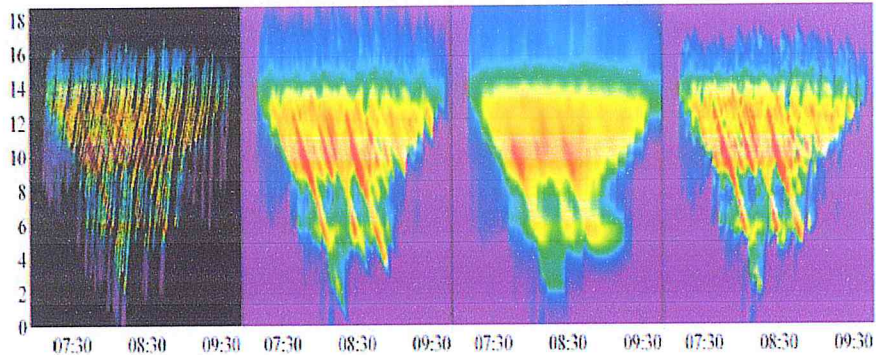


FIGURE 2.8 Données de trajectoire brutes (1),(2,3,4) estimées $V_E(t, x)$ avec la densité des données la plus élevée [Rempe et al., 2016]

La fiabilité de toutes les mesures FCD est fixée à $w_{FCD} = 1000$, celle de l'estimation de repli $V_{fb}(t, x)$ à $W_{fb} = 1$. Au tant qu'algorithmes de comparaison, deux approches naïves sont choisies. La première, notée *N1*, ne fait que lisser les données dans la dimension temporelle en les convolutionnant avec $\varphi_0(t) = \exp(-|t|/\tau t)$ où $\tau t = 200$ s. Par conséquent, dans l'utilisation en ligne, l'estimation de la vitesse actuelle est une moyenne pondérée des mesures précédentes. La fiabilité de FCD et la valeur de repli sont les mêmes que pour le GASM [Rempe et al., 2016]. La seconde approche, notée *N2*, prend la mesure la plus récente à la position x dans les 20 dernières minutes comme étant la meilleure approximation pour $V_e(t, -)$. S'il n'y a pas de mesure, la vitesse de repli V_{FB} est utilisée. Comme vitesse de repli $V_{FB}(t, x)$ pour tous les algorithmes, on considère les conditions d'écoulement libre, qui sont estimées correspondre à la vitesse recommandée de 130 km/h sur l'autoroute considérée [Rempe et al., 2016].

2.3.7 OCTOTelematics (2006)

En 2006, OCTOTelematics a commencé à développer le système de données de voitures flottantes à grande échelle (ou système LSFCD) visant à fournir les vitesses de déplacement de liaison actuelles le long des autoroutes définies. Actuellement, le système surveille l'ensemble du réseau autoroutier italien (plus de 6.000 km) et certaines artères importantes situées dans les principales zones métropolitaines italiennes [De Fabritiis et al., 2008].

En utilisant des données de suivi de voiture liées à la dernière heure en tant que source de données, les vitesses de déplacement de liaison sont dérivées des données de trajectographie associées à la carte. Des essais approfondis sur le terrain, réalisés en coopération avec Autostrade pour l'Italia Spa (principal concessionnaire italien d'autoroutes à péage, gérant

actuellement 2.854 km d'autoroutes) et ANAS (Autoroute routière et autoroutière italienne) ont permis de perfectionner le système LSFCD et le développement des algorithmes propriétaires [De Fabritiis et al., 2008].

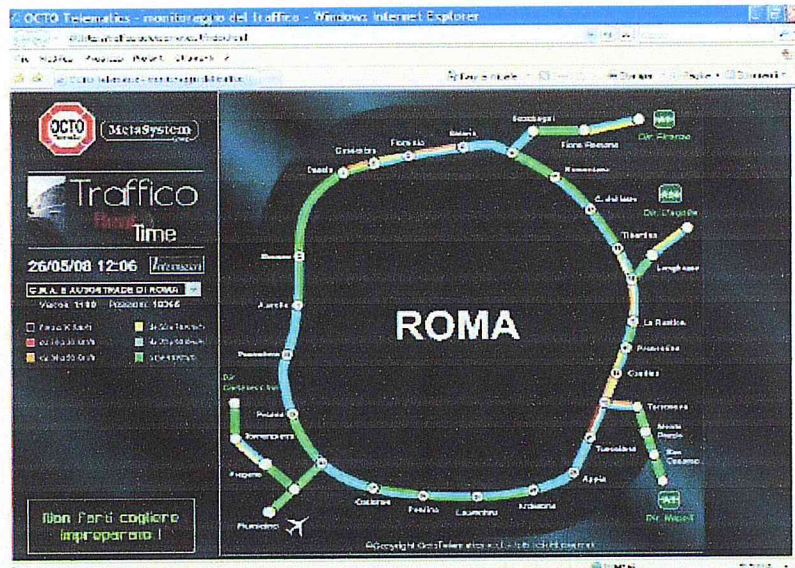


FIGURE 2.9 page Web OCTOTelematics pour la périphérie de Rome [De Fabritiis et al., 2008]

La fonction de coefficient de corrélation croisée ρ_k , telle que définie dans l'équation 2.6 et mesurant le degré de relation linéaire entre variables aléatoires à différents décalages temporels (correspondant à des multiples de périodes de 3 minutes), a été utilisée pour déterminer la relation série de liens voisins :

$$P(XY)_k = \frac{E[(X_t - \mu_X)(Y_{t+k} - \mu_Y)]}{\sqrt{E[(X_t - \mu_X)^2]E[(Y_t - \mu_Y)^2]}} \quad (2.6)$$

Leur processus de prédiction s'appuie sur l'hypothèse que des schémas suffisamment similaires qui se sont produits dans l'histoire passée ont produit des évolutions dynamiques analogues à celles attendues dans notre proche avenir. Une fois qu'ils ont défini un poids pour chaque motif passé admis, la prédiction catégorielle de vitesse $s(k+1)$ à l'instant $k+1$ sera évaluée comme suit :

$$s(k+1) = \text{round}\left(\sum_i w_{ni} s_i(k+1)\right) \quad (2.7)$$

Où $s(k+1)$ est la valeur de vitesse catégorielle à l'instant $(k+1)$ du i -ème motif passé sélectionné. Des évaluations similaires peuvent être produites pour $(k+1)$, $(k+2)$, etc ...

Ce système met à jour toutes les 3 minutes les vitesses de déplacement des liaisons le long du réseau autoroutier italien (plus de 6000 km) et certaines artères importantes situées dans les principales zones métropolitaines italiennes. Selon les essais sur le terrain, la précision du système LSFCD dans l'estimation des vitesses de déplacement de la liaison actuelle est d'environ 90% [De Fabritiis et al., 2008]. L'algorithme LSFCD propriétaire est divisé en trois étapes :

1. Faire correspondre la carte (en utilisant la latitude, la longitude et le cap du GPS) pour chaque position.
2. Le routage (entre les positions suivantes) pour déterminer la vitesse moyenne le long des voies.
3. Estimer la vitesse de déplacement de la liaison en fonction de la vitesse de la position GPS et la vitesse moyenne de la voie est pondérée de manière exponentielle par la distance GPS du temps pour toutes les voitures passant les liaisons.

2.3.8 Liu et al. (2008)

L'acquisition d'informations précises et opportunes sur le trafic est une condition préalable essentielle à la prise de décision rationnelle du trafic. Les systèmes de transport intelligents (ITS) seront inévitables lorsque les systèmes de circulation modernes se développeront à un haut degré. Dans ITS, les informations sur le trafic instantané peuvent être collectées par la méthode Floating Car Data (FCD). Basé sur la création du système de simulation du transport urbain de Shenzhen (SUTSS) en Chine, les auteurs ont exploré comment utiliser 4000 taxis comme capteurs de collecte de données à Shenzhen, une ville du sud de la Chine qui borde Hong Kong. Les auteurs présentent les procédures et les algorithmes pour le calcul et la mise en correspondance des vitesses des segments de route avec un réseau routier numérique [Liu et al., 2008].

Pour superposer les informations de trafic en temps quasi réel sur une carte numérique, une transformation de coordonnées est requise et la précision de la transformation est analysée à l'aide de données de test de terrain. En raison de la nature du FCD, les données GPS continues telles que les vitesses de routage et les coordonnées peuvent être collectées par n'importe quel véhicule équipé d'un GPS. Par conséquent, des algorithmes pertinents sont développés et utilisés pour l'appariement de cartes selon les théories statistiques et probabilistes. Pour évaluer

la fiabilité de la méthode d'appariement cartographique proposée, les niveaux de confiance sont calculés statistiquement, à partir desquels il est possible de déterminer si les données de positionnement sont valides ou non avec des valeurs de seuil prédéfinies. En outre, les méthodes d'appariement de la vitesse du segment routier basées sur les critères de Metropolis sont étendues et une validation pertinente est effectuée par la comparaison des résultats estimés et mesurés [Liu et al., 2008].

L'objectif principal de cette méthode est d'obtenir un temps de parcours du segment routier plus précis grâce à la combinaison de ceux estimés par FCD et historiques. Cela peut améliorer de manière significative la fiabilité des informations sur le trafic instantané avant sa publication sur le Web. La dernière partie de cet article présente l'architecture et la réalisation d'un système d'information géographique sur le web (SIG) et d'un système de diffusion instantanée de l'information sur la circulation à base de FCD pour l'ensemble de la ville de Shenzhen(Chine) [Liu et al., 2008].

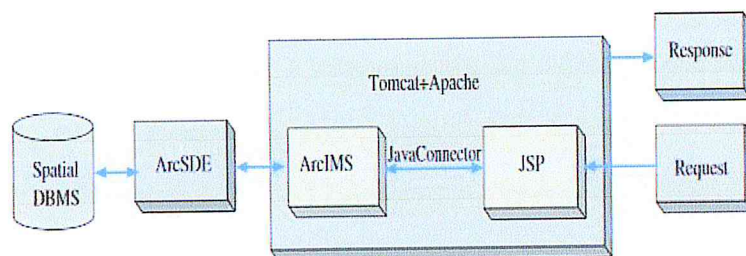


FIGURE 2.10 L'architecture des services d'informations sur le trafic basés sur WebGIS [Liu et al., 2008]

2.3.9 Rohde et al. (2011)

Rohde et al. ont combiné le modèle de transmission cellulaire (CTM) de Daganzo avec un algorithme d'optimisation de décalage basé sur des algorithmes génétiques et a été intégré dans une interface utilisateur graphique et appliqué à une zone d'essai à Hanovre, en Allemagne. Le contrôle de trafic optimisé s'est avéré une amélioration significative du flux de la circulation compte tenu de la réduction du temps de trajet et du nombre d'arrêts [Rohde and Friedrich, 2011].

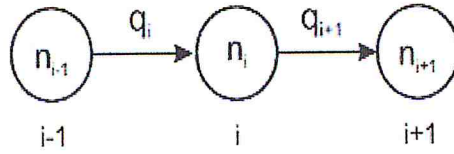


FIGURE 2.11 Représentation cellulaire pour CTM [Rohde and Friedrich, 2011]

Le CTM fournit une approximation du modèle LWR et peut être utilisé pour prédire des phénomènes transitoires tels que l'accumulation, la propagation et la dissipation des files d'attente. Il utilise une version simplifiée du diagramme fondamental basé sur une forme de trapèze, en supposant qu'une vitesse de flux libre, v_f , à de faibles densités et une vitesse d'onde arrière, w , pour les densités élevées sont constantes [Rohde and Friedrich, 2011]. La division des sections de route en cellules homogènes i et le temps en intervalles homogènes de durée t tels que la longueur de la cellule est égale à la distance parcourue par le trafic fluide dans un intervalle de temps, les résultats LWR sont approximés par un ensemble d'équations récursives. et (2). L'indice i se réfère à la cellule i ; la cellule en amont et en aval est $(i - 1)$ et $(i + 1)$, respectivement (Figure2.11).

$$n_i(t + 1) = n_i(t) + q_i(t) - q_{i+1}(t) \quad (2.8)$$

$$q_i(t) = \min(n_{i-1}(t), Q_i, w/v_f, N_i - n_i(t)) \quad (2.9)$$

où :

n ... nombre de véhicules

N ... nombre maximum de véhicules

q ... afflux

Q ... capacité d'entrée

L'objectif du processus d'optimisation est de résoudre la fonction d'objectif, c'est-à-dire la minimisation du retard global dans le réseau (somme des retards dans toutes les cellules tout au long de l'horizon de planification) :

$$\min(f) = \sum_t \sum_i d_i(t) \quad (2.10)$$

La fonction objectif a une forme irrégulière dans l'espace de la solution. Pour les résoudre, une approche heuristique basée sur des algorithmes génétiques (GA) par Almasri (2006) est utilisée. Cet algorithme génétique en série (SGA) considère les décalages relatifs d'un groupe d'intersections un à la fois. Ces intersections sont situées sur la direction du trafic des véhicules qui passent d'une origine à une destination. Au lieu d'effectuer des opérations GA sur l'ensemble du chromosome, seule la partie liée à ce groupe d'intersections est considérée. Les intersections restantes sont fixées par les valeurs optimales trouvées lors de la dernière itération. Cependant, l'aptitude des nouveaux chromosomes est déterminée en évaluant toutes les intersections du réseau et pas seulement le groupe d'intersections en cours d'analyse. En déconnectant la recherche simultanée dans une séquence de recherches, la longueur du chromosome dans le SGA est considérablement courte. En raccourcissant le chromosome, et donc l'espace de solution, une petite population de chromosomes est suffisante pour trouver rapidement des décalages quasi-optimaux. À l'étape suivante, les décalages du prochain groupe d'intersections sont optimisés. Dans une recherche sérielle comme celle-ci, l'ordre dans lequel les intersections et les décalages sont respectivement traités et recherchés influence fortement les résultats d'optimisation [Rohde and Friedrich, 2011]. La procédure SGA comprend les étapes suivantes :

1. Déterminez les groupes de décalages relatifs et leur ordre de recherche.
2. Initialiser chaque décalage relatif dans chaque groupe avec une valeur égale au temps nécessaire pour se déplacer librement de la première intersection vers la seconde et coder binaire cette valeur.
3. Démarrer le processus GA avec le premier groupe déterminé à l'étape 1 et générer de manière aléatoire une population de chromosomes codant pour chaque solution, ce qui représente tous les décalages relatifs dans ce groupe d'intersections dans le réseau testé.
4. Alors que la condition de terminaison n'est pas remplie (par exemple, un nombre choisi de générations) :
 - décoder les chromosomes en ensembles de décalages relatifs et évaluer l'aptitude de tous les individus avec la MC ;
 - mettre le chromosome le plus adapté dans une piscine d'accouplement ;
 - produire un certain nombre de progénitures par croisement et mutation ;
 - remplacer les chromosomes les plus faibles par des descendants supérieurs.
5. Fixez les meilleurs décalages relatifs de ce groupe et répétez les étapes 3 et 4 avec l'ordre

déterminé à l'étape 1 jusqu'à ce que tous les groupes soient terminés.

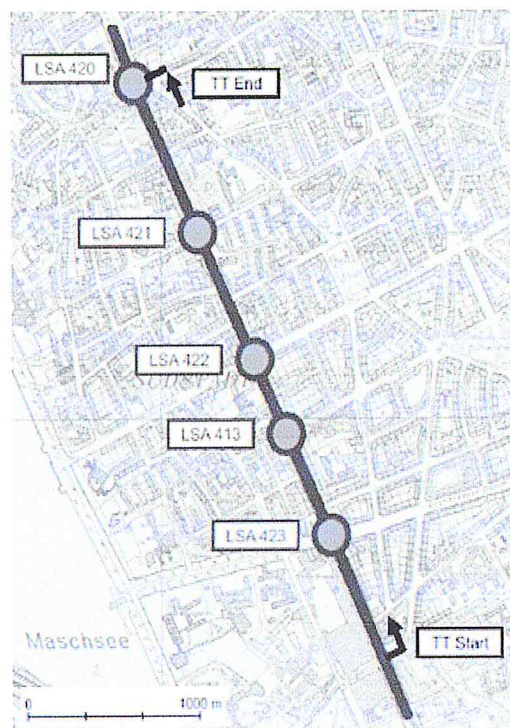


FIGURE 2.12 Zone de test. Les points représentent les signaux de trafic, TT = mesure du temps de déplacement [Rohde and Friedrich, 2011]

Le tableau 2.1 résume les solutions citées dans ce chapitre.

Année	Auteur	Titre	Modèle Mathématique	Réalisation	Ville
2015	Paul B. C., Van Erp	Freeway traffic state estimation.	METANET + Algorithme Extended Kalman Filter (EKF).	Non réalisé (Simulé sous VISSIM).	Amsterdam (Pays-Bas).
2013	Angela-Aida , K. Runyoroand, Jesuk Ko	Real-Time traffic management u	Fuzzy inference processing.	Non réalisé.	Dar-Essalam (Tanzanie).
2015	E. Lovisari, C. Canudas de Wit, A. Y. Kibangou	Data fusion algorithms for Density Reconstruction in Road Transportation Networks.	Cell Transmission Model.	Réalisé.	Grenoble (France).
2016	L. Montero, M. Pacheco, J. Barceló20, S. Homoceanu, J. Casanovas	Estimation du trafic Routier (Probe Car Data).	Edie's generalized definitions.	Réalisé.	Barcelone (Espagne).
2014	Y. Yuan, H. Van Lint, F. V. Wageningen-Kessels, S. Hoogendoorn	L'analyse détaillée des discontinuités dan	Extended Kalman Filter (EKF) + Lagrangian LWR model.	Non Réalisé (simulée sous FOSIM).	Pays-Bas.
2016	F. Rempe, P. Franek, U. Fastenrath, K. Bogenberger	Estimation de vitesse de circulation en ligne.	Generalized Adaptive Smoothing Method (GASM).	Réalisé.	Allemagne.
2006	C. de Fabritiis, R. Ragona, G. Valenti	Système de données de voiture flottante à grande échelle.	Artificial Neural Networks (ANNs).	Réalisé.	Rome (Italie).
2008	L. Chun, M. Xiaolin, F. Yeming	Determination of Routing Velocity with GPS Floating Car Data and WebGIS-Based Instantaneous Traffic Information Dissemination.	Map-matching approach.	Réalisé.	Shenzhen (Chine).
2011	J. Rohde , B. Friedricha	Offset Optimisation avec CTM et algorithmes génétiques : Résultats d'études de terrain à Hanovre.	Cell Transmission Model.	Réalisé.	Hanovre (Allemagne).

TABLE 2.1 Tableau comparatif entre les solutions citées

2.4 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons abordé un état de l'art sur les données de véhicule flottantes (Floating Car Data). Nous avons présenté les différentes applications qui pourraient bénéficier de l'amélioration des FCD, ainsi les solutions existantes pour l'estimation du trafic qui utilisent les données de véhicule flottantes comme source d'information, et un tableau comparatif de ces différentes solutions. Cet état de l'art nous a permis d'avoir un aperçu des méthodes utilisées pour l'estimation du trafic en utilisant les FCD. Dans le chapitre suivant nous allons entamer la conception de notre framework pour l'estimation du trafic routier a court terme.

Chapitre 3

Proposition d'un framework pour l'estimation de trafic routier



3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter le framework proposé pour l'estimation du trafic routier à court terme, Nous commencerons par une présentation synoptique de notre modèle, puis les modules principales et les étapes suivies pour arriver au points auxquels on s'intéresse. Ensuite nous allons passer a la présentation des algorithmes utilisé pour le déploiement de notre solution. Enfin, nous terminerons par une conclusion dans laquelle nous discuterons les résultats obtenus.

3.2 Vue synoptique du modèle idéal

Pour avoir une meilleure estimation de trafic routier, il faut que plusieurs sources de données se fusionnent entre eux comme illustré dans la figure suivante. Chaque source de données a ses forces et ses faiblesses et pour utiliser la force de chaque source de données, de nouveaux modèles pour fusionner différentes sources de données doivent être développés. Les caractéristiques des différents types de mesures de l'état de la circulation peuvent varier à la fois dans le temps et dans l'espace. En utilisant un modèle qui peut fusionner ces différents types de données, la qualité de l'estimation et la taille du réseau sur lequel l'état du trafic peut être estimé peuvent augmenter. Après la fusion et le traitement de ces données, des modèles mathématiques seront appliqués pour faire l'estimation de trafic routier.

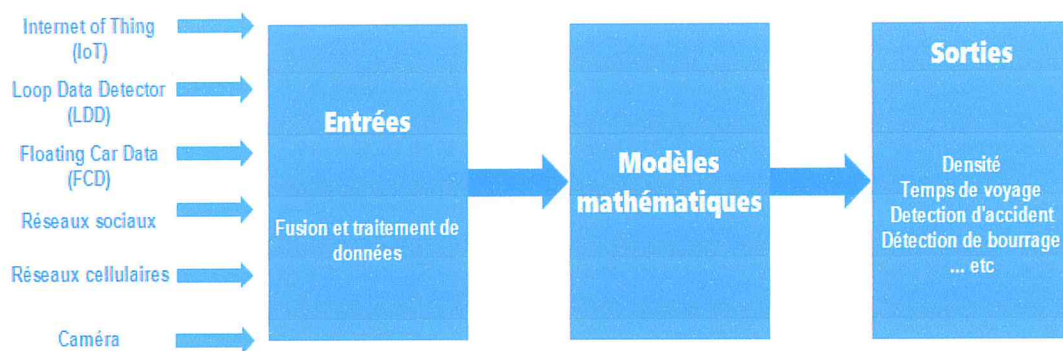


FIGURE 3.1 *Le modèle idéal d'un système d'estimation de trafic routier*

3.3 Vue synoptique du Modèle proposé

Dans notre modèle proposé pour l'estimation à court terme du trafic routier, nous utiliserons les données de véhicules flottants (Floating Car Data) comme source de donnée sur l'état de trafic comme montre la figure suivante. Le traitement de ces données recueillies se fait à l'aide des modèles mathématiques, en l'occurrence : "Cell Transmission Model (CTM)" de Daganzo (1994) et le "Drew model" de Drew (1968) afin de calculer le temps de voyage et la densité sur un tronçon donné.

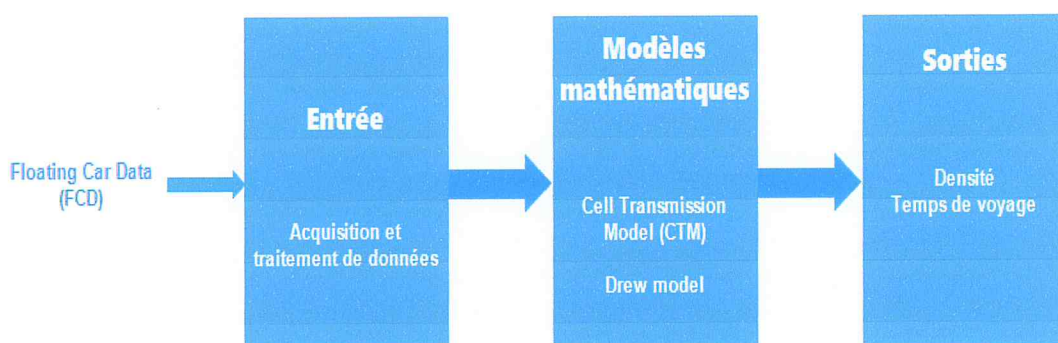


FIGURE 3.2 *Le modèle proposé*

3.3.1 Module Acquisition des données via FCD

Les données des véhicules flottants (FCD) utilisées dans ce travail comprennent les positions déclarées du véhicule, la direction de conduite, les vitesses et les temps des sondes dédiées aux

véhicules. Comme tous les véhicules de la simulation SUMO sont théoriquement équipés d'une liaison de communication pour le transfert de ces données, le FCD généré est précis à 100% et reflète donc parfaitement l'état des véhicules dans le réseau routier. L'exportation des données des véhicules flottants contient l'emplacement et la vitesse ainsi que d'autres informations pour chaque véhicule du réseau à chaque tic-horloge (timestep) de temps comme montre le tableau 3.1. Pour notre travail nous avons besoin de l'emplacement GPS (position x , position y) ainsi que la vitesse du véhicule.

Nom	Type	Description
timestep	(simulation) second	Le tic horloge
id	Id	L'identifiant de véhicule
type	Id	Le nom de véhicule
speed	m/s	La vitesse de véhicule
angle	degré	L'angle de véhicule
x	m ou longitude	La coordonnée X absolue du véhicule (centre du pare-chocs avant). La valeur dépend de la projection géographique donnée
y	m ou latitude	La coordonnée Y absolue du véhicule (centre du pare-chocs avant). La valeur dépend de la projection géographique donnée
z	m	La valeur z du véhicule (centre du pare-chocs avant).
pos	m	La position de marche du véhicule mesurée depuis le début de la voie actuelle.
lane	id	L'identifiant de la voie actuelle.
slope	degré	La pente du véhicule (égale à la pente de la route à la position actuelle)

TABLE 3.1 *tableau descriptif des attributs du fichier fcd-output*

3.3.1.1 Le parsing du fichier de sortie FcdOutput.xml

Les données des véhicules flottants obtenus après l'exécution de notre scénario de simulation sont dans la forme d'un fichier (XML). Ensuite ce fichier sera parsé (XML Parser) pour extraire les données requises de notre travail notamment Position x , Position y et la Vitesse *speed* de chaque véhicule comme montre la figure 3.3.

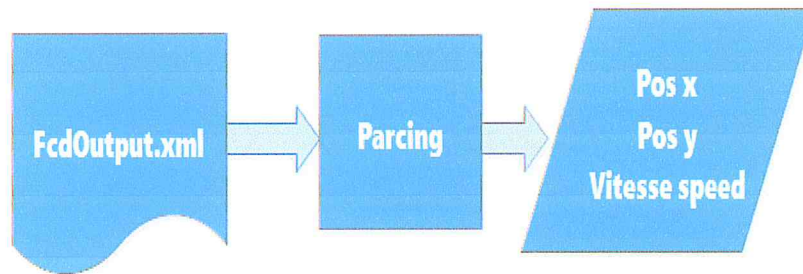


FIGURE 3.3 *Le parsing*

3.3.1.2 Le mapping

Après le parsing du fichier FcdOutput.xml, le traitement des données parsées sera fait via un mapping. Le mapping consiste à comparer l'emplacement de chaque véhicule par rapport aux cellules de notre réseau routier. Les coordonnées x et y de chaque cellule seront obtenues par l'outil NetEdit¹ de SUMO. Le temps de voyage sera calculé par l'équation 3.1 :

$$\text{temps de voyage} = \frac{\text{Longueur de cellule}}{\sum_{i=1}^n v(i)} \quad (3.1)$$

où $v(i)$ est la vitesse de véhicule i . Le résultat de mapping est un tableau d'occupation et temps de voyage de chaque cellule de notre réseau routier à un tic-horloge donné comme montre le 3^e bloc de la figure 3.4.

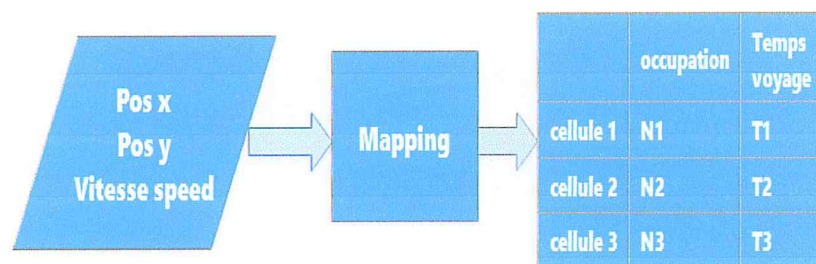


FIGURE 3.4 *Le mapping*

Exemple de mapping : Soit un véhicule (FCD) qui envoie des données GPS suivantes $x=1201.5$ et $y= 1188.7$ à un tic horloge donné. Alors après le mapping ce véhicule est dans

1. module de SUMO qui modifier un réseau routier <http://sumo.dlr.de/wiki/NETEDIT>

la cellule 5 comme montre la figure suivante.

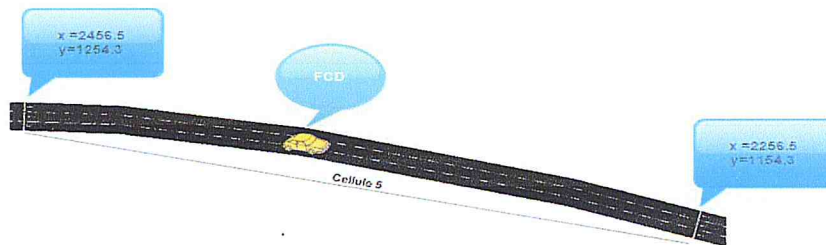


FIGURE 3.5 Exemple de mapping

3.3.2 Module traitement de données à l'aide de modèle mathématique CTM

Comme expliqué dans la section 1.4.3 le modèle mathématique (Cell Transmission Model) utilisé dans notre travail divise la route en cellules de même longueur et calcule la densité et le flux pour chaque cellule comme montre l'exemple suivant :



FIGURE 3.6 Une portion de route dans SUMO-GUI

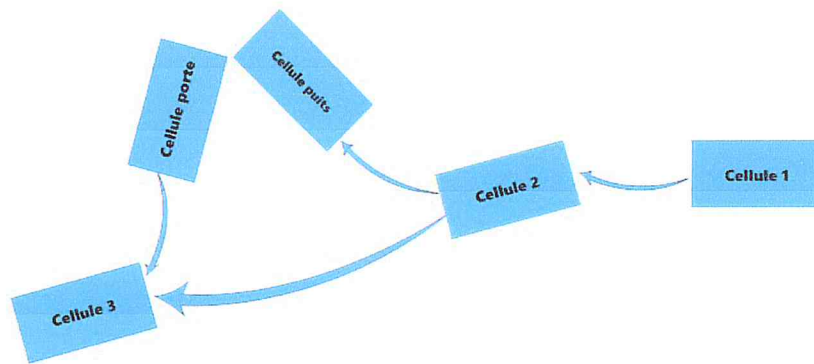


FIGURE 3.7 *Le partitionnement des cellules*

3.3.2.1 Les variables du modèle mathématique

La longueur de cellule (L_c), le Tic horloge ($TicClk$), le nombre maximum de véhicules pouvant être dans une cellule donnée i (N) et le nombre maximal de véhicules pouvant circuler dans une cellule en un intervalle de temps 1 tic-horloge (Q) et le flux (q) sont des entrées données à notre modèle mathématique pour qu'il puisse nous calculer la densité (k) et le temps de voyage ($TempsVoyage$) sur un tronçon donné.

1. le Tic horloge ($TicClk$) :

Le tic-horloge est le temps où le flux entrant (INFLOW), le flux sortant (OUTFLOW) et l'occupation de chaque cellule sont mis à jour. le tic-horloge détermine aussi la longueur de la cellule de notre système. Pour notre travail nous avons opté pour 3 tic-horloges notamment [10s,20s et 30s].

2. La longueur de cellule (L_c) :

La longueur d'une cellule L_c (m) est égale à la distance parcourue par un véhicule dans un tic-horloge. On donnant la vitesse d'écoulement libre V_f (m/s) (V_f et pris de la carte (map) générée depuis OSM selon le code de la route).

$$L_c = V_f * TicClk \quad (3.2)$$

3. Le Q :

C'est une constante spécifique à la cellule et au temps, représentant le nombre maximal de véhicules pouvant circuler dans ou hors de la cellule i en un seul tic d'horloge. Dans

un état normal (pas de bourrage) le Q est calculé comme suit :

$$Q = Lc * q_{max} \quad (3.3)$$

Où le q_{max} est le flux maximum (veh/h).

4. Le N :

C'est une constante spécifique à la cellule et au temps, représentant le nombre maximum de véhicules pouvant être détenus dans la cellule i à l'instant t . Cette constante est calculée comme suit :

$$N = Lc * K_{jam} \quad (3.4)$$

Où le K_{jam} est la densité de bourrage.

Le tableau suivant résume les entrées requises pour CTM :

Variable	Valeur	Comment calculer
V_f	22.22 (m/s)	Dépend du code de la route Algérien
$TicClk$	[10,20,30](s)	Expérimentation
K_{jam}	400 (veh/km)	$= (1000 / (V\text{-length} (=5) + \text{minGap} (=2,5))) * 3$ voies
q_{max}		Expérimentation
q		Expérimentation
Q	Calculé(veh)	L'équation 3.3
N	Calculé(veh)	L'équation 3.4
Lc	Calculé(m)	L'équation 3.2

TABLE 3.2 Les entrées du CTM

3.3.2.2 Les calculs du CTM

En plus des entrées mentionnées dans le tableau 3.2, une autre entrée pour le modèle mathématique est nécessaire. C'est le tableau des occupations des cellules ainsi que le temps de voyage pour chaque cellule obtenu depuis les données des voitures flottants pour un TicClk (tic horloge) donné.

— Le calcul des occupations des cellules :

Le calcul des occupations des cellules se fait par les équations 1.2 et 1.3.

— Le calcul de temps de voyage pour chaque cellule :

Le calcul du temps de voyage pour chaque cellule est calculé par le modèle de flux macroscopique de Drew [Drew, 1968] qui se base sur la relation "densité-vitesse" pour

calculer la vitesse moyenne dans une cellule.

Le modèle de Drew (1968) :[Drew, 1968]

Drew a proposé un modèle macroscopiques plus généralisé de la relation "densité-vitesse" basé sur le modèle de Greenshields avec l'ajout du nouveau paramètre n . Le modèle de Drew tend à sous-estimer la vitesse à une phase d'écoulement libre, mais il surestime la vitesse dans la phase congestionnée.

Ce modèle est indiqué comme :

$$V_m = V_f * [1 - (\frac{k}{k_{jam}})^{\frac{n+1}{2}}] \quad (3.5)$$

Où :

V_m est la vitesse moyenne.

V_f est la vitesse d'écoulement libre.

k_{jam} est la densité de bourrage.

k est la densité.

n est un paramètre constant $n > -1$.

Pour notre travail le $n = 0.6$ qui reflète notre scénario d'autoroute.

Après le calcul de la vitesse moyenne pour chaque cellule, le temps de voyage dans une cellule sera calculé par l'équation suivante :

$$\text{TempsVoyage} = \frac{Lc}{V_m} \quad (3.6)$$

Après les calculs, on aura un tableau d'estimation des occupations des cellules et le temps de voyage pour chaque cellule pour une période donnée (sera fixée dans le chapitre suivant).

3.3.3 Module d'affichage et de calcul des métriques :

Ce module sera développé en basant sur le tableau de sortie de 2^e module via une interface d'une application comme montre la figure 3.8.

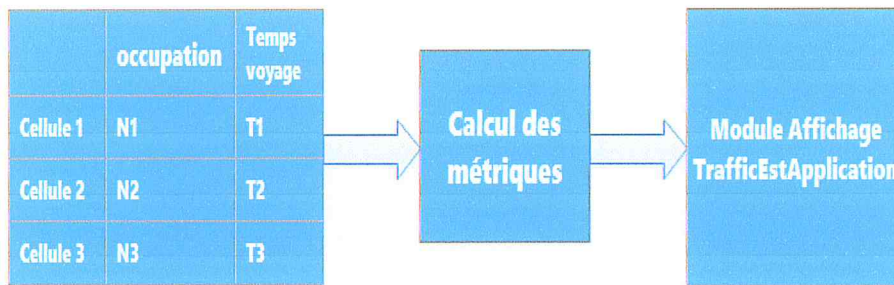


FIGURE 3.8 *Affichage des métriques dans l'application*

3.4 Les algorithmes utilisés

Un ensemble d'algorithmes est utilisé afin de réaliser notre travail :

1. Le Parsing.
2. Le traitement des données FCD.
3. Le calcul des occupations et temps de voyage.
4. La fonction INFLOW
5. La fonction OUTFLOW

L'algorithme 1 nous permet de faire le parsing du fichier FcdOutput.xml pour extraire les données Pos x, Pos y et Vitesse speed.

Algorithme 1 : Le parsing

Entrées : fichier FcdOutput.xml, Entier i

Sorties : Double $Data[]$ tableau

On pose : $i = 0$;

pour chaque *Time-Step* **faire**

pour chaque *IdVehicle* **faire**

pour chaque i **faire**

$Data[i] \leftarrow x$;

$Data[i + 1] \leftarrow y$;

$Data[i + 2] \leftarrow speed$;

$i \leftarrow i + 3$;

fin

fin

fin

L'algorithme 2 permet de traiter les données extraites par le parsing via un mapping afin de déterminer le nombre de véhicules et le temps de voyage pour chaque cellule.

Algorithme 2 : Traitement de données FCD

Entrées : Double $Data[]$, Lc , Double $MappingTab[][]$, Double $Vit - Moy[]$, Double

$Sum - Vit[]$

Sorties : Double $DataCells[]$

On pose : Entier $i = 1$; Entier $j = 1$; Entier $k = 0$;

pour chaque j faire

pour chaque i faire

pour chaque k faire

si ($MappingTab[i][j] \leq Data[k] \leq MappingTab[i][j + 1]$) **and**
 ($MappingTab[i][j + 2] \leq Data[k + 1] \leq MappingTab[i][j + 3]$) **alors**

$DataCells[i][1] := DataCells[i][1] + 1;$

$Sum - Vit[i] := Sum - Vit[i] + Data[k + 2];$

$i \leftarrow i + 1;$

$j \leftarrow j + 4;$

$k \leftarrow k + 3;$

fin

fin

fin

$Vit - Moy[i] = Sum - Vit[i] / DataCells[i][1];$

$DataCells[i][2] := Lc / Vit - Moy[i];$

fin

L'algorithme 3 permet de calculer les occupations des cellules à l'aide de modèle mathématique CTM.

Algorithme 3 : Le calcul des occupations et temps de voyage

Entrées : $V_f, q, q_{max}, Q, N, Jam - density, Cell - Lenght, Réel \alpha, Double$

$DataCells[][]$

Sorties : $Double DataCellsEst[][]$

On pose : Entier $i = 2$; Entier $j = 1$;

pour chaque $Time-Step(i)$ **faire**

pour chaque $Cellule(j)$ **faire**

$DataCellsEst[i][j] = DataCells[i - 2][j] + INFLOW() - OUTFLOW();$

$DataCellsEst[i + 1][j] = V_f * [1 - DataCellsEst[i][j]/N]^\alpha;$

$i \leftarrow i + 2;$

$j \leftarrow j + 1;$

fin

fin

les fonctions INFLOW et OUTFLOW sont écrit comme suit dans l'algorithme 4 et 5.

Algorithme 4 : la fonction INFLOW

Fonction **INFLOW**($n_{i-1}, n_i, Q_{i-1}, Q_i : Double$)

Début

$y_i = \min[n_{i-1}, \min[Q_{i-1}, Q_i], (N - n_i)]$

Retourner y_i

Fin

Algorithme 5 : la fonction OUTFLOW

Fonction **OUTFLOW**($n_i, n_{i+1}, Q_i, Q_{i+1} : Double$)

Début

$y_{i+1} = \min[n_i, \min[Q_i, Q_{i+1}], (N - n_{i+1})]$

Retourner y_{i+1}

Fin

3.5 Architecture de déploiement de la solution

Le déploiement de notre solution dans le terrain nécessite la présence de plusieurs blocs.

1. L'organisme qui nous donne la possibilité d'avoir des véhicules qui flottent dans les routes par exemple les Taxis, bus... .
2. On doit avoir des antennes 4G ainsi que des satellites qui peuvent communiquer avec les véhicules flottants afin de recevoir l'information et la transmettre au centre de contrôle

et de traitement.

3. Le centre contrôle et de traitement des données recueillies par les FCD.
4. Les utilisateurs doivent avoir l'application développée dans leurs véhicules ou sur leurs smart phones.

La figure 3.9 montre un exemple de déploiement de la solution dans le terrain.

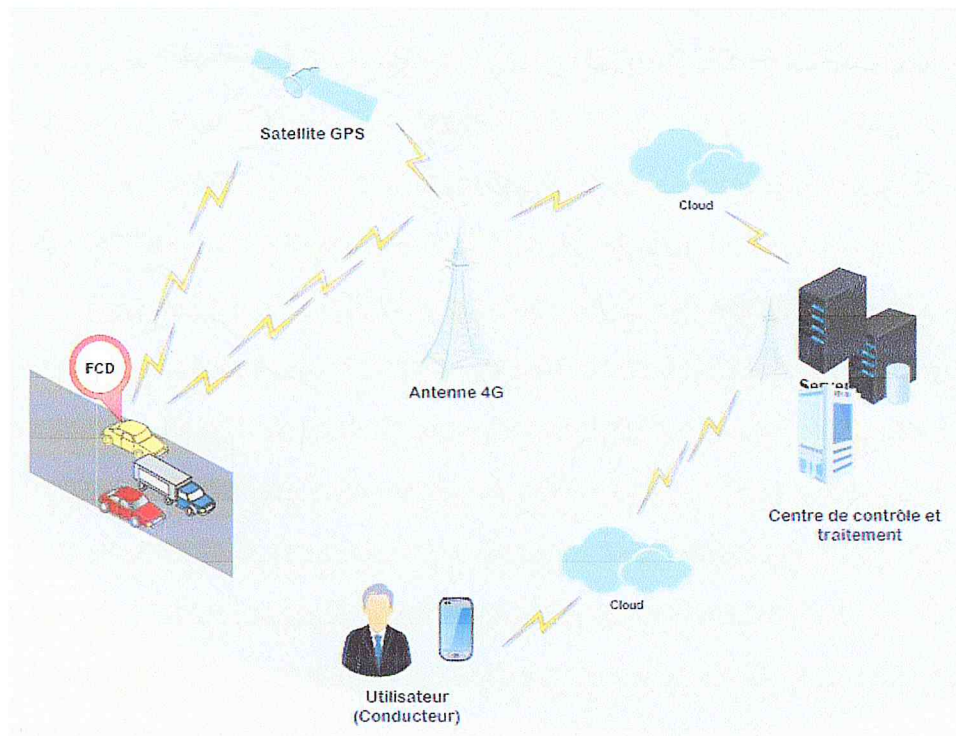


FIGURE 3.9 Exemple de déploiement de la solution dans le terrain

3.6 Présentation du langage UML

3.6.1 Définition

Le langage UML (Unified Modeling Language), se définit comme un langage de modélisation graphique et textuel destiné à comprendre et à définir des besoins, spécifier et documenter des systèmes, esquisser des architectures logicielles, concevoir des solutions et communiquer des points de vue [Roques, 2008]. UML est un support de communication performant : [Roques, 2008]

- Il cadre l'analyse.
- Il facilite la compréhension de représentations abstraites complexes.

— Son caractère polyvalent et sa souplesse en font un langage universel.

3.6.2 Les principaux acteurs du système

Un acteur représente un rôle joué par une entité externe (utilisateur humain, dispositif matériel ou autre système) qui interagit directement avec le système étudié. Un acteur peut consulter et/ou modifier directement l'état du système, en émettant et/ou en recevant des messages susceptibles d'être porteurs de données [Roques, 2008].

1. **L'utilisateur** : la personne qui utilise l'application pour savoir des données de trafic sur un tronçon donné.
2. **L'administrateur** : Ses tâches se résument dans la mise à jour de l'application.

3.6.2.1 Diagramme de cas d'utilisation

Un cas d'utilisation (use case) représente un ensemble de séquences d'actions qui sont réalisées par le système et qui produisent un résultat observable intéressant pour un acteur particulier. Un cas d'utilisation modélise un service rendu par le système. Il exprime les interactions acteurs/système et apporte une valeur ajoutée "notable" à l'acteur concerné [Roques, 2008].

Diagramme de cas d'utilisation globale de TraficEstApplication :

La figure suivante présente le diagramme de cas d'utilisation globale de notre application.

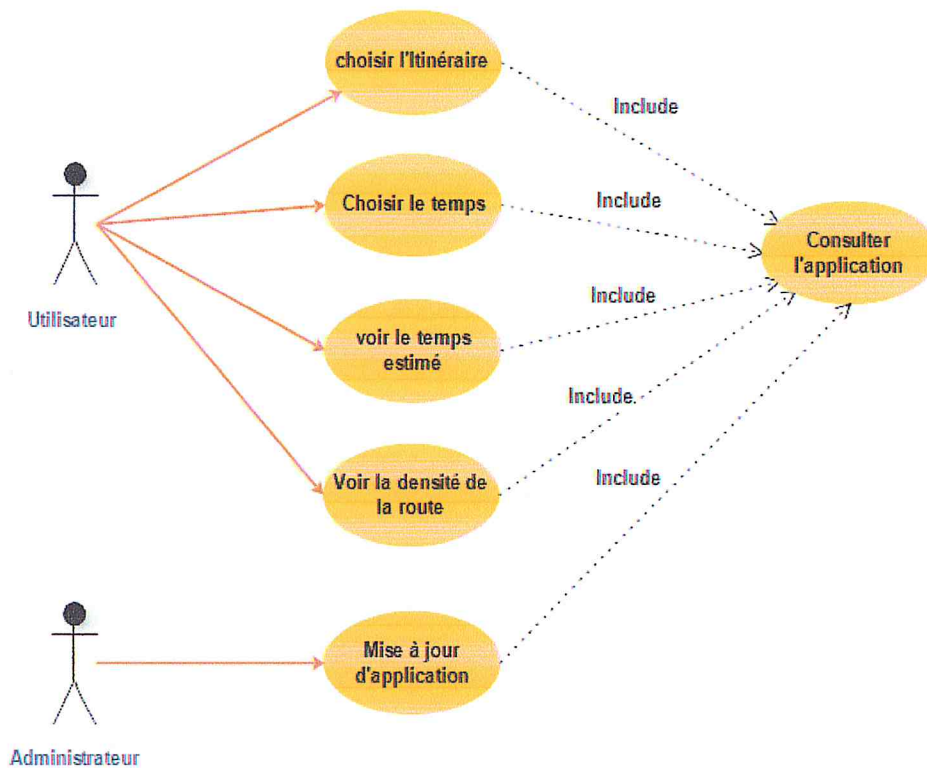


FIGURE 3.10 Diagramme de cas d'utilisation globale de TraficEstApplication

3.6.2.2 Diagramme de séquence

Un diagramme de séquence est un diagramme UML qui permet de représenter des scénarios d'exécution des fonctionnalités du système par ses différents acteurs. Il permet de visualiser les différentes informations et messages échangés entre les éléments du système durant l'exécution d'un processus donné [Roques, 2008].

Comme le but de notre système est d'estimer à court terme le trafic routier, nous avons fait le choix de représenter le principal scénario lié à savoir la densité et le temps de voyage sur un tronçon donné.

Le scénario commence lorsqu'on obtient les données des véhicules flottants après la simulation dans SUMO. Après le traitement de ces données débute par le parsing puis le mapping puis le modèle mathématique CTM sera appliqué pour calculer les métriques (la densité et le temps de voyage). Les métriques calculées seront dans notre application pour que l'utilisateur puisse les voir en choisissant l'itinéraire qu'il veut comme montré dans la figure suivante.

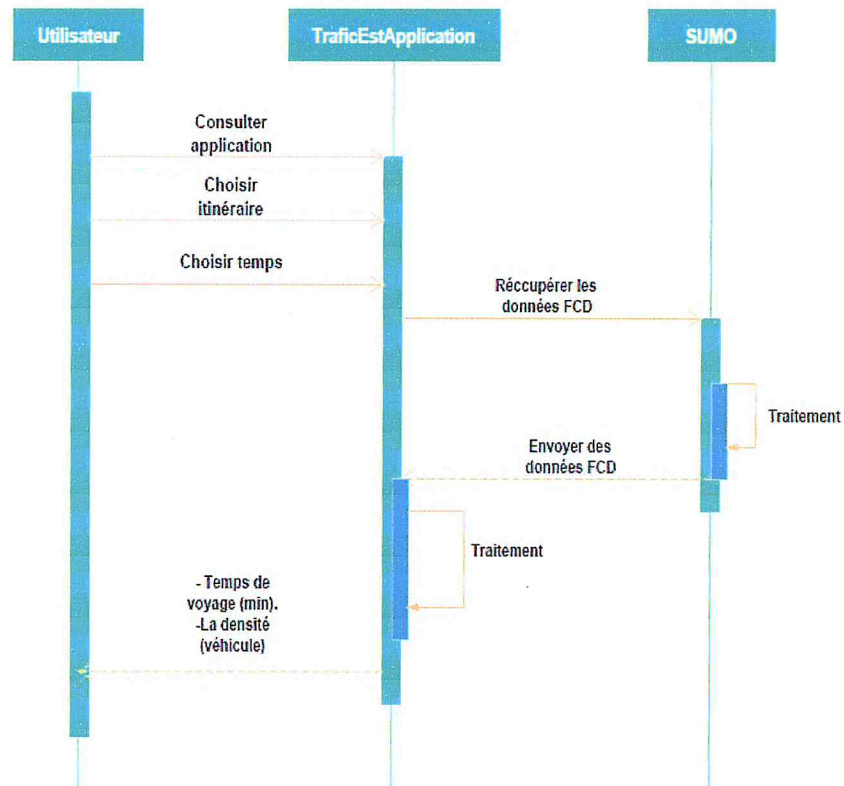


FIGURE 3.11 Diagramme de séquence

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un framework basé sur des modèles mathématiques macroscopiques à savoir CTM et Drew Model qui sont basés sur la théorie de flux et à l'aide des données des véhicules flottants pour estimer le trafic dans un réseau routier. Les variables macroscopiques étudiées sont la densité, le flux et la vitesse, à base de ces trois variables nous avons su estimer le temps de voyage et la densité sur un tronçon donné. Dans le chapitre suivant nous allons faire des simulations dans SUMO afin d'étudier l'impact du taux de pénétration des FCD et le meilleur tic-horloge pour le modèle mathématique (CTM) pour d'obtenir une meilleure estimation.

Chapitre 4

Tests et Résultats

4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la partie des tests et des résultats que nous avons résolus par notre solution proposée dans le chapitre précédent. Nous commencerons par une présentation de l'environnement de travail, puis nous allons présenter les paramètres de la plateforme développée, ensuite nous allons parler sur la zone étudiée et les différents scénarios et paramètres de simulation, Enfin, nous terminerons par une conclusion dans laquelle nous discuterons les résultats obtenus.

4.2 Présentation de l'environnement du travail

4.2.1 Logiciels Utilisés

4.2.1.1 OpenStreetMap (OSM)



FIGURE 4.1 Logo OpenStreetMap

En 2004, Le projet OpenStreetMap voit le jour. Steve Coast décide de lancer un équivalent à Wikipédia pour l'Information Géographique. Il s'agit d'une base de données spatiales ouverte et gratuite dont l'alimentation est rendue accessible à tous les internautes. En tant que plateforme de cartographie participative, OpenStreetMap s'adresse avant tout à des non-experts. Contrairement aux approches de production de l'information ascendantes adoptées par les fournisseurs de données institutionnels, OSM donne la possibilité aux profanes de décrire l'environnement qui leur est familier à l'échelle du bâti. Le site Web principal du projet est : <http://www.openstreetmap.org/>.

4.2.1.2 Simulation of Urban MObility (SUMO)

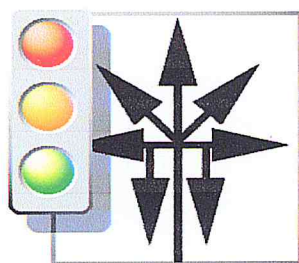


FIGURE 4.2 Logo SUMO

1. Définition :

SUMO¹ est un logiciel de simulation de trafic microscopique open source capable de gérer des réseaux routiers à grande échelle. Il est actuellement en cours de développement, ce qui se traduit par de nouvelles distributions et add-ons constants. Le projet a été lancé par des employés de l'Institut des systèmes de transport du Centre aérospatial allemand (DLR). SUMO offre une énorme quantité de possibilités pour les simulations de trafic, il peut générer toutes sortes de véhicules ainsi que des piétons et des vélos. Il offre la possibilité de programmer des éléments routiers tels que des arrêts de bus, des feux de circulation, des voies multiples, des carrefours, des parkings, accidents, etc. SUMO est implémenté en C++ et utilise uniquement des bibliothèques portables. Il a fait l'objet d'un développement continu de l'Institut des systèmes de transport, Berlin, Allemagne. SUMO version de développement est utilisé ici pour effectuer la simulation. Nous avons cette version en raison de ses outils nécessaires

1. <http://www.dlr.de/>

pour notre travail. SUMO-GUI est fondamentalement la même application que SUMO, juste étendue par une interface utilisateur graphique qui est supportée par la bibliothèque OpenGL. La figure ?? montre la zone d'étude dans SUMO-GUI pour notre simulation.

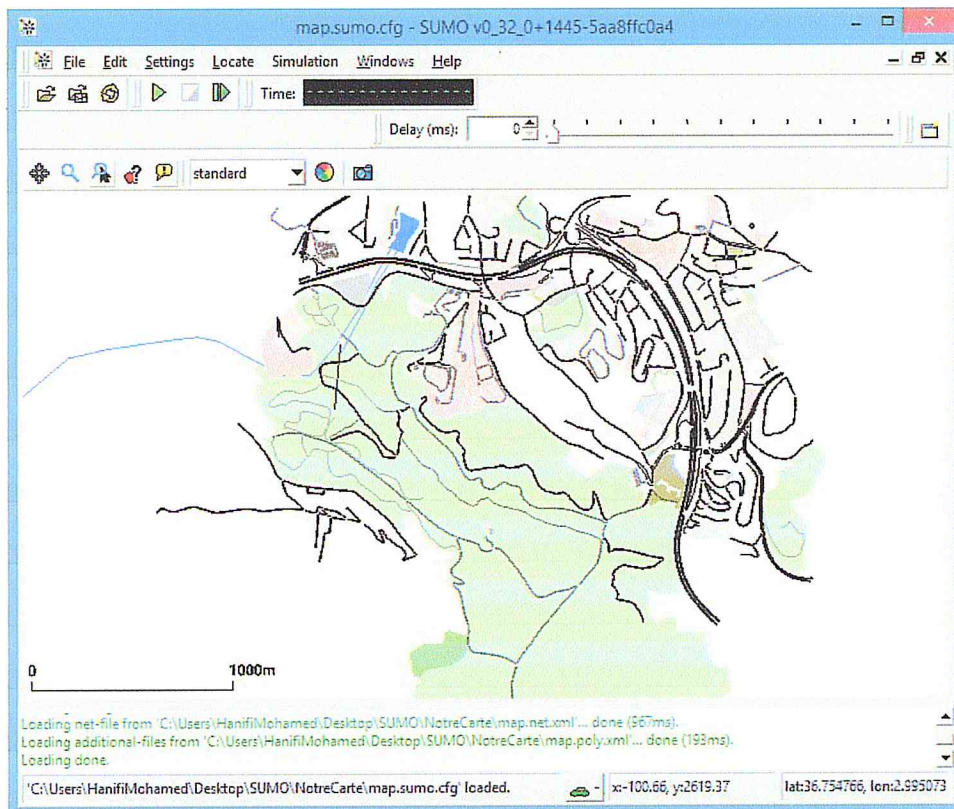


FIGURE 4.3 La zone d'étude dans SUMO

2. Les outils du SUMO :

Le logiciel de simulation SUMO comprend différents outils nécessaires pour préparer un réseau de circulation (routes, véhicules, feux de circulation ...), et le simule. Plusieurs outils inclus peuvent être vues dans le tableau suivant :

Nom	Description
SUMO	Une ligne de commande pour l'exécution de la simulation et la visualisation.
SUMO-GUI	Interface utilisateur graphique pour l'exécution de la simulation et la visualisation.
NETCONVERT	Importateur de réseau et générateur, lit les réseaux routiers de différents formats tel que .OSM et les convertit au format SUMO.
POLYCONVERT	Importe des points d'intérêt (POI) et des polygones de différents formats permettant d'être visualisés par SUMO-GUI.
NETEDIT	Un éditeur de réseau graphique.
DUAROUTER	Calcule les itinéraires à travers le réseau.
RandomTrips.py	Un outil python utilisé par SUMO. Cet outil génère un ensemble de déplacements aléatoires pour un réseau donné (option -n).

TABLE 4.1 Les outils de SUMO

3. Car Following Model (CFM) :

le CFM est un le modèle où le comportement des automobilistes est influencé par les autres conducteurs. La course, l'accélération et la décélération dépendent des pilotes précédents [Olstam, 2005].

Dans SUMO, il y a cinq théories de CFM qui peut s'appliquer dans la simulation. Il s'agit d'un modèle de voiture développé par différentes théories. (1) Krauss avec quelques modifications qui est le modèle par défaut utilisé dans SUMO. (2) Le modèle original de Krauss. (3) Le modèle de Peter Wagner. (4) Le modèle de Boris Kerner. (5) Le modèle de pilote intelligent (IDM) par Martin Treiber. Le 4eme et le 5eme modèle sont encore encours de développement. Dans notre travail nous avons utilisé le modèle de Krauss qui est par default appliqué dans SUMO. Plus de détail sur le CFM choisi est dans l'Annexe B.

4. Génération de réseau routier :

Il est possible d'importer un réseau dans SUMO à partir de diverses sources de données (Open StreetMap, Visum, Vissim, OpenDrive, MATsim, ArcView, GDF d'Elmar, Robocup Simulation League).

Génération d'un réseau réaliste à partir de OSM :

Dans notre travail, nous allons utiliser OSM pour générer le réseau. L'extraction des données de la page Web de l'OSM se fait de façon manuelle, en cliquant sur l'onglet "Exporter" et en sélectionnant la zone d'intérêt comme montre la figure ??.

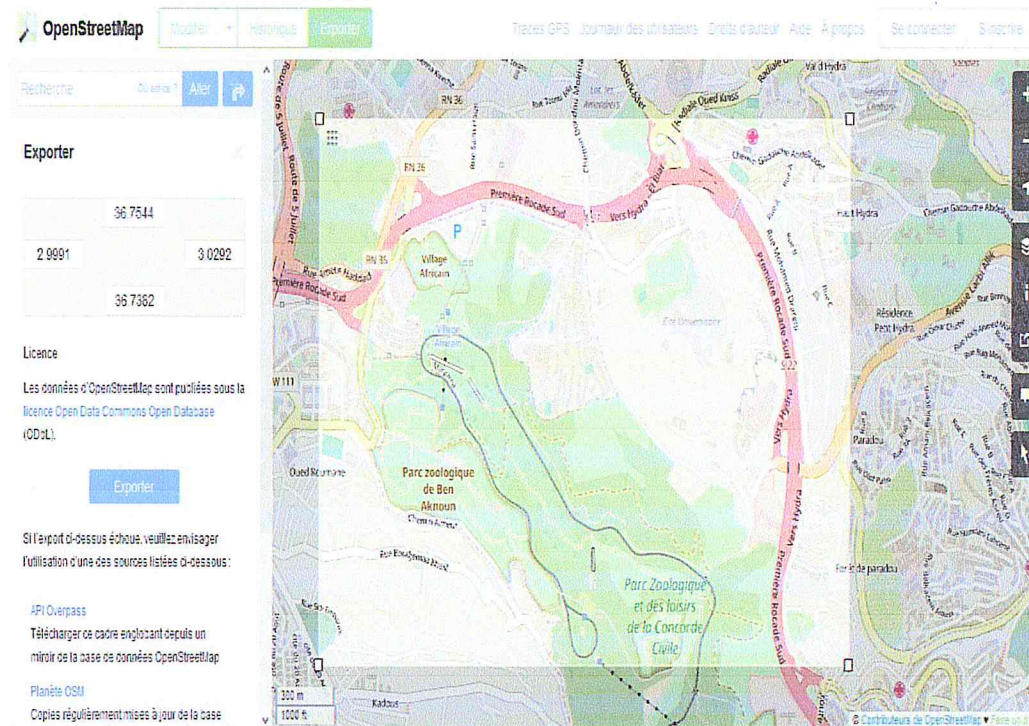


FIGURE 4.4 L'interface de OSM

Afin de créer le .net.xml pour SUMO, l'outil NETCONVERT a été appelé pour générer le fichier BenAk.net.xml correspondant via une ligne de commande plus de détail dans l'Annexe B.

Édition des réseaux auto générés :

Du fait que des outils pour générer automatiquement les réseaux ont été utilisés, les réseaux obtenus peuvent ne pas avoir les caractéristiques souhaitées. Afin de les corriger, l'outil NETEDIT a été utilisé. Nous avons utilisé l'outil NETEDIT dans notre travail afin de minimiser un peu la zone d'étude pour une première expérience. La figure suivante montre le réseau modifié dans NETEDIT.

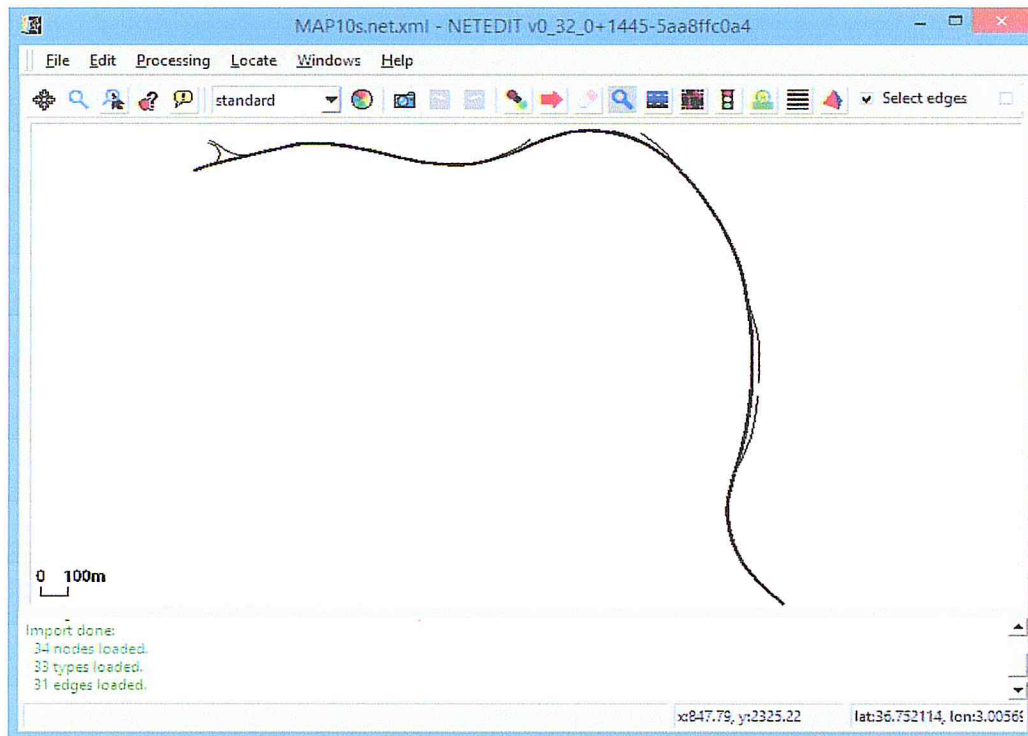


FIGURE 4.5 *Le réseau routier étudié*

Définition de la demande de trafic dans SUMO :

Il y a plusieurs façons de définir les véhicules et de générer leurs itinéraires dans SUMO. Sur la base des données d'entrée disponibles, la méthode utilisant l'outil de python `RandomTrips.py` est utilisée dans notre cas. Ce script python génère une série de trajets pour un fichier réseau `.net.xml` en entrée. L'option `-r` a été activée, permettant au script d'appeler automatiquement `DUAROUTER`, obtenant directement un fichier `.rou.xml` avec toutes les routines calculées. Plus de détail est dans l'Annexe B.

Le schéma suivant montre le processus de préparation de la simulation dans SUMO :

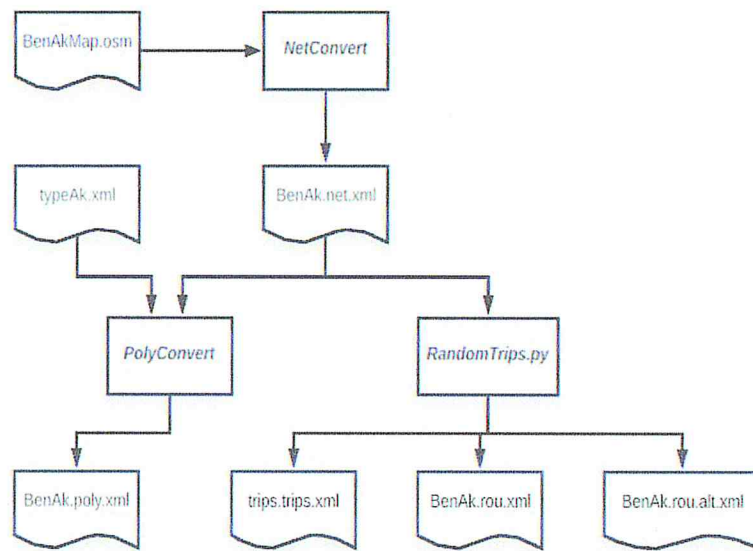


FIGURE 4.6 *Le processus de simulation*

Configuration et exécution de la simulation dans SUMO :

L'exécution de SUMO est disponible depuis la ligne de commande, en appelant `sumo` ou `sumo-gui` en cas de vouloir visualiser une représentation graphique de la simulation. Différentes options peuvent être ajoutées à la commande afin de configurer la simulation. Afin d'éviter les listes d'options très longues, les fichiers de configuration permettent de configurer différents paramètres et fichiers d'entrée. Ces fichiers de configuration peuvent avoir l'extension `sumo .cfg` ou `.sumocfg`, et sont chargés dans `sumo` à partir de la ligne de commande avec l'option `"-c"` et ils prennent en entrée les fichiers de réseaux, routes et des fichiers additionnels comme montre le schéma suivant. Plus de détail est dans l'Annexe B.

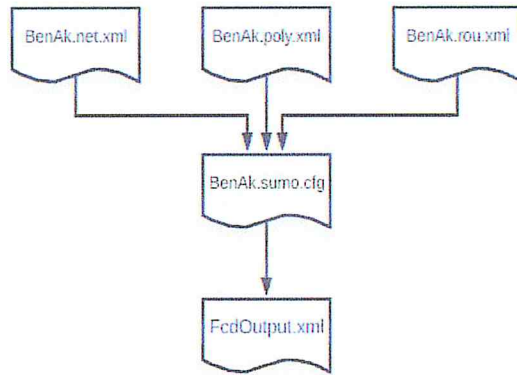


FIGURE 4.7 Le fichier *BenAk.cfg*

Une fois la simulation lancée, dans le cas de *sumo.exe*, les informations d'exécution sont affichées dans la console de commande, tandis que dans le cas de *sumo-gui.exe*, l'interface graphique s'ouvre avec une visualisation 2D du réseau et des véhicules effectuant leurs voyages comme montre la figure

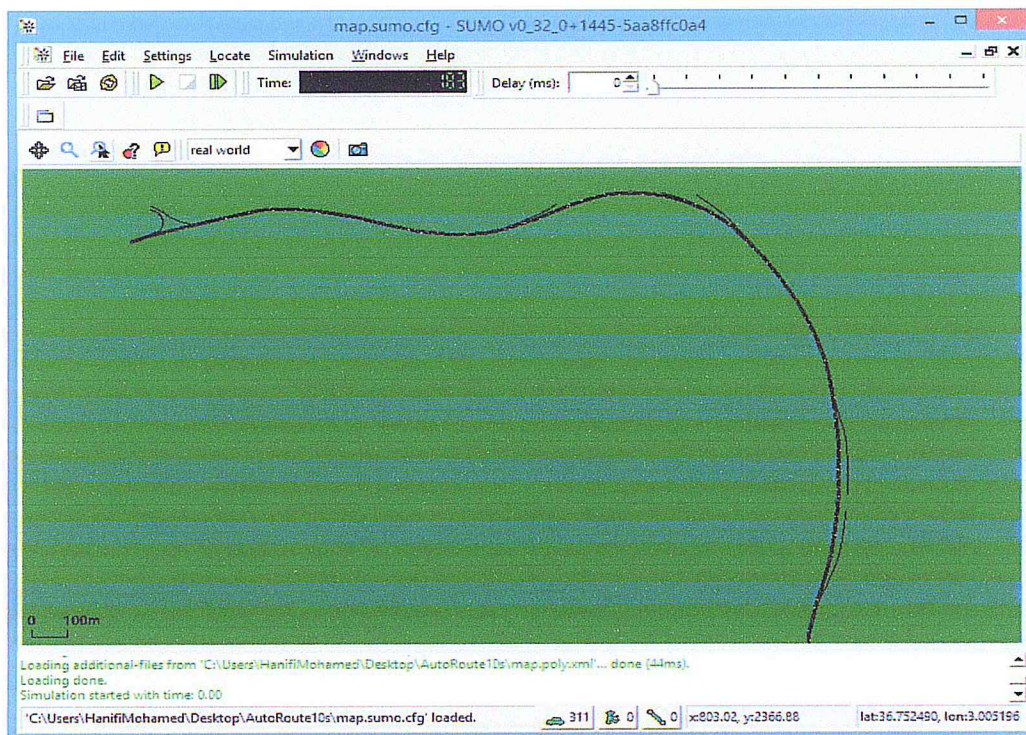


FIGURE 4.8 Interface *SUMO-GUI*

4.2.1.3 NetBeans



FIGURE 4.9 *Logo NetBeans*

NetBeans est un environnement de développement intégré (IDE), placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL (Common Development and Distribution License) et GPLv2. En plus de Java, NetBeans permet la prise en charge native de divers langages tels le C, le C++, le JavaScript, le XML, le Groovy, le PHP et le HTML, ou d'autres (dont Python et Ruby) par l'ajout de greffons téléchargeable du site : <https://netbeans.org/downloads>. Il offre toutes les facilités d'un IDE moderne (éditeur en couleurs, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web).

Compilé en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OS X ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java). Un environnement Java Development Kit JDK est requis pour les développements en Java.

NetBeans constitue par ailleurs une plateforme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plateforme. De plus, NetBeans est écrit en Open Source, téléchargeable directement du site <http://java.sun.com>. Il est puissant et compatible avec toutes les nouvelles technologies Java (les technologies Java EE, les bases de données, UML, XML, ...).

4.2.1.4 Excel



FIGURE 4.10 *Logo Excel*

Microsoft Excel est une feuille de calcul développée par Microsoft pour Windows, macOS, Android et iOS. Il comporte des outils de calcul, des outils graphiques, des tableaux croisés dynamiques et un langage de programmation macro appelé Visual Basic pour Applications. Il s'agit d'une feuille de calcul très largement utilisée pour ces plates-formes, en particulier depuis la version 5 de 1993, et elle a remplacé Lotus 1-2-3 comme standard de l'industrie pour les tableurs. Excel fait partie de Microsoft Office téléchargeable depuis ce site : <https://products.office.com/fr-fr/home>.

Excel offre de nombreux avantages et nous en citons :

- Saisie rapide et précise des données.
- Recalcul facile des données.
- Vérifications des hypothèses.
- Modification de la présentation des données.
- Création de graphiques.

4.2.1.5 Edraw max

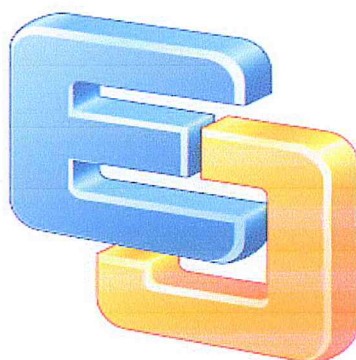


FIGURE 4.11 Logo Edraw max

Edraw Max² est un logiciel polyvalent de conception de diagrammes, avec des caractéristiques qui le rendent parfait non seulement pour éditer des diagrammes de flux dans un style très professionnel, des organigrammes, des diagrammes et graphiques des ventes, mais aussi pour réaliser des diagrammes réseaux, des plans de construction, des cartes heuristiques (mind maps), des flux de données, des diagrammes de conceptions, des diagrammes UML, des diagrammes d'ingénierie en électricité, des illustrations scientifiques. Il est téléchargeable depuis ce site : <https://fr.edrawsoft.com/download.php>.

2. <https://fr.edrawsoft.com>

4.2.2 Langages de programmation utilisés

4.2.2.1 JAVA



FIGURE 4.12 *Logo JAVA*

Pour implémenter notre système, on a opté pour le langage de programmation java. En effet, Java s'annonce comme une des évolutions majeures de la programmation. JAVA³ est un langage de programmation orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, employés de Sun Microsystems, avec le soutien de Bill Joy (cofondateur de Sun Microsystems en 1982), présenté officiellement le 23 mai 1995 au SunWorld. La société Sun a été ensuite rachetée en 2009 par la société Oracle qui détient et maintient désormais Java.

La particularité et l'objectif central de Java est que les logiciels écrits dans ce langage doivent être très facilement portables sur plusieurs systèmes d'exploitation tels que Unix, Windows, Mac OS ou GNU/Linux, avec peu ou pas de modifications. Pour cela, divers plateformes et Frameworks associés visent à guider, sinon garantir, cette portabilité des applications développées en Java. Nous avons développé notre Système, ainsi que l'interface graphique de notre application, et on a trouvé en langage java tout ce qu'on a besoins pour implémenter notre système ainsi que notre interface.

3. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Java>

4.2.2.2 Python



FIGURE 4.13 *Logo Python*

Python⁴ est un langage de programmation objet, multi-paradigme et multiplateformes. Il favorise la programmation impérative structurée, fonctionnelle et orientée objet. Il est doté d'un typage dynamique fort, d'une gestion automatique de la mémoire par ramasse-miettes et d'un système de gestion d'exceptions ; il est ainsi similaire à Perl, Ruby, Scheme, Smalltalk et Tcl.

Le langage Python est placé sous une licence libre proche de la licence BSD4 et fonctionne sur la plupart des plates-formes informatiques, des supercalculateurs aux ordinateurs centraux, de Windows à Unix avec notamment GNU/Linux en passant par macOS, ou encore Android, iOS, et aussi avec Java ou encore .NET. Il est conçu pour optimiser la productivité des programmeurs en offrant des outils de haut niveau et une syntaxe simple à utiliser. Il est également apprécié par certains pédagogues qui y trouvent un langage où la syntaxe, clairement séparée des mécanismes de bas niveau, permet une initiation aisée aux concepts de base de la programmation.

4.2.2.3 XML

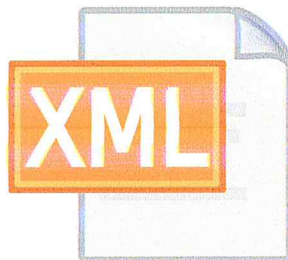


FIGURE 4.14 *Logo XML*

4. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Python>

Le XML⁵, acronyme de eXtensible Markup Language (qui signifie : langage de balisage extensible), est un langage informatique qui sert à enregistrer des données textuelles. Ce langage a été standardisé par le W3C⁶ en février 1998 et est maintenant très populaire. Ce langage, grosso-modo similaire à l'HTML de par son système de balisage, permet de faciliter l'échange d'information sur l'Internet. Contrairement à l'HTML qui présente un nombre finit de balises, le XML donne la possibilité de créer de nouvelles balises à volonté.

Les avantages du XML sont multiples :

- Lisibilité : il est facile pour un humain de lire un fichier XML car le code est structuré et facile à comprendre. En principe, il est même possible de dire qu'aucune connaissance spécifique n'est nécessaire pour comprendre les données comprises à l'intérieur d'un document XML.
- Disponibilité : ce langage est libre et un fichier XML peut être créé à partir d'un simple logiciel de traitement de texte (un simple bloc-note suffit).
- Interopérabilité : Quelque soit le système d'exploitation ou les autres technologies, il n'y a pas de problème particulier pour lire ce langage.
- Extensibilité : De nouvelles balises peuvent être ajoutée à souhait.
- Plusieurs parceurs XML différent doivent en principe (s'ils sont bien codés) produire le même résultat.
- Tous les navigateurs internet récents intègrent un parceur XML, pour lire les documents de ce langage informatique.

4.3 Plateforme Développée

Dans ce qui suit, nous présentons le framework développé pour l'estimation a court terme du trafic routier en commençant par définir les différentes fonctionnalités de l'application. La conception a été réalisée par une interface graphique développée sous Logiciel NetBeans IDE 8.2.

5. <http://glossaire.infowebmaster.fr/xml/>

6. <https://www.w3.org/TR/REC-xml/>

4.3.1 Présentations des interfaces de l'application

La fenêtre principale de notre application **TrafficEstApplication** est composée des fonctionnalités suivantes :

- Menu **Temps** contient les différents temps pour choisir le temps voulu pour voir les résultats d'estimation : Now (ce moment), après 5 minutes, après 10 minutes, après 20 minutes, après 30 minutes.
- Menu **Choisir Itinéraires** contient les différents itinéraire inclut dans notre zone d'étude :

1. Said-Hamdine vers Hydra.
2. Said-Hamdine vers Cité-Malki.
3. Said-Hamdine vers Ben-Aknoun.
4. Hydra vers Cité-Malki.
5. Hydra vers Ben-Aknoun.
6. Cité-Malki vers Ben-Aknoun.

- Un **Bouton** pour la visualisation des résultats : temps de voyage, Densité du trafic.

La figure 4.19 représente l'interface Principale de **TrafficEstApplication** et ces différentes fonctionnalités.

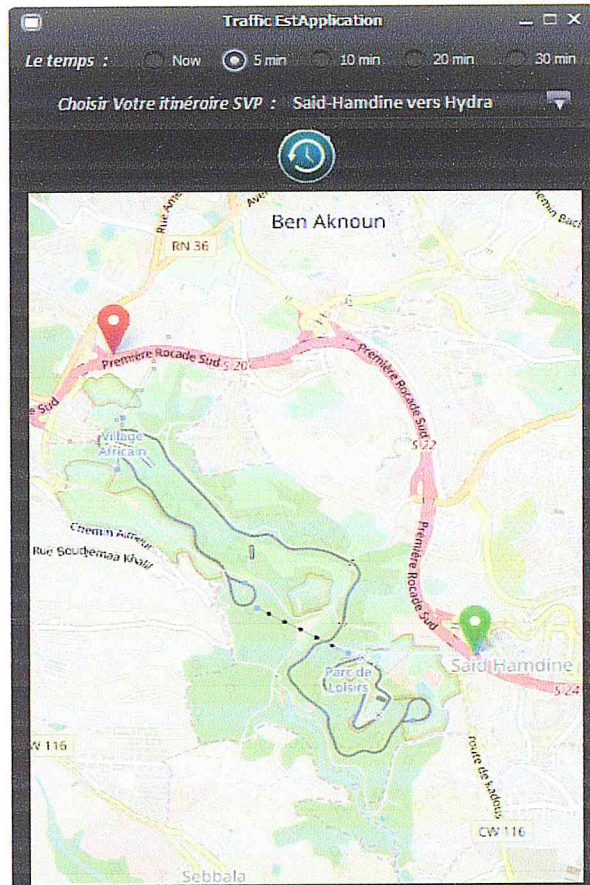


FIGURE 4.15 Interface Principale de *TrafficEstApplication*

La figure ?? représente le choix d'utilisateur de l'itinéraire **Hydra vers Cité-Malki** et il veut voir le temps de voyage estimé après les 10 minutes prochaines.

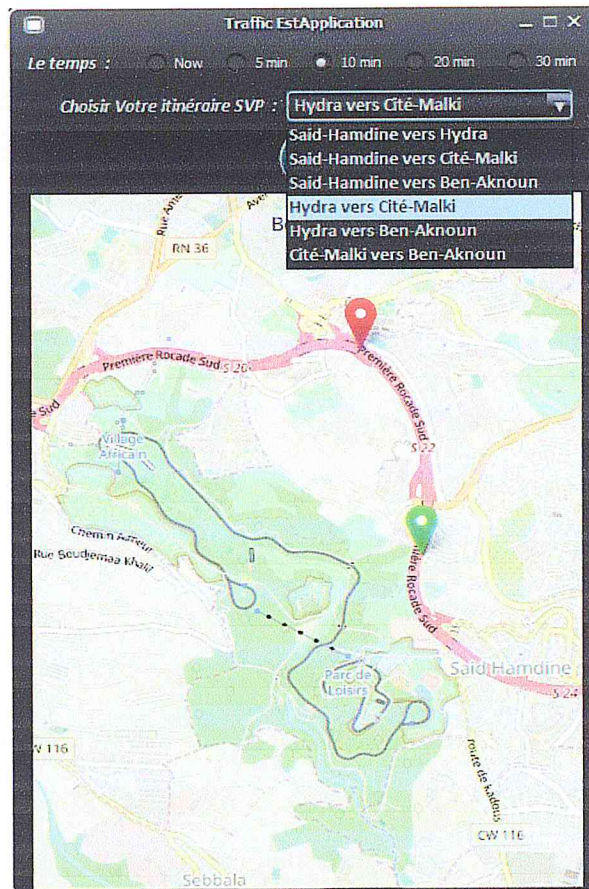


FIGURE 4.16 Choisir itinéraire et temps

La figure ?? représente le résultat du temps de voyage **35min29s** ainsi que la densité du trafic **618 véhicules** pour l'itinéraire **Said-Hamdine vers Ben-Aknoun** après 20 minutes.

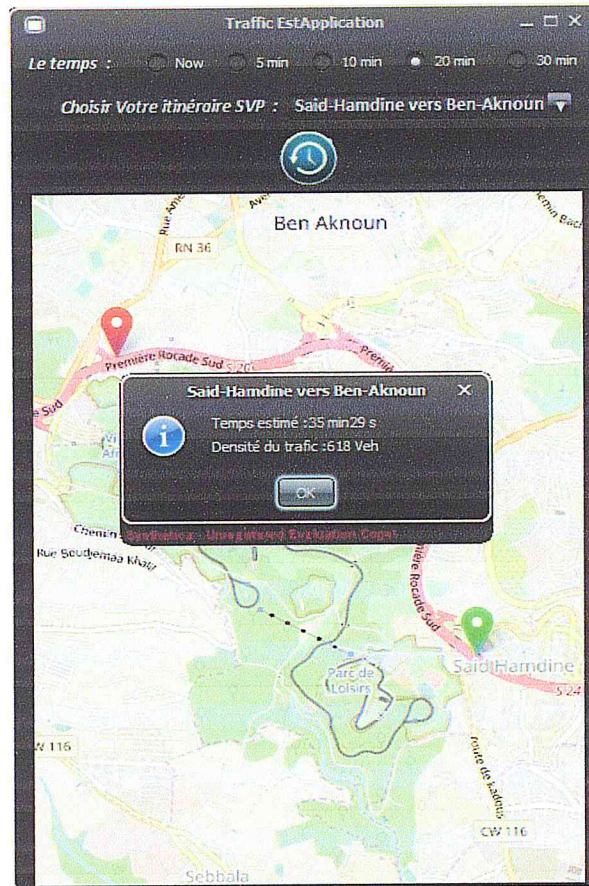


FIGURE 4.17 Résultat du temps de voyage et de la densité sur l'itinéraire *Said-Hamdine vers Ben-Aknoun* après 20 minutes.

4.3.2 Les modules de l'application

Cette partie est dédiée à la description de l'architecture de notre application ainsi que les modules principaux utilisés pour le développement de notre application. Premièrement nous avons fait un parsing sur le fichier **FCD.xml** pour récupérer les ID des voitures existantes sur notre zone d'étude, leurs position (X,Y) ainsi que leurs vitesse (**Speed**) dans un tableau *Data[]*, ensuite on a fait le mapping du tableau *Data[]* avec les intervalles des positions des cellules pour avoir les nombres de véhicule dans chaque cellule, et on a calculé le temps de voyage nécessaire pour chaque cellule et mettre les résultats du mapping dans *Data - cells[]*, après on a programmé le modèle mathématique CTM pour nous calculer la Densité du trafic en se basant sur les données *Data - cells[]*, ainsi que le modèle de DREW pour calculer les temps des voyage estimée, pour à la fin afficher les résultats sur notre interface **TrafficEstApplication** comme montre la figure ??.

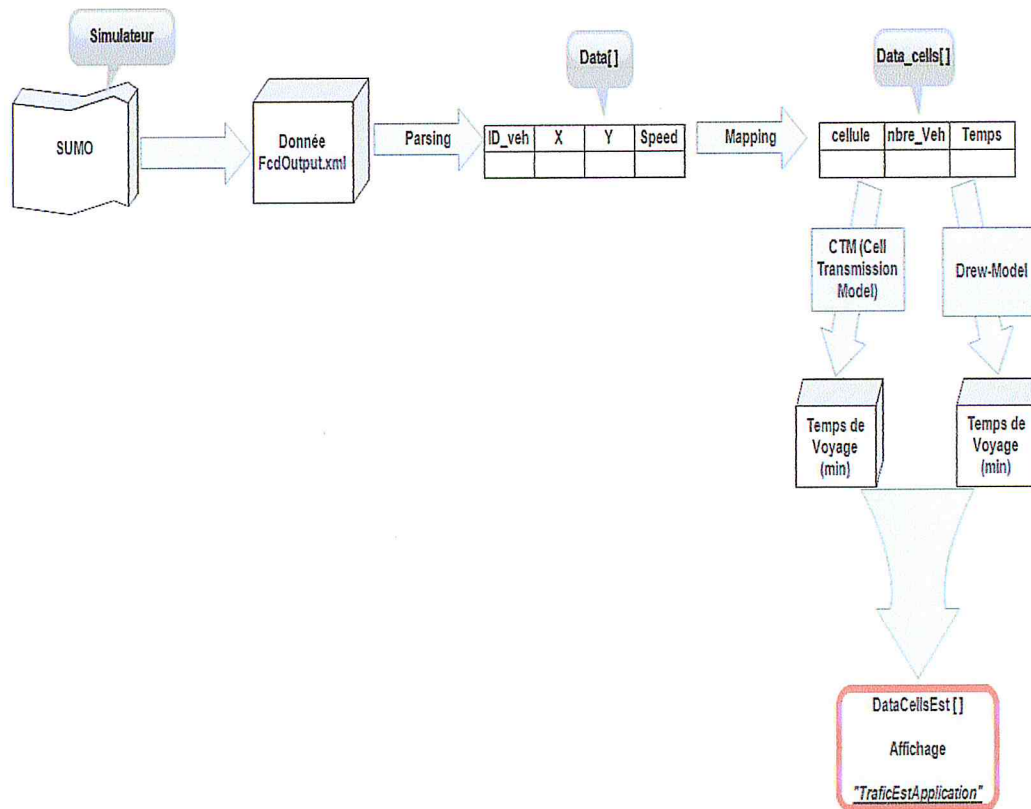


FIGURE 4.18 Les modules de l'application

4.4 Résultats et Discussions

4.4.1 Zone étudiée

Afin de créer un scénario réaliste, nous avons décidé de partir d'une réelle zone d'étude de cas. Donc, nous avons choisi La première Rcade Sud Alger dénommée aussi RSA qui est une infrastructure routière (de type autoroutier), qui relie « Paradou, Hydra, Daïra Bir Mourad Rais, Alger » avec « Ben Aknoun, Daïra Bouzareah, Alger » dans 1 sens avec une distance d'environ 3.5 kilomètres.

Après avoir choisi la ville, nous avons utilisé OpenStreetMap (OSM) pour extraire sa topologie routière. Un fichier OSM contient toutes les informations nécessaires sur l'environnement et sa précision a été détaillée dans [Haklay, 2010]. La figure 4.19 présente une vue de notre zone d'étude depuis OpenStreetMap (OSM).

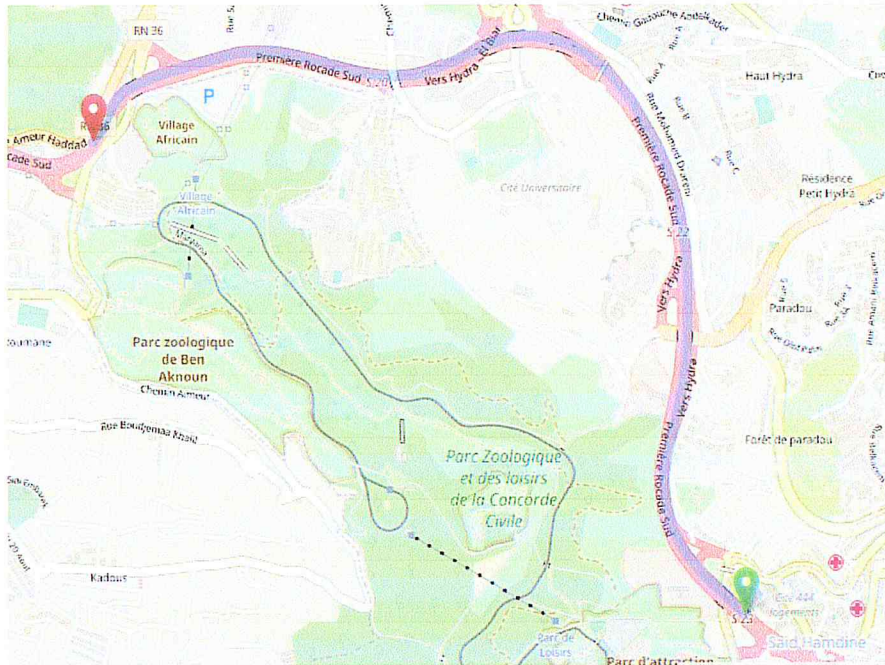


FIGURE 4.19 La zone d'étude (La rocade sud) depuis OpenStreetMap

4.4.2 Scénarios et paramètre de simulation

L'étape suivante de notre travail consiste à appliquer les chapitres précédents sur l'ensemble des données d'études de cas afin d'évaluer la performance de l'estimation du modèle de transmission cellulaire (CTM) et le modèle de Drew tout au long des différentes périodes modélisées et simulées pendant une durée de 1 Heure. En définissant des variantes dans lesquelles les paramètres initialement choisis sont modifiés, la sensibilité des modèles mathématiques est également évaluée. Les simulations se décomposent en deux parties :

4.4.2.1 Partie 1 : Simulation d'une congestion

Six variantes sont définies pour la simulation et trois vérités terrain obtenues depuis le simulateur SUMO pour évaluer les variantes choisies.

— **Variante 1 :**

- Couverture FCD : 10%
- Tic-horloge : 10s

La 1^{re} variante a 10% de couverture FCD et un tic-horloge du CTM 10 secondes.

— **Variante 2 :**

- Couverture FCD : 15%

- Tic-horloge : 10s

La 2^e variante on change dans la couverture de FCD à 15% et le tic-horloge du CTM reste 10 secondes.

— **SUMO 1 :**

La première vérité terrain SUMO 1 soit obtenue depuis le simulateur SUMO pour évaluer l'estimation de densité et le temps de voyage des deux variantes variante 1 et variante 2.

— **Variante 3 :**

- Couverture FCD : 10%

- Tic-horloge : 20s

La 3^e variante a 10% de couverture FCD et un tic-horloge du CTM 20 secondes. Le changement de tic-horloge implique un changement dans le réseau notamment la taille de cellule.

— **Variante 4 :**

- Couverture FCD : 15%

- Tic-horloge : 20s

La 4^e variante on change dans la couverture de FCD à 15% et le tic-horloge du CTM reste 20 secondes.

— **SUMO 2 :**

La deuxième vérité terrain SUMO 2 soit obtenue depuis le simulateur SUMO pour évaluer l'estimation de densité et le temps de voyage des deux variantes variante 3 et variante 4.

— **Variante 5 :**

- Couverture FCD : 10%

- Tic-horloge : 30s

La 5^e variante a 10% de couverture FCD et un tic-horloge du CTM 30 secondes. La

taille de cellule augmente due à l'augmentation de tic-horloge.

— **Variante 6 :**

- Couverture FCD : 15%

- Tic-horloge : 30s

La 6^e variante on change dans la couverture de FCD à 15% et le tic-horloge du CTM reste 30 secondes.

— **SUMO 3 :**

La troisième vérité terrain SUMO 3 soit obtenue depuis le simulateur SUMO pour évaluer l'estimation de densité et le temps de voyage des deux variantes variante 5 et variante 6.

4.4.2.2 Partie 2 : Simulation d'un état de trafic Non-congestionné

Un autre scénario supplémentaire est simulé dans notre travail. Dans ce scénario on change dans la façon dont les véhicules entre dans le système. Pour ce faire on va laisser l'entrée des véhicules menée par la loi de distribution BINOMIAL.

Le scénario ce procède par 4 simulations faites sur la variante qui va être choisi parmi les 6 variantes simulées, et on change les valeurs de « p » de la distribution BINOMIAL pour chaque simulation. Plus de détail sur l'utilisation de loi binomial pour la génération de demande de trafic via RandomTrips.py est dans l'Annexe B.

— Variante B1 : $P= 0.2$

— Variante B2 : $P= 0.4$

— Variante B3 : $P= 0.6$

— Variante B4 : $P= 0.8$

4.4.3 Commentaire sur les résultats obtenus

Les résultats bruts de chacune des variantes sont affichés. Les résultats sont présentés séparément pour chaque métrique calculée. De plus, le pourcentage de l'erreur de chaque estimation par rapport à la vérité de terrain est montré. Un regard plus approfondi sur les

résultats individuels, la comparaison entre les résultats, la discussion et la synthèse sont aussi présentés. Le pourcentage de l'erreur égale à :

$$PrcErreur = \frac{|V_{SUMO} - V_{Estim}|}{V_{SUMO}} * 100 \quad (4.1)$$

4.4.3.1 Partie 1 : Résultat de l'estimation de congestion

Après avoir faire la 1^{re} partie des simulations les résultats suivants est montrés comme suit :

1. Tic horloge 10s

Densité :

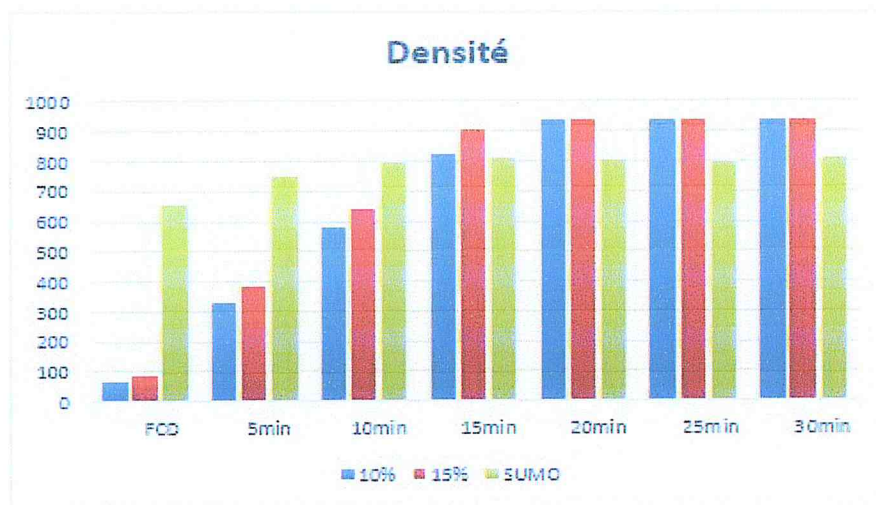


FIGURE 4.20 Résultat de l'estimation de densité (10s)

10s	FCD	5min	10min	15min	20min	25min	30min	PrcErrMoy (%)
Variante 1 (10%)	63	329	577	822	938	938	938	
Variante 2 (15%)	87	382	638	903	938	938	938	
SUMO 1	654	751	796	807	805	798	809	
PrcErreurVar1 (%)	90.36	56.19	27.51	1.85	16.52	17.54	15.94	32.27
PrcErreurVar2 (%)	86.69	49.13	19.84	11.89	16.52	17.54	15.94	31.07

TABLE 4.2 Les résultats de l'estimation de densité (10s)

Discussion :

On remarque à partir de la figure 4.20 qu'il y a un grand écart au niveau des résultats FCD entre la densité que nous donne 10%FCD et 15%FCD par rapport à la densité que

SUMO nous donne, car la densité de SUMO représente 100% des véhicule FCD, mais dans les temps d'estimation prochains 5min, 10min et 15min on remarque que cet écart se diminue ce qui explique que l'estimation est meilleur sur 15%FCD mieux que sur 10%FCD avec une estimation de 69%.

Dans les temps 20min, 25min et 30min la densité des deux variantes est la même, cela est dû à cause de l'encombrement sur la route donc les cellules vont être pleine et contiennent le même nombre de véhicule pour 10%FCD et 15%FCD ce qui explique l'égalité de la densité dans les deux cas.

Temps de voyage :

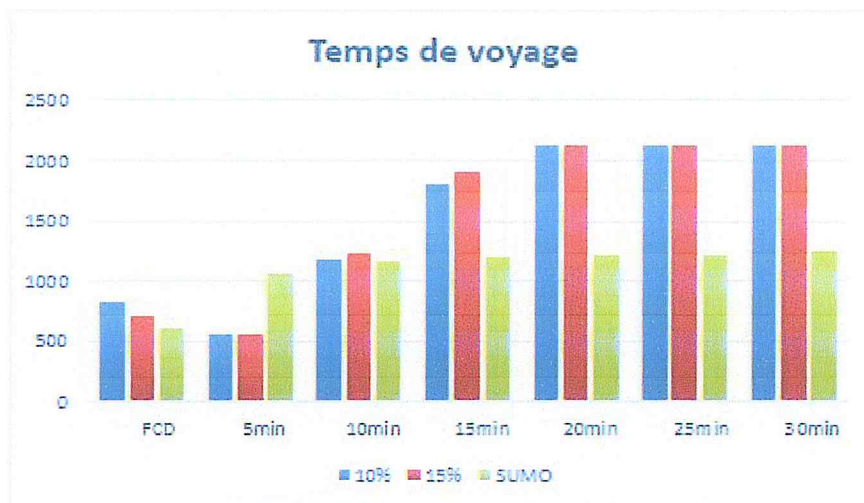


FIGURE 4.21 Résultat de l'estimation de temps de voyage (10s)

10s	FCD	5min	10min	15min	20min	25min	30min	PrcErrMoy (%)
Variante 1 (10%)	823.17	551	1179.39	1811.39	2119.92	2119.92	2119.92	
Variante 2 (15%)	702	550.95	1226.4	1897.95	2119.92	2119.92	2119.92	
SUMO 1	600.89	1054.91	1161.23	1202.03	2013.03	1205.25	1249.48	
PrcErreurVar1 (%)	36.99	47.76	1.56	50.69	74.76	75.89	69.66	51.44
PrcErreurVar2 (%)	16.82	47.77	5.61	57.89	74.76	75.89	69.66	49.77

TABLE 4.3 Les résultat d'estimation de temps de voyage (10s)

Discussion :

On remarque à partir de la figure 4.21 que le temps de voyage au niveau FCD du

15%FCD et plus proche a SUMO que 10%FCD et dans les prochaine 10min on voit que le temps de voyage est très proche du temps de SUMO car la congestion causé n'a pas encore influé jusqu'à les première cellules, mais dans les prochains temps 15min, 20min, 30min on remarque qu'il existe un écart entre les temps du voyage de 10%FCD, 15%FCD avec le temps de voyage de SUMO cela explique l'influence de la congestion sur toutes les cellules alors sur le temps de voyage.

L'estimation du temps de voyage dans 15%FCD est un peu précis que 10%FCD avec une estimation de 50%.

2. Tic horloge 20s

Densité :

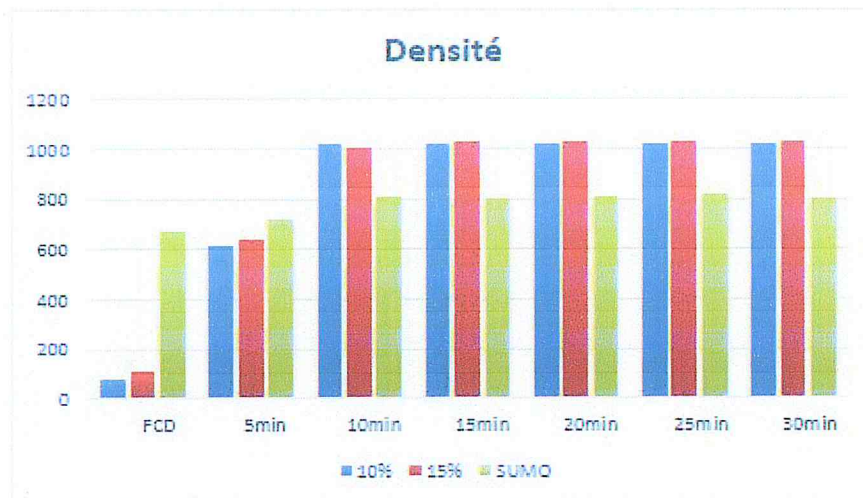


FIGURE 4.22 Résultat d'estimation de densité (20s)

20s	FCD	5min	10min	15min	20min	25min	30min	PrcErrMoy (%)	
Variante (10%)	3	78	617	1022	1022	1022	1022		
Variante (15%)	4	109	638	1006	1026	1026	1026		
SUMO 1		675	721	812	800	806	814		804
PrcErreurVar3 (%)		88.44	14.42	25.86	27.75	26.79	25.55	27.11	33.70
PrcErreurVar4 (%)		83.85	11.51	23.89	28.25	27.29	26.04	27.61	32.63

TABLE 4.4 Les résultat d'estimation de densité (20s)

Discussion :

On remarque à partir de la figure 4.22 et le tableau 4.4 que le pourcentage d'erreur de la densité estimée du 15%FCD dans les premières 5 min est plus petit que celui de 10%FCD, et plus proche aux résultats de SUMO. Dans les temps 10min, 20min et 30min on voit que la densité obtenue par 15%FCD sont les mêmes pour ces différents temps prochains, cela explique l'influence de l'embouteillage. Cela déduit que plus la longueur de cellules est grande plus le pourcentage d'erreur augmente et on aura des résultats non représentatifs.

On remarque aussi que l'embouteillage est détectée dès les 5 premières minutes par rapport à la variante 2. D'où l'estimation de densité est plus réaliste dans la variante 2 par rapport à cette variante 4. Cela implique que l'estimation de l'état de trafic dans la variante 2 est mieux que la variante 4.

On remarque aussi que l'influence de couverture FCD est moins vue dans le tic-horloge 20s que pour le tic-horloge 10s notamment dans les premières 10 minutes avec 10% de plus d'exactitude.

Temps de voyage :

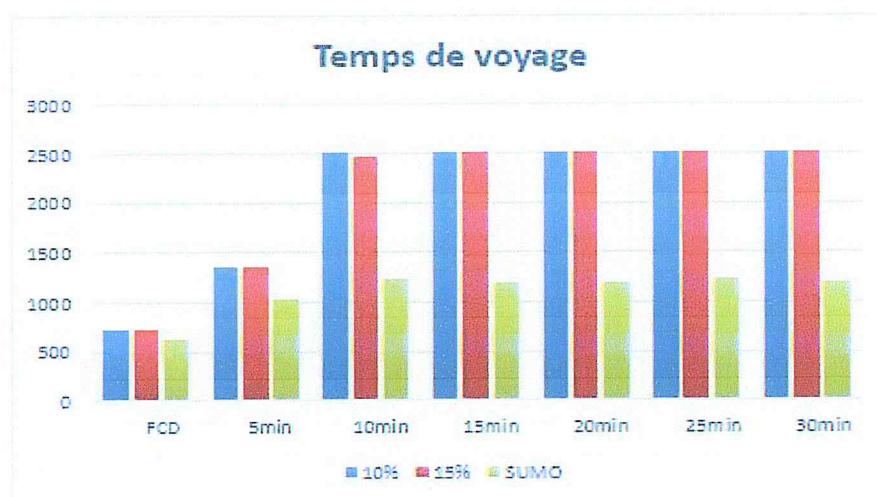


FIGURE 4.23 Résultat d'estimation de temps de voyage (20s)

20s		FCD	5min	10min	15min	20min	25min	30min	PrcErrMoy (%)
Variante (10%)	3	727.48	1356.34	2507.2	2507.2	2507.2	2507.2	2507.2	
Variante (15%)	4	724.61	1360.55	2463.55	2507.99	2507.99	2507.99	2507.99	
SUMO 1		620.7	1020.96	1224.55	1184.8	1194.23	1232	1182.98	
PrcErreurVar3 (%)		17.20	32.84	104.74	111.61	109.94	103.50	111.94	
PrcErreurVar4 (%)		16.74	33.26	101.18	111.68	110.01	103.57	112.01	

TABLE 4.5 Les résultat d'estimation de temps de voyage (20s)

Discussion :

Comme montre la figure 4.23 l'estimation de temps de voyage dans les premières 5 minutes est bonne avec 75% d'exactitude, cette exactitude diminue avec le temps jusqu'à 15% après 30 minutes.

Dans le tableau 4.5 nous observons nettement que le taux d'erreur est élevé pour l'estimation du temps de voyage dans les différents temps d'estimation, le pourcentage d'erreur total pour 10%FCD et 15%FCD est plus de 80% par rapport aux résultats de SUMO. Donc le temps de voyage estimé par ces variables n'est pas représentatif, c'est pour cela qu'on n'a pas choisi ces paramètres pour notre résultat final.

3. Tic horloge 30s

Densité :

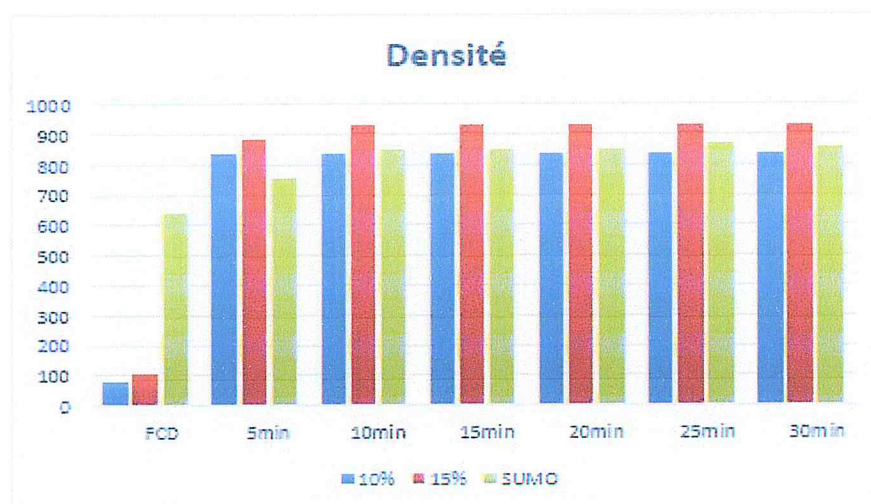


FIGURE 4.24 Résultat d'estimation de densité (30s)

30s		FCD	5min	10min	15min	20min	25min	30min	
Variante 5 (10%)	5	77	839	839	839	839	839	839	PrcErrMoy (%)
Variante 6 (15%)	6	108	882	932	932	932	932	932	
SUMO 1		643	756	853	851	853	868	859	
PrcErreurVar5 (%)		88.02	10.97	1.64	1.43	1.64	3.34	2.32	15.62
PrcErreurVar6 (%)		83.20	16.66	9.26	9.51	9.26	7.37	8.49	20.53

TABLE 4.6 Résultat de l'estimation de densité (30s)

Discussion :

Dans ce cas notamment le tic-horloge 30s on voit que l'estimation de la densité est meilleur que les deux autres tic-horloges avec plus de 80% d'exactitude par rapport les résultats de SUMO. on voit aussi la détection d'embouteillage des les 5 premières minutes.

Temps de voyage :

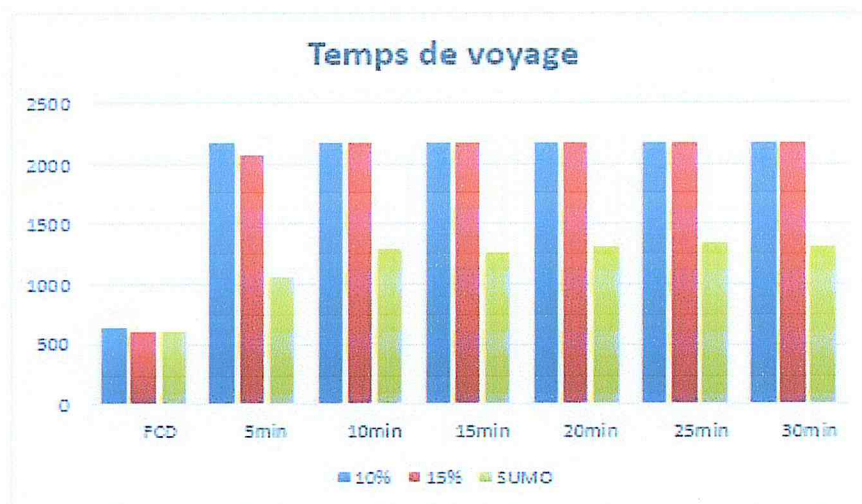


FIGURE 4.25 Résultat d'estimation de temps de voyage (30s)

30s	FCD	5min	10min	15min	20min	25min	30min	PrcErrMoy (%)
Variante 5 (10%)	641.14	2177.48	2177.48	2177.48	2177.48	2177.48	2177.48	
Variante 6 (15%)	598.08	2079.86	2179.86	2179.86	2179.86	2179.86	2179.86	
SUMO 1	603.89	1055.73	1293.43	1267.59	1311.27	1351.43	1311.12	
PrcErreurVar5 (%)	6.16	106.25	68.34	71.78	66.05	61.12	66.07	63.68
PrcErreurVar6 (%)	0.96	97.01	68.54	71.98	66.25	61.32	66.27	61.76

TABLE 4.7 Les résultat d'estimation de temps de voyage (30s)

D'après le tableau 4.7 nous observons que le taux d'erreur est élevé pour l'estimation du temps de voyage dans les différents temps d'estimation, le pourcentage d'erreur total pour 10%FCD et 15%FCD est plus de 60% par rapport aux résultats de SUMO. Donc le temps de voyage estimé par ces variables n'est pas représentatif, c'est pour cela qu'on n'a pas choisi ces paramètres pour notre résultat final.

4.4.3.2 Partie 2 : Résultats de l'estimation d'un état de trafic non-congestionné

Après avoir choisi la variante qui donne une meilleure estimation parmi les six variante en l'occurrence la **Variante 2** (10s et 15%FCD). Les simulations de 2^e partie vont être faites sur cette variante Après avoir fait les simulations de la 2^e partie, les résultats sont montrés comme suit :

1. Densité :

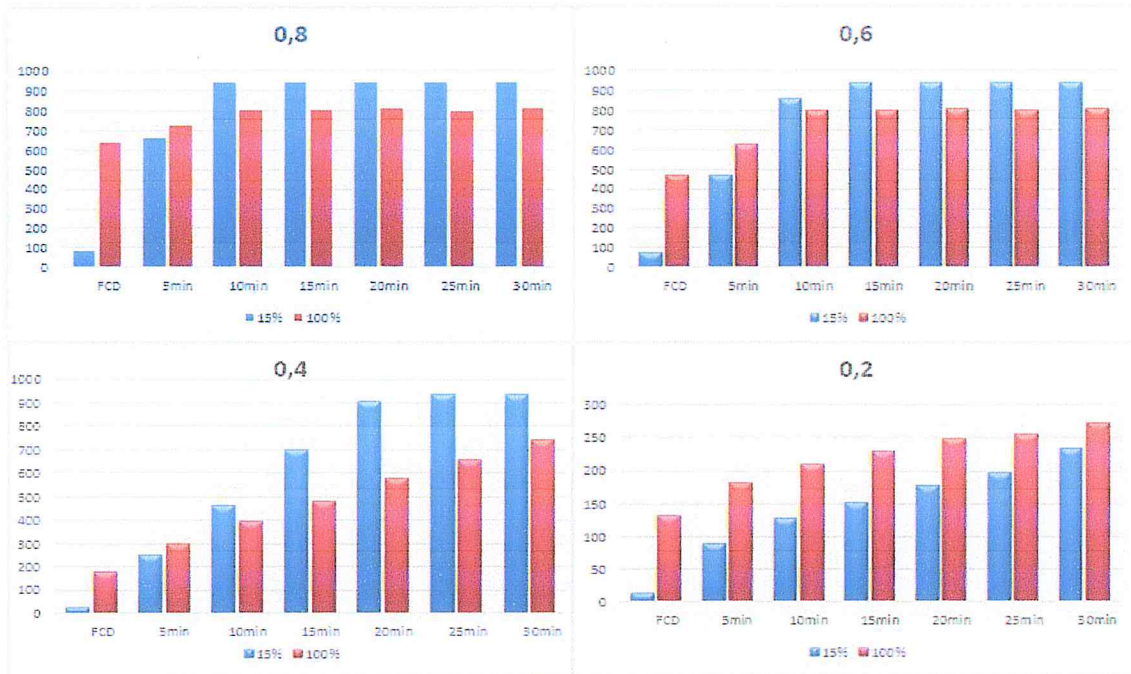


FIGURE 4.26 Résultat de l'estimation de la densité de la variante 2 avec une distribution BINOMIAL

Discussion :

Dans la figure 4.26 on voit clairement que plus la charge de trafic diminue due à la diminution de "p" de la loi BINOMIAL plus l'exactitude d'estimation de la densité est diminué, cela veut dire que notre modèle mathématique notamment CTM estime bien dans l'état d'embouteillage que l'état normal (non-congestionné).

2. Temps de voyage :

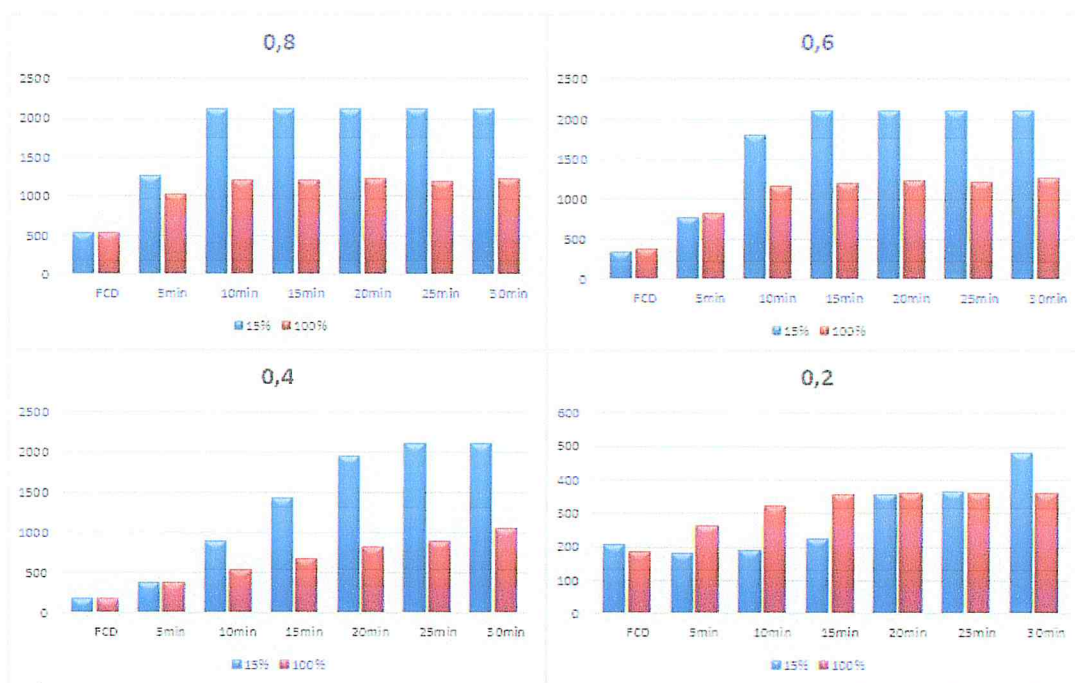


FIGURE 4.27 Résultat de l'estimation de temps de voyage de la variante 2 avec une distribution BINOMIAL

Discussion :

La figure 4.27 montre que l'estimation du temps de voyage est non représentative par rapport aux résultats de SUMO lorsque les conditions de trafic deviennent normal. La variante B2 (ou $p = 0.2$) est l'exception car dans la relation « Densité-Vitesse » sur lequel notre modèle mathématique de Drew est basé sur elle, lorsque l'état de la route est libre le modèle estime très bien tout comme l'état d'un immense embouteillage.

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre la méthode d'estimation de l'état de trafic par des modèles mathématiques a été validée par une étude de simulation. Les résultats expérimentaux démontrent que 15% de pénétration des FCD nous donne une bonne qualité d'estimation de l'état du trafic (temps de voyage , densité) Après l'analyse des résultats des simulations nous avons choisi la variante 2 celle de (tic horloge 10s et 15%FCD) comme meilleure estimation vue l'exactitude de cette variante par rapport aux autres. D'après les résultats des simulations de la 2^e partie on a pu voir l'exactitude de l'estimation de nos modèles mathématiques en l'occurrence CTM et Drew Model dans des conditions de trafic normal (non-congestionnée).

Conclusion générale

Dans ce projet de fin d'étude, nous nous sommes intéressés à la conception d'un framework pour l'estimation à court terme du trafic routier. Après une introduction détaillant les différentes techniques sur l'estimation du trafic routier, les smart city, les blocs de base des systèmes de transport intelligents, les méthodes d'estimation du trafic (selon la durée, selon l'échelle, selon les données) ainsi que les différentes sources de données, nous avons présenté des techniques d'estimation du trafic routier proposé dans la littérature.

Le développement d'un framework pour l'estimation à court terme du trafic routier implique différents choix méthodologiques à différents étapes : définitions des caractéristiques, choix de source de données (FCD données des véhicules flottants), du modèle mathématique pour la densité du trafic (CTM Cell Transmission Model), du modèle mathématique pour le calcul du temps de voyage estimé (Drew Model), cette analyse a été effectuée par une simulation rendant la comparaison des résultats objectifs. De plus, la zone routière sur laquelle s'appuient notre étude n'est pas riche en sources de données du trafic ce qui n'a pas facilité le travail. L'une des limitations majeures lors de l'élaboration de notre étude a été le flux entrant (nombre de véhicule qui entre dans le réseau routier), pour cela nous avons fait une expérimentation sur la zone d'étude (Said Hamdine vers Ben Aknoun) sur différents jours à des heures de pointes pour avoir le flux réel entrant dans notre réseau.

La première et la deuxième étape de notre travail a été consacré à une étude théorique des différentes techniques d'estimation du trafic routier ainsi que sur les différentes solutions qui ont été proposées auparavant sur l'estimation à court terme du trafic routier utilisant FCD ainsi que leurs notions de base et les fondements mathématiques de ces derniers. Dans la troisième étape, nous avons passé à la conception de notre système par la présentation du modèle proposé pour notre réseau routier, les méthodes d'acquisition de données via FCD et aussi les méthodes de traitements de données à l'aide du modèle mathématique CTM et le modèle DREW, ainsi que les algorithmes utilisés et les calculs des métriques dans lesquelles nous avons donné l'aspect théorique de ces derniers. Dans la dernière étape de notre travail, nous avons implémenté nos algorithmes et développé une interface qui permet une estimation à court terme et la visualisation des résultats pour chaque itinéraire.

Perspective et travaux Future

Nous envisageons enrichir notre travail par :

- L'application de notre solution sur un réseau plus large (Toute la ville de Benaknoun).
- L'utilisation d'autres sources de données telle que les détecteurs de données en boucle inductive afin d'avoir plus d'exactitudes sur les résultats d'estimation, car nous sommes basé sur données des véhicules flottants uniquement.

A fin de déployer notre solution sur Alger, il nous faut :

- La réalisation d'un centre de contrôle et de traitement qui permet de faire la fusion des données de différentes sources et le traitement de ces données afin d'estimer le état de trafic routier.
- L'implémentation des technologies FCD dans les voitures circulant à Alger en ce conventionnant avec des entreprises de taxis ou bien les véhicules de service des entreprises de différents domaines.
- L'installation des Antennes 4G sur les cotés de la route afin d'assurer le moyen communication entre les véhicules et le centre de contrôle et traitement.

Bibliographie

- [Ahmed and Cook, 1979] Ahmed, M. S. and Cook, A. R. (1979). *Analysis of freeway traffic time-series data by using Box-Jenkins techniques*. Number 722.
- [Atzori et al., 2010] Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things : A survey. *Computer networks*, 54(15) :2787–2805.
- [Bhoraskar et al., 2012] Bhoraskar, R., Vankadhara, N., Raman, B., and Kulkarni, P. (2012). Wolverine : Traffic and road condition estimation using smartphone sensors. In *Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2012 Fourth International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- [Bishop, 2005] Bishop, R. (2005). *Intelligent vehicle technology and trends*.
- [Burghout, 2005] Burghout, W. (2005). Mesoscopic simulation models for short-term prediction. *PREDIKT project report CTR2005*, 3.
- [Cao et al., 2011] Cao, Y., Li, W., and Zhang, J. (2011). Real-time traffic information collecting and monitoring system based on the internet of things. In *Pervasive Computing and Applications (ICPCA), 2011 6th International Conference on*, pages 45–49. IEEE.
- [Daganzo, 1994] Daganzo, C. F. (1994). The cell transmission model : A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transportation Research Part B : Methodological*, 28(4) :269–287.
- [Daganzo, 1995] Daganzo, C. F. (1995). The cell transmission model, part ii : network traffic. *Transportation Research Part B : Methodological*, 29(2) :79–93.
- [Daganzo, 1999] Daganzo, C. F. (1999). The lagged cell-transmission model.
- [De Fabritiis et al., 2008] De Fabritiis, C., Ragona, R., and Valenti, G. (2008). Traffic estimation and prediction based on real time floating car data. In *Intelligent Transportation Systems, 2008. ITSC 2008. 11th International IEEE Conference on*, pages 197–203. IEEE.
- [Drew, 1968] Drew, D. R. (1968). Traffic flow theory and control. Technical report.

- [Ezell, 2010] Ezell, S. (2010). Explaining international it application leadership : Intelligent transportation systems.
- [Ferrari et al., 2011] Ferrari, L., Rosi, A., Mamei, M., and Zambonelli, F. (2011). Extracting urban patterns from location-based social networks. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Location-Based Social Networks*, pages 9–16. ACM.
- [Gawron, 1998] Gawron, C. (1998). *Simulation-based traffic assignment : Computing user equilibria in large street networks*. PhD thesis.
- [Giffinger et al., 2007] Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., and Meijers, E. (2007). Smart cities : Ranking of european medium-sized cities. vienna, austria : Centre of regional science (srf), vienna university of technology. www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf.
- [Gipps, 1981] Gipps, P. G. (1981). A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation Research Part B : Methodological*, 15(2) :105–111.
- [Girad et al., 2009] Girad, L., Lombardi, P., and Nijkamp, P. (2009). Creative urban design and development. *International Journal of Services Technology and Management, Special issue*, 13(2-3) :111–115.
- [Haklay, 2010] Haklay, M. (2010). How good is volunteered geographical information? a comparative study of openstreetmap and ordnance survey datasets. *Environment and planning B : Planning and design*, 37(4) :682–703.
- [Harrison et al., 2010] Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., and Williams, P. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of Research and Development*, 54(4) :1–16.
- [Huber et al., 1999] Huber, W., Lädke, M., and Ogger, R. (1999). Extended floating-car data for the acquisition of traffic information. In *Proceedings of the 6th World congress on intelligent transport systems*, pages 1–9.
- [Jayakrishnan et al., 1994] Jayakrishnan, R., Mahmassani, H. S., and Hu, T.-Y. (1994). An evaluation tool for advanced traffic information and management systems in urban networks. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 2(3) :129–147.
- [Krauß, 1998] Krauß, S. (1998). *Microscopic modeling of traffic flow : Investigation of collision free vehicle dynamics*. PhD thesis.

- [Lamas-Seco et al., 2016] Lamas-Seco, J. J., Castro, P. M., Dapena, A., and Vazquez-Araujo, F. J. (2016). Sidivs : Simple detection of inductive vehicle signatures with a multiplex resonant sensor. *Sensors*, 16(8) :1309.
- [Liu et al., 2008] Liu, C., Meng, X., and Fan, Y. (2008). Determination of routing velocity with gps floating car data and webgis-based instantaneous traffic information dissemination. *The Journal of Navigation*, 61(2) :337–353.
- [Llorca et al., 2010] Llorca, D. F., Sotelo, M., Sánchez, S., Ocaña, M., Rodríguez-Ascariz, J., and García-Garrido, M. (2010). Traffic data collection for floating car data enhancement in v2i networks. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010(1) :719294.
- [Lombardi et al., 2011] Lombardi, P., Giordano, S., Caragliu, A., Del Bo, C., Deakin, M., Nijkamp, P., Kourtit, K., and Farouh, H. (2011). An advanced triple-helix network model for smart cities performance. *Green and ecological technologies for urban planning : Creating smart cities*, pages 59–72.
- [Lombardi et al., 2012] Lombardi, P., Giordano, S., Farouh, H., and Yousef, W. (2012). Modelling the smart city performance. *Innovation : The European Journal of Social Science Research*, 25(2) :137–149.
- [Lovisari et al., 2015] Lovisari, E., de Wit, C. C., and Kibangou, A. Y. (2015). Data fusion algorithms for density reconstruction in road transportation networks. In *Decision and Control (CDC), 2015 IEEE 54th Annual Conference on*, pages 2804–2809. IEEE.
- [Lu et al., 2009] Lu, H., Pan, W., Lane, N. D., Choudhury, T., and Campbell, A. T. (2009). Soundsense : scalable sound sensing for people-centric applications on mobile phones. In *Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services*, pages 165–178. ACM.
- [Mathew, 2014] Mathew, T. V. (2014). Transportation systems engineering. *Cell Transmission Models, IIT Bombay*.
- [Miles et al., 2004] Miles, J. C., Chen, K., et al. (2004). *The intelligent transport systems handbook*.
- [Mimbela and Klein, 2000] Mimbela, L. E. Y. and Klein, L. A. (2000). Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems.

- [Mint Moustapha, 2014] Mint Moustapha, J. (2014). *Modélisation mathématique et simulation du trafic routier : analyse statistique de modèles d'insertion et simulation probabiliste d'un modèle cinétique*. PhD thesis, Paris Est.
- [Mohan et al., 2008] Mohan, P., Padmanabhan, V. N., and Ramjee, R. (2008). Nericell : rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones. In *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, pages 323–336. ACM.
- [Montero et al., 2016] Montero, L., Pacheco, M., Barcelo, J., Homoceanu, S., and Casanovas, J. (2016). A case study on cooperative car data for traffic state estimation in an urban network. In *95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*.
- [Newell, 1993] Newell, G. F. (1993). A simplified theory of kinematic waves in highway traffic, part i : General theory. *Transportation Research Part B : Methodological*, 27(4) :281–287.
- [Olstam, 2005] Olstam, J. (2005). *A model for simulation and generation of surrounding vehicles in driving simulators*. PhD thesis, Institutionen för teknik och naturvetenskap.
- [Purnomo et al., 2016] Purnomo, F., Prabowo, H., et al. (2016). Smart city indicators : A systematic literature review. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 8(3) :161–164.
- [Ramezani and Moshiri, 2011] Ramezani, A. and Moshiri, B. (2011). The traffic condition likelihood extraction using incomplete observation in distributed traffic loop detectors. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference on*, pages 1291–1298. IEEE.
- [Reim, 2013] Reim, E. (2013). Analysis and visualization of historical traffic data collected on the stockholm highway system.
- [Rempe et al., 2016] Rempe, F., Franeck, P., Fastenrath, U., and Bogenberger, K. (2016). Online freeway traffic estimation with real floating car data. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2016 IEEE 19th International Conference on*, pages 1838–1843. IEEE.
- [Richards, 1956] Richards, P. I. (1956). Shock waves on the highway. *Operations research*, 4(1) :42–51.
- [Rohde and Friedrich, 2011] Rohde, J. and Friedrich, B. (2011). Offset optimizing with ctm and genetic algorithms : results from field studies in hannover. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20 :437–444.
- [Roques, 2008] Roques, P. (2008). *UML 2 : Modéliser une application web*. Editions Eyrolles.

- [Runyoro and Ko, 2013] Runyoro, A.-A. K. and Ko, J. (2013). Real-time road traffic management using floating car data. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 13(4) :269–276.
- [Sun and Zhang, 2005] Sun, S. and Zhang, C. (2005). Using a random subspace predictor to integrate spatial and temporal information for traffic flow forecasting. In *International Conference on Natural Computation*, pages 652–655. Springer.
- [Taylor, 2003] Taylor, N. B. (2003). The contrans dynamic traffic assignment model. *Networks and Spatial Economics*, 3(3) :297–322.
- [Turner et al., 1998] Turner, S. M., Eisele, W. L., Benz, R. J., and Holdener, D. J. (1998). Travel time data collection handbook. Technical report.
- [Valerio et al., 2009] Valerio, D., D’Alconzo, A., Ricciato, F., and Wiedermann, W. (2009). Exploiting cellular networks for road traffic estimation : a survey and a research roadmap. In *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*, pages 1–5. IEEE.
- [Van Erp, 2015] Van Erp, P. B. (2015). Incorporating the information and uncertainties of loop-detector and floating car data in freeway traffic state estimation.
- [Van Lint, 2015] Van Lint, J. (2015). Traffic state estimation basics. *Traffic simulation Computing, Civil Engineering Geosciences, TU Delft Director of the (Interfaculty) Msc Transport, Infrastructuur Logistics*.
- [Van Soom, 2009] Van Soom, E. (2009). Measuring levels of supply and demand for e-services and e-government : a toolkit for cities.
- [Vij and Shankari, 2015] Vij, A. and Shankari, K. (2015). When is big data big enough? implications of using gps-based surveys for travel demand analysis. *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 56 :446–462.
- [Wang et al., 2011] Wang, H., Li, J., Chen, Q.-Y., and Ni, D. (2011). Logistic modeling of the equilibrium speed–density relationship. *Transportation research part A : policy and practice*, 45(6) :554–566.
- [Wang and Papageorgiou, 2005] Wang, Y. and Papageorgiou, M. (2005). Real-time freeway traffic state estimation based on extended kalman filter : a general approach. *Transportation Research Part B : Methodological*, 39(2) :141–167.
- [Whitham, 1955] Whitham, G. (1955). On kinematic waves ii. a theory of traffic flow on long crowded roads. *Proc. R. Soc. Lond. A*, 229(1178) :317–345.

- [Yperman, 2007] Yperman, I. (2007). The link transmission model for dynamic network loading.
- [Yperman et al., 2005] Yperman, I., Logghe, S., and Immers, B. (2005). The link transmission model : An efficient implementation of the kinematic wave theory in traffic networks. In *Proceedings of the 10th EWGT Meeting*, pages 122–127. Poznan Poland.
- [Yu et al., 2003] Yu, G., Hu, J., Zhang, C., Zhuang, L., and Song, J. (2003). Short-term traffic flow forecasting based on markov chain model. In *Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE*, pages 208–212. IEEE.
- [Yuan et al., 2014] Yuan, Y., Van Lint, H., Van Wageningen-Kessels, F., and Hoogendoorn, S. (2014). Network-wide traffic state estimation using loop detector and floating car data. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 18(1) :41–50.
- [Zhang et al., 2012] Zhang, L., Chang, G.-L., Zhu, S., Xiong, C., Du, L., Mollanejad, M., Hopper, N., and Mahapatra, S. (2012). Integrating an agent-based travel behavior model with large-scale microscopic traffic simulation for corridor-level and subarea transportation operations and planning applications. *Journal of Urban Planning and Development*, 139(2) :94–103.
- [Ziliaskopoulos, 2000] Ziliaskopoulos, A. K. (2000). A linear programming model for the single destination system optimum dynamic traffic assignment problem. *Transportation science*, 34(1) :37–49.

Annexe A

Annexe A

1.1 Cell Transmission Model

L'équation d'avancement peut s'écrire, l'occupation de la cellule à l'instant $t + 1$ est égale à son occupation à l'instant t , plus l'arrivée(Inflow) et moins la sortie(Outflow), i.e [Mathew, 2014] :

$$n_i(t + 1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \quad (\text{A.1})$$

Les débits sont liés aux conditions actuelles à l'instant t comme indiqué ci-dessous [Mathew, 2014] :

$$y_i(t) = \min[n_{i-1}(t), Q_i(t), \delta(N_i(t) - n_i(t))] \quad (\text{A.2})$$

Où, $n_{i-1}(t)$: est le nombre de véhicules dans la cellule $i - 1$ à l'instant t , $Q_i(t)$ est le débit de capacité dans i pour l'intervalle de temps t , $N_i(t) - n_i(t)$ la quantité d'espace vide dans la cellule i à l'instant t , $\delta = v/w$ est le ratio de la vitesse d'écoulement libre v sur vitesse de propagation vers l'arrière w qui est égale a 1 dans le CTM comme il est montré dans la figure suivante.

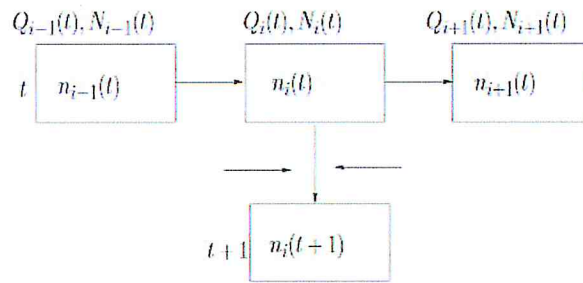


FIGURE 1.1 L'avancement de flux [Mathew, 2014]

Conditions aux limites :

Les conditions aux limites sont spécifiées au moyen de cellules d'entrée et de sortie. La cellule de sortie, *puits* pour tout le trafic sortant, doit avoir une taille infinie ($N_{I+1} = \infty$) et une capacité appropriée, pouvant varier dans le temps. Les flux d'entrée peuvent être modélisés par une paire de cellules. Une cellule *source* numérotée 00 avec un nombre infini de véhicules ($n_0(0) = \infty$) qui se décharge dans une cellule de *porte* vide 00 de taille infinie, $N_0(t) = \infty$. La capacité d'entrée $Q_0(t)$ de la cellule de *porte* est égale au flux d'entrée de liaison souhaité pour l'intervalle de temps $t + 1$ [Mathew, 2014].

Équivalence avec la théorie hydrodynamique :

Considérons les équations A.1 et A.2, ce sont des approximations discrètes du modèle hydrodynamique avec une relation densité-débit (k-q) sous la forme d'un trapèze isoscalé, comme sur la 1.2.

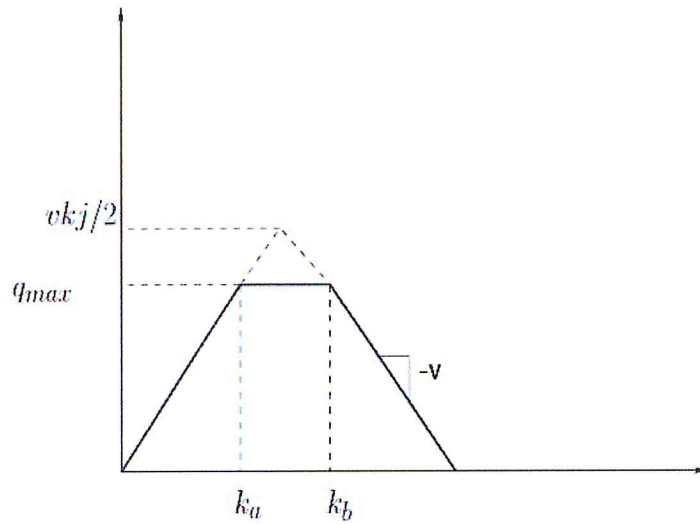


FIGURE 1.2 la relation de Densité-Flux pour le CTM [Mathew, 2014]

Cette relation peut être exprimée comme :

$$q = \min[v_k, q_{max}, v(k_j - k)], \text{ for } 0 \leq k \leq k_j \quad (\text{A.3})$$

La conservation du flux est donnée par :

$$\frac{\partial q(x, t)}{\partial x} = -\frac{\partial k(x, t)}{\partial t} \quad (\text{A.4})$$

Pour démontrer l'équivalence des approches discrète et continue, le tic d'horloge est égal à ∂t et choisit l'unité de distance telle que $v\partial t = 1$. Alors la longueur de la cellule est 1, v est aussi 1, et la suivante les équivalences tiennent : $x \equiv i, k_j \equiv N, q_{max} \equiv Q, \text{ et } k(x, t) \equiv n_i(t)$ avec ces conventions, on peut facilement voir que les équations A.3 et A.2 sont équivalentes. A.5 peut être écrite de manière équivalente comme [Mathew, 2014] :

$$y_i(t) - y_{i+1}(t) = -n_i(t) + n_i(t+1) \quad (\text{A.5})$$

Exemple Numérique :

Considérons une route homogène de 1,25 km avec une vitesse $v = 50$ km/h, une densité de bourrage $k_j = 180$ véhicule /kmet $q_{max} = 3000$ véhicule /h. Au départ, le trafic circule librement à 80% de la capacité : $q = 2400$ véhicule /h. Ensuite, un blocage partiel des voies

d'une durée de 2 min se produit à 1/3 de la distance de la fin de la route. Le blocage restreint effectivement le débit à 20% du maximum. Clairement, une file d'attente va se construire et se dissiper derrière la restriction. Après 2 minutes, le débit dans la cellule 3 est le débit maximum possible. Prédire l'évolution du trafic. Prenez un tic-horloge(clock-tic) égale à 30 secondes.

Solution :

L'objectif principal du modèle de transmission cellulaire est de simuler les conditions de circulation réelles pour un tronçon de route défini. La vitesse et la longueur de cellule sont maintenues constantes ainsi que les longueurs de cellule dans le modèle de transmission cellulaire. La solution a été divisée en 5 étapes comme suit :

Etape01 : Détermination de la longueur et le nombre des cellules

Le tic donné à l'horloge, $t = 30\text{sec} = 1 / 120^{\text{ème}}$ d'heure. Donc, longueur de la cellule = distance parcourue par le véhicule dans un tic horloge = $v \times t = 50 \times (1/120) = 5/12 \text{ km}$. Tronçon de route donné = 1,25 km. Par conséquent, nombre de cellules = $1,25 / (5/12) = 3 \text{ cellules}$.

Etape02 : Détermination des constantes (N et Q)

N = nombre maximal de véhicules pouvant être à l'instant t dans la cellule i qui est égale à la longueur de cellule \times densité de bourrage = $180 \times (5/12) = 75 \text{ véhicules}$.

Q = nombre maximal de véhicules pouvant circuler dans la cellule I à partir du moment t à $t + 1$ = $3000 \times (1/120) = 25 \text{ véhicules}$. Maintenant, pour simuler les conditions de circulation sur un certain intervalle de temps, notre objectif principal est de trouver les occupations des 3 cellules (comme calculé ci-dessus) avec la progression du temps d'horloge. Ceci est facilement montré en créant une table. Tout d'abord, les valeurs initiales dans les tableaux sont remplies.

Etape03 : Détermination de la capacité de chaque cellule

On détermine les capacités des cellules en termes de nombre de véhicules pour différents flux de trafic. Pour 20% du maximum = $600 \times (1/120) \text{ véhicules} = 5 \text{ véhicules}$. Pour 80% du maximum = $2400 \times (1/120) \text{ véhicules} = 20 \text{ véhicules}$.

Etape04 : Initialisation de la table

La table a été préparée avec une cellule source en tant que valeur de grande capacité et une porte est là qui relie et régule le flux des véhicules de la source à la cellule 1 selon la capacité de la cellule pour un intervalle particulier. Les constantes de cellule (Q et N) pour les 3 cellules sont montrées dans le tableau. Notez que la cellule puits peut accueillir le nombre maximum de véhicules, quelle que soit la cellule 3 générée. Q_3 est la capacité en termes de nombre de véhicules de la cellule 3. La valeur de Q_3 dans les 4 premières tick horloge (i.e 5) correspond

à l'intervalle de temps de 2 minutes lorsque la voie était bloquée de sorte que la capacité est réduite à 20% du maximum (c'est-à-dire $600 \times (1/120)$ véhicules). Après l'intervalle de temps de 2 minutes, les véhicules circulent à pleine capacité dans la cellule 3. La valeur de Q_3 est donc de 25 véhicules (c'est-à-dire $3000 \text{ véhicules} \times (1/120)$).

Etape05 : Calcul des occupations

La simulation n'a pas besoin d'être démarrée dans un ordre spécifique, elle peut être démarrée à partir de n'importe quelle cellule de la rangée correspondant à la coche de l'horloge actuelle. Considérons maintenant la cellule cellule 2 à l'instant 2 dans le tableau final. Par la loi de conservation du débit : Occupation = Stockage + Inflow - Outflow. Notez que le stockage est l'occupation de la même cellule de tick horloge précédent. La sortie (Outflow) d'une cellule est égale à l'entrée (Inflow) de la cellule qui lui succède. Ici, Stockage = 20. Pour l'inflow, on utilise l'équation A.2 $\text{Inflow} = \min [20, 25, (75-20)] = 20$. $\text{Outflow} = \min [20, 5, (75-20)] = 5$. Occupation = $20 + 20 - 5 = 35$ comme montre la figure 1.3.

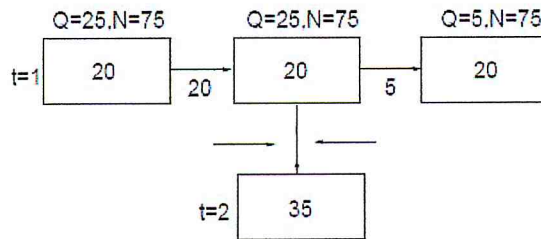


FIGURE 1.3 La cellule 2 à l'instant 2

Maintenant, pour la cellule 1 à l'instant 2, $\text{Inflow} = \min [20, \min (25, 25), (75-20)] = 20$, $\text{Outflow} = \min [20, \min (25, 20), (75-20)] = 20$, occupation = $20 + 20 - 20 = 20$ comme montre la 1.4.

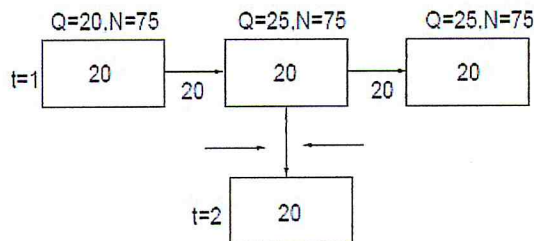


FIGURE 1.4 La cellule 1 à l'instant 2

Maintenant, pour la cellule 3 à l'instant 2, $\text{Inflow} = \min [20, \min (25, 5), (75-20)] = 5$.

Outflow = 20 .la cellule puits prend tous les véhicules dans la cellule précédente) occupation = $20 + 5 - 20 = 5$ comme montre la figure 1.5.

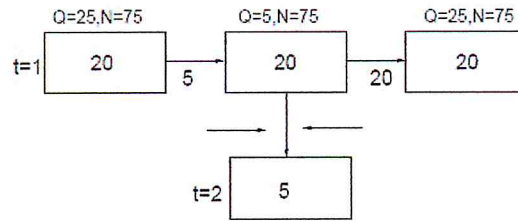


FIGURE 1.5 La cellule 3 à l'instant 2

De même, le reste des entrées peut être rempli et le résultat final est indiqué dans la table 1.1 ci-dessous. Le tableau montre que l'occupation, c'est-à-dire le nombre de véhicules sur les cellules 1 et 2, augmente puis diminue en simulant l'effet de blocage des voies dans la cellule 3 sur les cellules 1 et 2. Le blocage de voie dure 2 minutes. après cela, il n'y a pas de congestion prise en compte. Alors que le temps passe, l'occupation dans les cellules 1 et 2 est également réduite.

	Source(00)	Porte(0)	Cellule 1	Cellule 2	Cellule 3	Puits	
Q		20	25	25		25	
N		999	75	75	75	999	
Temps							Q3
1	999	20	20	20	20		5
2	999	20	20	35	5		5
3	999	20	20	50	5		5
4	999	20	20	65	5		5
5	999	20	30	70	5		25
6	999	20	45	50	25		25
7	999	20	40	50	25		25
8	999	20	35	50	25		25
9	999	20	30	50	25		25
10	999	20	25	50	25		25
11	999	20	20	50	25		25
12	999	20	20	45	25		25
13	999	20	20	40	25		25
14	999	20	20	35	25		25
15	999	20	20	30	25		25
16	999	20	20	25	25		25
17	999	20	20	20	25		25
18	999	20	20	20	20		25

TABLE 1.1 Les entrées finales simulant le trafic

1.2 CTM : le Trafic réseau

Suite à son premier article sur CTM, Daganzo (1995) a publié un premier article sur la CTM appliquée au trafic réseau. Dans cette section, l'application de CTM au trafic réseau en considérant la fusion et la divergence est discutée. Quelques notations de base : (Les notations utilisées ici sont celles de [Ziliaskopoulos, 2000]) Γ^{-1} = Ensemble de cellules précédentes. Γ = Ensemble de cellules successeurs [Mathew, 2014].

La topologie de Réseau

Les notations présentées dans la section précédente sont appliquées à différents types de cellules :

- Cellule Source : $\Gamma^{-1} = 0$ et $\Gamma = 1$
- Cellule Puits : $\Gamma^{-1} = 1$ et $\Gamma = 0$
- Cellule Ordinaire : $\Gamma^{-1} = 1$ et $\Gamma = 1$
- Cellule divergente : $\Gamma^{-1} = 1$ et $\Gamma > 1$
- Cellules Fusionnée : $\Gamma^{-1} > 1$ et $\Gamma = 1$

Lien ordinaire : [Daganzo, 1995]

Considérons un lien ordinaire avec une cellule de début et une cellule de fin comme montré dans la figure 1.6 :

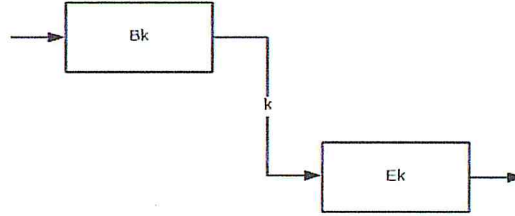


FIGURE 1.6 Cellules ordinaires

Cela donne un flux entre deux cellules est simplifié comme expliqué ci-dessous dans l'équation l'équation A.6 [Mathew, 2014] :

$$y_k(t) = \min[n_{Bk}(t), \min[Q_{Bk}(t), Q_{Ek}(t)], \delta_{Ek}[N_{Ek}(t) - n_{Ek}(t)]] \quad (\text{A.6})$$

où, $\delta = w/v$. $y_k(t)$ est l'entrée de la cellule Ek dans l'intervalle de temps $(t, t + 1)$. Définir les débits maximums pouvant être envoyés et reçus par la cellule i dans l'intervalle entre t et $t + 1$ comme :

$$S_I(t) = \min[Q_I, n_I] \quad (\text{A.7})$$

$$R_I(t) = \min[Q_I, \delta_I[N_I - n_I]] \quad (\text{A.8})$$

Par conséquent, $y_k(t)$ peut être écrit sous une forme plus compacte comme :

$$y_k(t) = \min[R_I(t), S_I(t)] \quad (\text{A.9})$$

Cela signifie que le flux sur le lien k doit être le maximum qui peut être envoyé par sa cellule amont, à moins que cela ne soit empêché par sa cellule d'extrémité. S'il est bloqué de cette manière, le flux est le maximum autorisé par la cellule d'extrémité. A partir des équations, on peut voir qu'une simplification est faite en divisant $y_k(t)$ en termes S_{Bk} et R_{Ek} . "S" représente la capacité d'envoi et "R" représente la capacité de réception.

Pendant les périodes de temps où $S_{Bk} < R_{Ek}$ le flux sur la liaison k est dicté par les conditions

de circulation en amont - comme cela serait prédit à partir des caractéristiques de déplacement vers l'avant (UpStream) du modèle hydrodynamique. Inversement, lorsque $S_{Bk} > R_{Ek}$, le flux est dicté par les conditions en aval (DownStream) et les caractéristiques de déplacement vers l'arrière.

la fusion des cellules : [Daganzo, 1995]

Dans le monde réel, une fusion peut être dans l'un des trois régimes de causalité possibles :

- (a) En Avant (Forward). Si le débit sur les deux approches est dicté par les conditions en amont ; c'est-à-dire que les vagues avancent.
- (b) En arrière (Backward). Si le débit sur les deux approches est dicté par les conditions en aval ; c'est-à-dire que les vagues reculent.
- (c) Mélangé (Mixed). Si le flux est dicté par les conditions en amont pour une approche et en aval pour l'autre.

Le cas (a) se pose si les deux approches circulent librement. Le cas (b) survient lorsque les deux approches sont congestionnées en raison du manque de capacité de la jonction ou de la congestion en aval. Le cas (c), moins fréquente, se pose lorsqu'une approche prioritaire exclut le trafic sur son approche complémentaire. Des conditions limites doivent être trouvées qui reflètent correctement ces trois possibilités. Considérons deux cellules fusionnant comme montré dans la figure 1.7 suivante :

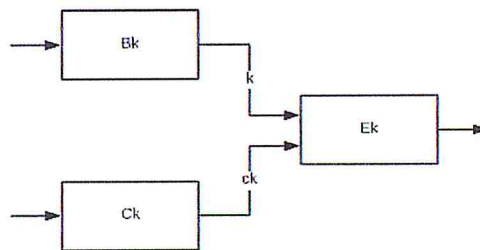


FIGURE 1.7 Deux cellules fusionnant

Ici nous avons une cellule de début et sa fusion complémentaire dans la cellule de fin, les contraintes sur le flux qui peut être envoyé et reçu sont donnés par l'équation A.12 :

$$y_k(t) \leq S_{Bk}(t) \tag{A.10}$$

$$y_{Ck}(t) \leq S_{Ck}(t) \tag{A.11}$$

$$y_k(t) + y_{Ck}(t) \leq R_{Ek}(t) \quad (\text{A.12})$$

La divergence des cellules : [Daganzo, 1995]

Considérons deux cellules divergentes comme montré dans la figure 1.8 suivante :

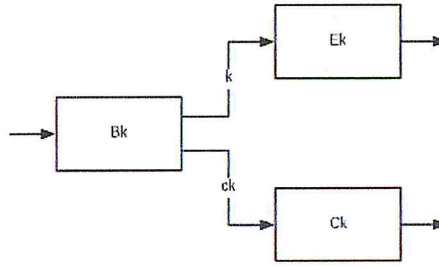


FIGURE 1.8 Deux cellules divergentes

Sur la figure 1.8, la cellule B_k peut envoyer un maximum de véhicules $S_{Bk}(t)$ pendant l'intervalle de temps $(t, t + 1)$ et les cellules E_k et C_k peuvent recevoir un maximum de $R_{Ek}(t)$ et $R_{Ck}(t)$ respectivement. Ces trois quantités sont toujours données par l'équation A.6. Comme une partie de $S_{Bk}(t)$ est destinée à E_k et une partie à C_k , on supposera (comme dans [Newell, 1993]) que tout le flux est restreint si l'une des branches divergentes est incapable de s'adapter à son allocation de flux. Cela suppose que les véhicules incapables de sortir empêchent tous ceux qui sont derrière, quelle que soit leur destination, de continuer.

Nous supposons ici que les proportions de $S_{Bk}(t)$ allant dans chaque sens $\beta_{Ek}(t)$ et $\beta_{Ck}(t)$ ($\beta_{Ek}(t) + \beta_{Ck}(t) = 1$) sont déterminées de manière exogène, et que le trafic circule dans ces proportions de façon continue entre les horloges tiques. Ensuite, le nombre (encore inconnu) de véhicules émis par B_k , $y_{Bk}(t)$, détermine les flux de virage :

$$y_k(t) = \beta_{Ek} Y_{Bk} \text{ and } y_{Ck}(t) = \beta_{Ck} Y_{Bk} \quad (\text{A.13})$$

Comme dans les autres cas, la quantité de trafic émis par B_k , $y_{Bk}(t)$, devrait être aussi grande que possible, sans dépasser la quantité qui peut être reçue par l'une des branches existantes. Cela implique que y_k ne doit pas dépasser R_{Ek} et que y_{Ck} ne doit pas dépasser R_{Ck} . Ces conditions peuvent être exprimées mathématiquement comme :

$$\max[Y_{Bk}(t) : Y_{Bk}(t) \leq S_{Bk}, \beta_{Ek} Y_{Bk}(t) \leq R_{Ek}, \beta_{Ck} Y_{Bk}(t) \leq R_{Ck}] \quad (\text{A.14})$$

La solution à ce programme linéaire simple est :

$$Y_{Bk}(t) = \min[S_{Bk}, R_{Ek}/\beta_{Ek}, R_{Ck}/\beta_{Ck}] \quad (\text{A.15})$$

qui avec l'équation A.13 définit les flux sur un diverge. Comme pour les liens ordinaires et de fusion, l'équation A.1 complète l'ensemble des équations nécessaires pour mettre à jour l'état du système.

Annexe B

Annexe B

2.1 Simulation of Urban MObility

2.1.1 SUMO Guide d'installation

Le tutoriel suivant décrit pas à pas la procédure d'installation de SUMO, ainsi que tous les composants requis. Étant donné que SUMO s'exécute dans de nombreux systèmes d'exploitation (OS), l'installation peut varier, ainsi les étapes qui nécessitent une procédure différente en fonction du système d'exploitation utilisé auront un thread spécifié pour chacune d'entre elles. En raison de la disponibilité commerciale et des facteurs pratiques, ce tutoriel spécifiera l'installation pour Mac OS X, Windows 7, 8, 8.1 et 10 et Linux Ubuntu. L'utilisateur trouvera SUMO à la fois en tant que sources et en tant que binaires compilés pour plusieurs OS dans : <http://sumo.dlr.de/wiki/Downloads>

2.1.1.1 Sous Windows

D'abord, l'utilisateur doit savoir sur quelle plate-forme va fonctionner SUMO, choisissant ainsi la distribution 32 ou 64 bits. Cela peut être vérifié en accédant aux options de configuration de votre PC-> Système -> À propos de.

Il y a deux options d'installation pour Windows, la première installe localement SUMO et donne des droits d'administrateur sur la machine utilisateur, pour cette option le programme d'installation adapté du lien mentionné précédemment doit être téléchargé et exécuté. Le nom de cet installateur pour un système 64 bits et la version 0.32.0 de SUMO comme exemple sera : `sumo-win64-0.32.0.msi`.

Pour la deuxième option, téléchargez le paquet binaire pour Windows. Cette option installe une version portable de SUMO avec tous les composants, outils et exemples requis. Cette option est recommandée car elle simplifie le processus et inclut automatiquement tout ce dont un utilisateur commun aura besoin. Dans cette option, le package pour un système 64 bits et la version 0.32.0 de SUMO comme exemple sera : sumo-win64-0.32.0.zip Une fois les binaires SUMO téléchargés, décompressez-les en tant que C ://Users//use//src//sumo-0.32.0. Dans le dossier d'installation, ouvrez le dossier "Bin" pour trouver tous les exécutable inclus dans SUMO. Seule SUMO-GUI peut être exécutée par double-clic, tous les autres programmes doivent être exécutés via la ligne de commande. Chaque description et fonctionnalité du programme sera détaillée dans d'autres sections de ce projet.

La plupart des applications du package SUMO sont des outils de ligne de commande. Pour une meilleure utilisation de ces outils il est préférable de définir la variable d'environnement du SUMO (SUMO HOME) au PATH comme montre les figures 2.1, 2.2.

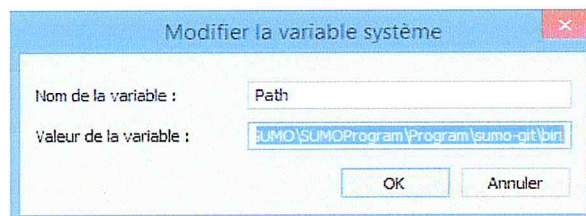


FIGURE 2.1 ajouter SUMO au path

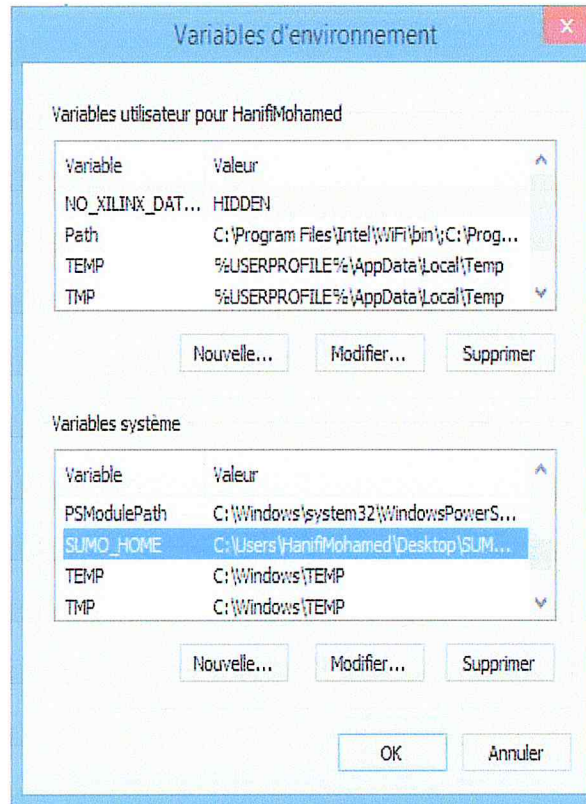


FIGURE 2.2 SUMO HOME

2.1.2 Krauss Car Following Model

Le CFM est le modèle où le comportement des automobilistes est influencé par les autres conducteurs. La course, l'accélération et la décélération dépendent des conducteurs précédents [Gipps, 1981]. Pour cette raison, ils ne peuvent pas conduire à la vitesse désirée, ils ajusteront leur vitesse afin d'atteindre des conditions stables. Dans cette condition stable, la vitesse des véhicules sera probablement la même ou sinon ils s'écraseront. En supposant qu'un véhicule a le même désir de vitesse avec le véhicule précédent, le CFM peut être exprimé par l'équation B.1 de Pipes, 1953 cités par krauss dans [Krauß, 1998].

$$\frac{dv_i(t)}{dt} = \frac{v_n(t) - v_{n-1}(t)}{\tau} \quad (\text{B.1})$$

où : $v_n(t)$ la vitesse de véhicule n .

$v_{n-1}(t)$ la vitesse de véhicule $n - 1$.

τ le temps de réaction du chauffeur (s).

Par défaut, SUMO utilise le modèle de poursuite de Krauss pour la simulation. Ce modèle est l'autre variante du modèle de Gipps où [Gipps, 1981] a développé le modèle basé sur les conditions de sécurité dérivées des distances de freinage du véhicule individuel. Dans le modèle Krauss, entre les automobilistes est décrit en utilisant la vitesse maximale de sécurité (v_{safe}). La formule est donnée dans l'équation B.2.

$$v_{safe}(t) = v_l(t) + \frac{g(t) - g_{des}(t)}{\tau_b - \tau} \quad (\text{B.2})$$

où : $g(t) = x_l - x_f - l$

$v_{des} = \min[v_{max}, v(t) + a(v)\Delta t, v_{safe}(t)]$

$v(t + \Delta t) = \max[0, v_{des}(t) - \eta]$

L'indice v_n est la notation de la position du véhicule où le véhicule principal a toujours une valeur supérieure à celle qui suit. L'écart ou la distance entre deux véhicules désignés par $g(t)$, l'écart désiré ou $g_{des}(t) = v_l(t)\tau$ exprime combien de temps d'écart entre les véhicules peut être atteint, la vitesse désirée du véhicule ou $v_{des}(t)$ montre à quel point le conducteur peut conduire le véhicule à la vitesse maximale, le pas de temps Δt ou est supposé avoir la même valeur ou égale au temps de réaction du conducteur, l'échelle de temps est définie comme τ_b si elle a la même valeur avec $\frac{\bar{v}}{b}$. Ici la perturbation aléatoire $\eta > 0$ a été introduit pour permettre des écarts par rapport à la conduite optimale. η a la même valeur que εa , ou ε a une valeur comprise entre 0 et 1. L'accélération maximale (a), la décélération (b) et l'espacement bloqué (l) sont supposés constants.

Les paramètres utilisés dans le modèle SUMO Krauss sont :

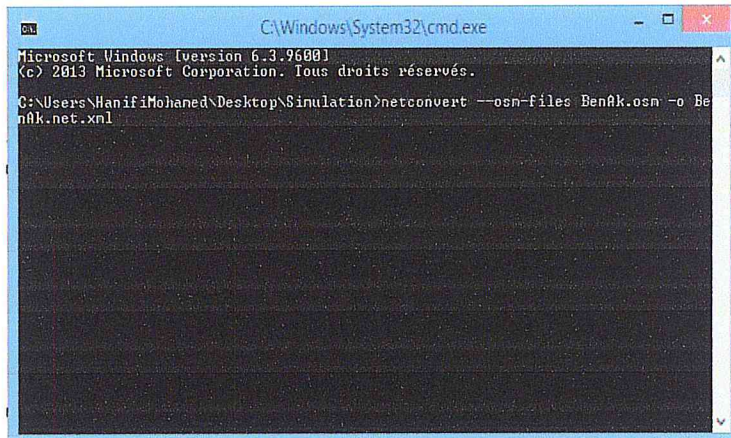
- *accel* : capacité d'accélération [m/s^2].
- *decal* : capacité de décélération [m/s^2].
- *sigma* : imperfection du conducteur (valeur réelle comprise entre 0 et 1 inclusivement).
- *tau* : temps de réaction du conducteur [s].
- *minGap* : écart entre les voitures précédentes et suivantes [m].

2.1.3 Les lignes de commandes SUMO

Dans notre travail nous avons utilisé un ensemble de lignes de commandes.

2.1.3.1 NETCONVERT

Cette commande sert à convertir le fichier .osm à un fichier .net.xml adapté a SUMO.



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
Microsoft Windows [version 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.
C:\Users\HanifiMohamed\Desktop\Simulation>netconvert --osm-files BenAk.osm -o BenAk.net.xml
```

FIGURE 2.3 la commande NETCONVERT

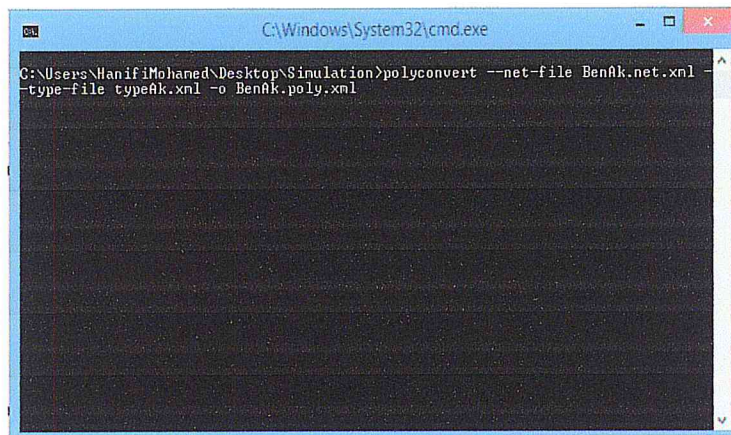
TABLE 2.1 NETCONVERT

NETCONVERT	
Fichiers d'entrées	BenAk.osm
Fichiers de sorties	BenAk.net.xml

TABLE 2.2 NETCONVERT

2.1.3.2 POLYCONVERT

Cette commande permet d'importer des formes géométriques (polygones ou points d'intérêt) provenant de différentes sources, les convertit en une représentation pouvant être visualisée à l'aide de SUMO-GUI.



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
C:\Users\HanifiMohamed\Desktop\Simulation>polyconvert --net-file BenAk.net.xml --type-file typeAk.xml -o BenAk.poly.xml
```

FIGURE 2.4 la commande POLYCONVERT

POLYCONVERT	
Fichiers d'entrées	BenAk.net.xml, typeAk.xml
Fichiers de sorties	BenAk.poly.xml

TABLE 2.3 *POLYCONVERT*

2.1.3.3 RandomTrips.py

Cette commande génère les véhicules pour la simulation.

```

C:\Windows\System32\cmd.exe
C:\Users\HanifiMohaned\Desktop\Simulation>python C:\Users\HanifiMohaned\Desktop\
SUMO\SUMOProgram\Program\sumo-git\tools\randomTrips.py -n BenAk.net.xml -r BenA
k.rou.xml -b 0 -e 3600 -p 0.18 --min-distance=2500 --trip-attributes="type='nyl
ype' departLane='best' departSpeed='max' departPos='free'" --additional-f
ile BenAk.add.xml --seed 1000

```

FIGURE 2.5 *la commande RandomTrips.py*

RandomTrips.py			
Attribut	Valeur	Description	
Entrées (-n)	BenAk.net.xml		
Sorties (-r)	BenAk.rou.xml, BenAk.rou.alt.xml(négligé), trips.trips.xml (négligé).		
-b (-begin)	0 s	Début de génération des trips	
-e (-end)	3600 s	Fin de génération des trips	
-p (-period)	0.18 s	La période entre les trips	
-min-distance	2500 m	Une contrainte de distance parcourue par chaque véhicule. Cela réduit le nombre de véhicule générés.	
-trip-attributes	Type	myType (définit dans le fichier additionnel)	Un fichier décrit quelques caractéristiques des véhicules générés (Expliqué au-dessous)
	Departlane	best	Les véhicules choisissent la voie libre.
	Departspeed	max	Les véhicules démarrent avec vitesse maximale.
	Departpos	free	Au début de réseau routier ("Said Hamdine").
-additional-file	VehType.add.xml	Le fichier additionnel ("BenAk.add.xml").	
-seed	1000	Le seed aléatoire.	

TABLE 2.4 *RandomTrips.py*

Le choix de ces options a été fait pour avoir un scénario réaliste à des expérimentations déjà faites au niveau du terrain.

Distribution BINOMIAL via RandomTrips.py :

Pour générer un demande de trafic qui suit une loi BINOMIAL par l'outil RandomTrips.py l'option -BINOMIAL est utilisé ou le p de la loi binomial est le même que le -p (-period).

Distribution BINOMIAL :

En théorie des probabilités et en statistique, la loi binomiale modélise le nombre de succès obtenus lors de la répétition indépendante de plusieurs expériences aléatoires identiques. Une manière visuelle de représenter cette suite d'expériences est d'utiliser un arbre de probabilité : à chaque génération de l'arbre, deux branches partent de chaque nœud, une pour le succès et une pour l'échec.

Plus mathématiquement, cette loi de probabilité discrète est décrite par deux paramètres : n le nombre d'expériences réalisées, et p la probabilité de succès. Pour chaque expérience appelée épreuve de Bernoulli, on utilise une variable aléatoire qui prend la valeur 1 lors d'un succès et la valeur 0 sinon. La variable aléatoire, somme de toutes ces variables aléatoires, compte le nombre de succès et est de loi binomiale. Il est alors possible d'obtenir la probabilité de k succès dans une répétition de n expériences :

$$P(X = k) = \binom{n}{k} * p^k * (1 - p)^{n-k} \quad (\text{B.3})$$

Cette formule fait intervenir le coefficient binomial *binomnk* duquel provient le nom de la loi.

2.1.4 Les fichiers de simulation

2.1.4.1 Les fichiers générés par les lignes de commandes

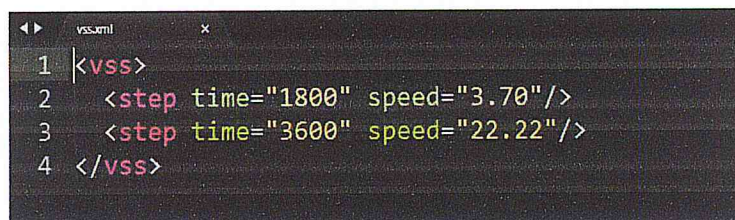
Un ensemble de fichiers sont générés par les lignes de commandes expliquées dans la section précédentes tel que :

- Le fichier network BenAk.net.xml
- Le fichier network+POI BenAk.poly.xml
- Le fichier POI TypeAk.xml
- Le fichier Additional BenAk.add.xml
- Le fichier route BenAk.rou.xml

2.1.4.2 vss.xml et BenAk.vss.Add.xml

Ces deux fichiers servent à émuler un blocage.

Le blocage sera provoquer dans les 3 voies de l'edge 26251762#1.0. Ce blocage commence à 1800 s et termine à 3600 s avec une réduction de vitesse de 1/6 de vitesse d'écoulement libre.



```
vss.xml
1 <vss>
2 <step time="1800" speed="3.70" />
3 <step time="3600" speed="22.22" />
4 </vss>
```

FIGURE 2.6 Le fichier vss.xml


```

BenAk.vss.Add.xml x
1 <additional xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="
  http://sumo.dlr.de/xsd/additional_file.xsd">
2
3   <variableSpeedSign id="vss" lanes="26251762#1.0_0" file="vss.xml"/>
4   <variableSpeedSign id="vss1" lanes="26251762#1.0_1" file="vss.xml"/>
5   <variableSpeedSign id="vss2" lanes="26251762#1.0_2" file="vss.xml"/>
6
7 </additional>
8
9

```

FIGURE 2.7 *Le fichier BenAk.vss.Add.xml*

2.1.4.3 BenAk.sumo.cfg

Le fichier de configuration sera comme montre la figure 2.8.

Les entrées du fichier de configuration <input> le fichier "BenAk.net.xml", "BenAk.rou.xml", "BenAk.vss.Add.xml" et "BenAk.poly.xml".

Le fichier de sortie "FcdOutput.xml" qui sert à récolter les données de trafic via FCD.

<device.fcd.probability value="0.1"/> décrit le pourcentage du FCD dans la simulation 10% ou 15%.

<device.fcd.period value="10"/> l'intervalle de temps entre chaque envoi de données FCD par les véhicules.

La simulation dure 1h comme montre la balise <time>.

```
BenAk.sumo.cfg x
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <configuration xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
3 xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.sf.net/xsd sumoConfiguration.xsd">
4   <input>
5     <net-file value="BenAk.net.xml"/>
6     <route-files value="BenAk.rou.xml"/>
7     <additional-files value="BenAk.vss.Add.xml,BenAk.poly.xml"/>
8   </input>
9   <output>
10    <fcd-output value="FcdOutput.xml"/>
11  </output>
12  <device.fcd.probability value="0.1"/>
13  <device.fcd.period value="10"/>
14  <time>
15    <begin value="0"/>
16    <end value="3600"/>
17    <step-length value="1"/>
18  </time>
19 </configuration>
```

FIGURE 2.8 Le fichier BenAk.sumo.cfg

