



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université AMO de Bouira

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département d'Informatique

Mémoire de Master

en Informatique

Spécialité : Génie des Systèmes Informatique

Thème

La Gestion Intelligente des Intersections Urbaine

Encadré par

— HAMBLI CHAHRAZAD

Réalisé par

— BOUREKBA IMAN

— LAKHIAL SORAYA

2020/2021

Remerciements

Nous remercions DIEU le tout puissant, maître des cieux et de la terre, qui nous a éclairé le chemin et permis de mener à bien ce travail.

Nos plus sincères remerciements s'adressent à notre encadreur Mme HAMBLI Chahrazad pour ses précieux conseils et encouragements. Merci pour votre confiance, votre disponibilité et vos encouragements.

Nous adressons également nos vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Nous ne pouvons achever ce projet sans exprimer notre gratitude à tous les enseignants de département informatique sans exception qui ont donné toutes leurs forces de nous apprécier les études.

Finalement, nous aimerions aussi remercier nos famille et tous ceux qui nous ont encouragé avec les hauts et les bas tout au long de ce travail. Merci à toutes et tous.

Dédicaces

Après Dix-huit années d'études et l'aide du dieu finalement je suis arrivé à a ce moment-là. Avec une immense joie, je dédie ce mémoire tout d'abord à mon trésor, mon père *Attalah* et mon bijou, ma mère *Rachida* qui m'ont apporté tout le confort, mon mari *Cheikh* qui m'a toujours encouragé, mes chères sœurs *Zahia, Wafaa, Aya, Amina, Hadda, et Insaf*, ainsi que mes chères familles *MERROUCHE, BOUZIANE et BOUREKBA*, mon binôme *Soraya* et sa famille, mes amis surtout *Sara, Widad, Sarah, Fatima, Sabrina, Yousra, Hadda, Asmaa, Chaima* pour leurs encouragements et leurs soutiens et tous les étudiants de M2 GSI. A tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail et je ne manquerai pas tous ceux qui m'ont encouragé à aller jusqu'au bout.

Iman

Dédicaces

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie,
que je dédie ce modeste travail à :

Mon Père *Said* ” L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif
et la personne le plus digne de mon estime et de mon respect. Aucune dédicace ne
saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et lange vie”.

Ma Mère *Salih*a ” Tu m'as donné la vie, la tendresse, l'amour,
et le courage pour réussir. En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier
pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée ”.

Mon frère *Abdelwahab*, mes sœurs *Amina et Hanan, Samira*
et son mari *Sidali* , *Abla* et son mari *Rezki* et ses enfants *Islam, Lina et Imad*.

Ma chère famille pour leur encouragement continué et leur soutien
qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

Ma binôme *Iman Bourokba* et sa famille.

Mes chers amis : *Hadia, Hadda, Chaima, Widad, Wassila, Manel, Sara, Fatma, Rania*.

Soraya.

Résumé

Grâce à l'augmentation du trafic automobile dans le monde, précisément les zones urbaines et surtout au niveau des intersections, les solutions de gestion du trafic existantes deviennent inefficaces, cela se voit clairement à travers les embouteillages persistants et le nombre croissant d'accidents et sa pose aussi un problème de perte du temps. Ce qu'il faut de mettre en place des nouvelles solutions.

L'objectif principal de ce travail est de proposer une nouvelle solution pour la gestion intelligente des intersections urbaines. La solution proposé doit répondre aux besoins sont les suivants : l'optimisation de l'intervalle de temps du signal de circulation en fonction d'encombrement, et construire le meilleur chemins. Le principe avantage de ce système est de réduire le problème de perte du temps au niveau des intersections urbaines par rapport à la gestion classique.

Mots clés : transport intelligent, Internet des Objets, intersection, route, feux tricolores, algorithme de kruskal, théorie des files d'attente.

Abstract

Because of the increase in automobile traffic in the world precisely urban areas and especially at intersections, existing traffic management solutions are becoming ineffective. This is clearly seen through the persistent traffic jams and the increasing number of accidents and its also posing a waste of time problem. What it takes to implement new solutions.

The main objective of this work is to propose a new solution for the intelligent management of urban intersections. The proposed solution must meet the following needs : optimizing the time interval of the traffic signal according to congestion, and constructing the best paths. The principle advantage of this system is to reduce the problem of wasting time at urban intersections compared to conventional management.

Keys words : intelligent transport, Internet of Things, intersection, road, traffic lights, kruskal algorithm, queues theory.

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	v
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations	viii
Introduction générale	1
1 Contexte et problématique du transport intelligent	4
1.1 Introduction	4
1.2 Transport intelligent	5
1.2.1 Les problèmes de transport	5
1.2.2 Les solutions envisagées	7
1.2.3 L’Internet des Objets et le monde routier de demain	9
1.2.4 Technologies des transports intelligents	9
1.2.5 Applications de transport intelligent	11
1.2.6 Système de transport intelligent	12
1.3 Intersections urbaines	14
1.3.1 Définition	14
1.3.2 Les types des intersections	14
1.3.3 Les formes des intersections	15
1.4 Les feux de circulation tricolores	16
1.4.1 Définition	16

1.4.2	L'intérêt des feux tricolores	16
1.5	Conclusion	16
2	Approches et méthodes de la gestion intelligente des intersections ur-	
	baines	17
2.1	Introduction	17
2.2	L'utilité de la gestion intelligente des intersections urbaines	18
2.3	Le contrôle intelligent des intersections urbaines	19
2.3.1	Critères d'évaluation des stratégies de contrôle	19
2.3.2	Les types de contrôle	19
2.3.3	Les techniques de contrôle	20
2.4	Systèmes existants de gestion des intersections urbaines	21
2.4.1	TRANSYT	21
2.4.2	SCATS	22
2.4.3	SCOOT	22
2.4.4	UTOPLA	23
2.4.5	PRODYN	23
2.4.6	OPAC	24
2.5	Les outils théoriques utilisés dans la gestion des intersections urbaines . . .	24
2.5.1	Contrôle par la logique floue	24
2.5.2	Algorithme génétique	25
2.5.3	Réseaux de neurones	26
2.5.4	Théories des jeux	27
2.5.5	Théorie des files d'attente	28
	28	
	28	
	29	
	29	
2.5.6	Algorithme de dijkstra	30
2.5.7	Algorithme de Bellman Ford	30
2.5.8	Algorithme de kruskal	31
2.6	Conclusion	32

3	Etat de l'art sur la gestion intelligente des intersections urbaines	33
3.1	Introduction	33
3.2	Travaux connexes	34
3.2.1	Approche 1 : le contrôle intelligent des feux de circulation aux intersections	34
3.2.2	Approche 2 : contrôle intelligent des feux de circulation au niveau des ronds-point	34
3.2.3	Approche 3 : l'optimisation des flux de trafic pour plusieurs intersections	35
3.2.4	Approche 4 : planification de chemin en temps réel	35
3.2.5	Approche 5 : gestion du trafic pour les véhicules d'urgence dans une ville intelligente	36
3.2.6	Approche 6 : optimisation des feux de circulation intelligents pour éviter la congestion	37
3.2.7	Approche 7 : gestion des feux de circulation en temps réel basés sur des données de voiture flottantes	37
3.2.8	Approche 8 : optimisation automatisée des intersections	38
3.2.9	Approche 9 : la gestion des ronds-points	38
3.2.10	Approche 10 : le contrôle du flux de trafic pour un carrefour isolé	39
3.2.11	Approche 11 : prédiction du flux de trafic à court terme	39
3.2.12	Approche 12 : répartition du trafic en temps réel	40
3.2.13	Approche 13 : l'IoT dans la gestion des feux de circulation	40
3.2.14	Approche 14 : La gestion de longueur maximal pour les véhicules	41
3.3	Comparaison entre les approches	42
3.4	Critique des travaux antérieur	44
3.5	Conclusion	46
 4	 Kruskal_Queues pour la gestion intelligente des intersections urbaines	 47
4.1	Introduction	47
4.2	Modélisation de la solution	48
4.2.1	Architecture de réseau routier proposé	48
4.2.2	Communication	50
4.3	Politique de gestion	51

4.3.1	La gestion classique	51
4.3.2	L’algorithme de kruskal pour la gestion intelligente des intersections urbaines	53
4.3.3	La théorie des file d’attente pour la gestion intelligente des intersections urbaines	54
4.3.4	L’algorithme Kruskal_Queuees pour la gestion intelligente des intersections urbaines	56
4.4	Déroulement de l’algorithme Kruskal_Queuees	58
4.5	Conclusion	62
5	Résultats et performance	63
5.1	Introduction	63
5.2	Environnement de travail	63
5.2.1	Environnement matériel	63
5.2.2	Langages de programmation utilisés	64
5.2.3	L’importance de JAVA	65
5.2.4	Environnement d’exécution	66
5.3	Présentation de l’application	66
5.3.1	Architecteurs de l’application	66
5.3.2	L’interface de l’application	67
5.4	Résultats de simulation	69
5.4.1	La gestion classique	69
5.4.2	La gestion intelligente	70
5.5	Comparaison entre les deux approches	72
5.5.1	La gestion classique	72
5.5.2	La gestion intelligente	72
5.6	Conclusion	75
	Conclusion générale et perspectives	76
	Bibliographie	78

Table des figures

1.1	Emission de gaz à effet de serre[20].	6
1.2	le nombmre de vehicules en fonction de nombre d'occupent	8
1.3	les 4 périodes principales dans le développement des STI.	13
1.4	Table des formes des intersections	15
2.1	Organigramme des types de contrôle des feux tricolores	20
2.2	Architecture de TRANSYT[19].	22
2.3	SCOOT[28].	23
2.4	Principe général des algorithmes génétiques	26
2.5	Un neurone réalise une fonction non linéaire bornée.	27
4.1	L'architecture proposée.	49
4.2	Communication <i>V2I</i>	50
4.3	Communication <i>I2I</i>	51
4.4	L'organigramme de fonctionnement de la gestion classique.	52
4.5	L'organigramme de fonctionnement de l'algorithme Kruskal_Queues.	56
4.6	Graphe pondéré pour le réseau routier.	61
5.1	Architecture de l'application.	67
5.2	Interface de l'application.	68
5.3	Interface de nombre des véhicules.	68
5.4	Les durées des tronçons par la gestion classique.	69
5.5	Les durées de quelque chemins par la gestion classique.	70
5.6	Interface de la gestion intelligente.	70

5.7	la durée, l'état des feux et les durées des tronçons par la gestion intelligente.	71
5.8	Le meilleur chemin de D à G par la gestion intelligente.	71
5.9	Durées du tronçon DA.	73
5.10	La durée du feu vert en fonction de taux d'encombrement.	74
5.11	Relation entre le taux d'encombrement et la durée de trajet par la gestion intelligente.	74
5.12	Relation entre le taux d'encombrement et la durée de trajet par la gestion classique.	74
5.13	Le meilleur chemin de D à G.	75
5.14	Les durées des chemins de D à G.	75

Liste des tableaux

- 3.1 Tableau de comparaison 44

- 4.1 Tableau de notations du la gestion classique 52
- 4.2 Tableau des vocabulaires 53
- 4.3 Tableau des vocabulaires 55
- 4.4 Tableau de notations. 58
- 4.5 Evaluation de la durée en fonction de taux d’encombrement et la durée du feu rouge(1). 59
- 4.6 Evaluation de durée en fonction de taux d’encombrement et la durée du feu rouge(2). 60

- 5.1 Caractéristique de l’ordinateur N :01 64
- 5.2 Caractéristique de l’ordinateur N :02 64
- 5.3 Résultats des tests par la gestion classique 72
- 5.4 Résultats des tests par la gestion intelligente 73

Liste des abréviations

DSRC : Dedicated Short Range Communication.

IdO : Internet des Objets.

IoT : Internet of Things.

I2I : Infrastructure to Infrastructure.

I2V : Infrastructure to Véhicule.

GPS : Global Positioning System.

GSM : Global System for Mobile.

M2M : Machine to Machine.

RFID : Radio Frequency Identification.

STI : Système de Transport Intelligent.

V2V : Véhicule to Véhicule.

Introduction générale

Bien que de nombreux aspects de nos vies soient devenus plus agréables grâce à l'utilisation de technologies avancées, il faut beaucoup de temps pour que l'industrie des transports rattrape son retard. Aujourd'hui, ce progrès est devenu inévitable. Les véhicules deviennent de plus en plus sûrs, mais d'autre part, l'environnement routier est devenu plus complexe, ce qui est principalement dû à l'augmentation rapide du nombre de véhicules et aux conséquences qui en découlent.

Le nombre d'utilisateurs du transport routier a augmenté d'année en année d'une manière sans précédent. Au cours des 20 dernières années, le trafic mondial a augmenté trop rapidement. La congestion croissante du réseau routier a causé des problèmes plus graves. Ils sont causés par les émissions de gaz à effet de serre et les émissions de polluants des véhicules. Les conséquences économiques liées à la consommation de carburant et au temps perdu dans les embouteillages ne peuvent être ignorées. De plus, les accidents et les blessures sont causés par la détérioration des conditions de circulation. Tout cela constitue un problème social important.

De plus, les retards causés par la congestion ont également un impact important sur la qualité de vie des utilisateurs. En effet, les conducteurs souvent bloqués dans les embouteillages, il est souvent sensible à la pression, au bruit, etc., et augmente les risques d'accidents. Ce phénomène est largement considéré comme une source indirecte de problèmes de santé et a également un impact direct sur l'augmentation de la consommation d'énergie.

Des feux de circulation ont été installés pour gérer la circulation, mais ils sont devenus de plus en plus inefficaces en raison de leur conception. La durée prédéfinie varie entre les tons

vert, orange et rouge, quelles que soient les conditions actuelles, y compris l'augmentation du temps de veille, la consommation de carburant supplémentaire et la pollution de l'air. De plus, le manque d'équipements pouvant fournir aux conducteurs des informations sur les conditions routières actuelles augmente encore la probabilité d'embouteillages.

Ces dernières années, des progrès significatifs ont été réalisés dans l'amélioration de la gestion des routes urbaines, mais de nouvelles stratégies sont encore nécessaires pour résoudre le problème de la congestion.

Afin de mieux répondre aux besoins de la gestion routière, il est nécessaire de mettre en place des systèmes de transports plus efficace, économiques et durables. Le développement de systèmes de transport intelligents permet de mieux comprendre la dynamique du trafic à travers le système de contrôle de la circulation.

Les systèmes de transport intelligents (*STI*) améliorent la communication entre les véhicules et l'infrastructure et entre l'infrastructure et l'infrastructure pour améliorer l'infrastructure routière, plutôt que d'augmenter la capacité routière ou de développer de nouvelles routes. Cela est dû à l'utilisation des *STI* avancés d'information et de communication. Ces communications permettront de réduire les embouteillages et les accidents de la route dangereux en zones urbaines.

Dans ce projet, nous avons proposé une hybridation de deux algorithmes (kruskal et file d'attente) pour la gestion intelligente des intersections urbaines dans le contexte de l'internet des objets. Ces algorithmes se basent sur la communication véhicule à infrastructure et infrastructure à infrastructure. Notre objectif est de gérer la synchronisation des feux de circulation, de réduire le temps d'attente dans les congestions par un algorithme et un autre algorithme pour déterminer le plus court chemin à effectuer entre deux points pour réduire le temps de déplacement en même temps. La proposition sera validée à l'aide de la simulation en utilisant le langage java.

Afin d'atteindre l'objectif, ce mémoire est organisé en cinq chapitres comme suit :

- **Dans le premier chapitre :** Nous commençons par le transport intelligent qui est une partie importante dans l'IoT. Nous abordons les concepts suivants : Les

problèmes, les solutions envisagées, les technologies et les applications du transport intelligent. Puis nous allons parler sur les intersections urbaines et les feux tricolores.

- **Dans le deuxième chapitre :** En premier temps, nous allons traiter et approfondir le transport intelligent en parlant sur les systèmes de gestion des intersections et quelque concept qui sont en relation avec notre thème. Nous allons voir : l'utilité de la gestion intelligente, le contrôle intelligent et systèmes existants de gestion des intersections urbaines. Enfin, nous présentons certains algorithmes utilisés dans la gestion des intersections.
- **Dans le troisième chapitre :** D'abord nous allons présenter plusieurs approches qui ont résolu quelque problème de trafic routier, nous allons analyser, critiquer et comparer les approches.
- **Dans le quatrième chapitre :** Nous proposons une nouvelle solution pour la gestion intelligente des intersections urbaines.
- **Dans le dernier chapitre :** nous présentons les implémentations et les expérimentations réalisées pour valider la solution présentée dans le quatrième chapitre. Avec une petite comparaison entre notre proposition et la gestion classique de circulation routière.

Nous concluons finalement par une conclusion de ce qu'a été réalisé, des perspectives que l'on souhaite réaliser dans le futur.

Contexte et problématique du transport intelligent

1.1 Introduction

Actuellement Avec l'augmentation démographique et le développement technologique, l'utilisation des objets connectés est redoublée d'une façon inimaginable. L'Internet des objets (*IoT*) est la tendance dans le monde de l'informatique, les medias parlent d'objets connectés, et les grands cabinets de consulting avaient annoncés qu'il y aura plus d'objets connectés que d'êtres humains. Le transport a toujours été un secteur important dans tous les pays du monde, et avec le croisement du nombre des conducteurs et des usagers du transport avec le temps, ce secteur a reconnu plusieurs problèmes. C'est pourquoi le transport traditionnel est changé de plus en plus vers un transport intelligent qui aspire à des améliorations régulières pour avoir des solutions et pour faciliter notre vie.

Ce chapitre est consacré à la présentation des concepts liés à notre thème. Nous commençons le chapitre par le transport intelligent qu'est une partie importante dans l'IoT. Nous allons aborder les concepts suivants : Les problèmes de transport, les solutions envisagées, les technologies du transport intelligent, les applications du transport intelligent. Puis nous allons parler sur les intersections urbaines et les feux tricolores.

1.2 Transport intelligent

Le transport est un domaine de déploiement de robots intelligents. Se déplacer de manière autonome est désormais une quasi-possibilité, même dans un univers fermé, une réalité déjà tangible[2].

Depuis l'apparence de l'IdO, le nombre des véhicules intelligentes sont en croissance, maintenant presque Tous les véhicules vendus dans le monde ont déjà des capteurs et des moyens de communication pour bien gérer le trafic.

L'objectif est que les voitures peuvent communiquer entre eux d'une façon autonome ou une centrale de surveillance pour prévenir les accidents et réduire les coûts d'assurance[3].

1.2.1 Les problèmes de transport

Le secteur du transport a reconnu plusieurs problèmes, on peut aborder les suivants :

Les embouteillages

L'embouteillage ou la congestion est un encombrement de la circulation, généralement automobile, réduisant fortement la vitesse de circulation des véhicules sur la voie, bien que son importance et sa fréquence varient d'un endroit à l'autre "Rester bloqué en pleine voie est une situation que personne n'affectionne particulièrement".

La pollution

Le secteur du transport est le premier émetteur de gaz (figure 1.1) à effet de serre et ses impacts sur l'environnement sont nombreux : pollution de l'air, de l'eau, modification des paysages ou encore contribution au changement climatique[20].

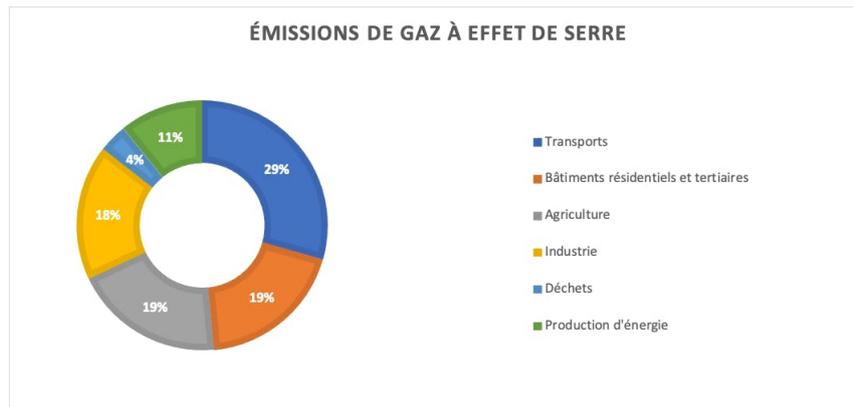


FIGURE 1.1 – Emission de gaz à effet de serre[20].

Le bruit

Les transports sont bruyants et sont responsables d'une grande partie des nuisances sonores que nous connaissons, surtout dans les heures de pointe quand les gens sont prisés ils ne peuvent faire rien sur la route que de sonner.

Les accidents

Est une collision non désirée, non prévue et mal anticipée, qui a lieu sur le réseau routier entre un véhicule d'une part et toute autre chose ou personne ou animal, fixe ou mobile d'autre part qui engendre des blessures humaines et/ou des dégâts matériels.

Partout dans le monde plusieurs personnes sont tuées ou blessées sur les routes. Des gens qui se rendent à l'école ou à leur travail à pied ou conducteurs ne rentreront jamais chez eux, laissant derrière eux des familles effondrées. Des milliers de personnes, chaque année, passeront de longues semaines à l'hôpital après un accident grave et beaucoup d'entre elles ne pourront plus jamais vivre, travailler ou jouer comme auparavant.

La consommation d'énergie

Aujourd'hui, le secteur des transports est étroitement lié au pétrole mais les alternatives sont potentiellement nombreuses. Mais quelque soit le moyen d'énergie utilisé, la consommation augmente dans les heures de pointe grâce à passer un temps supplémentaire dans les embouteillages.

1.2.2 Les solutions envisagées

Il y a plusieurs classes de solution pour résoudre les problèmes du transport, on montre les suivants :

Construction de nouvelles infrastructures

C'est de construire plus d'infrastructures. Mais à mesure que les villes grandissent, l'espace pouvant recevoir de nouvelles routes et autoroutes, lui, diminue, mais ces solutions demandent un gros budget et des années de planification et de construction. Néanmoins, l'ajout d'infrastructures demeure parfois la meilleure option. Mais qui dit « nouvelles infrastructures » ne dit pas obligatoirement construction de nouvelles routes ou autoroutes : on peut aussi ajouter de nouveaux échangeurs, réaliser des travaux d'amélioration ou élargir les routes existantes[14].

Utilisation des transports en commun

Les transports en commun sont désormais une solution incontournable, peu polluante et peu encombrante déployée dans toutes les villes du monde.

Prioriser les transports en commun serait bénéfique non seulement pour l'économie, la qualité de l'air et l'environnement, mais aussi pour améliorer la santé publique et, ironiquement, cela profiterait à tous les automobilistes qui n'ont pas d'alternative, grâce à la liquidité sur les routes[15].

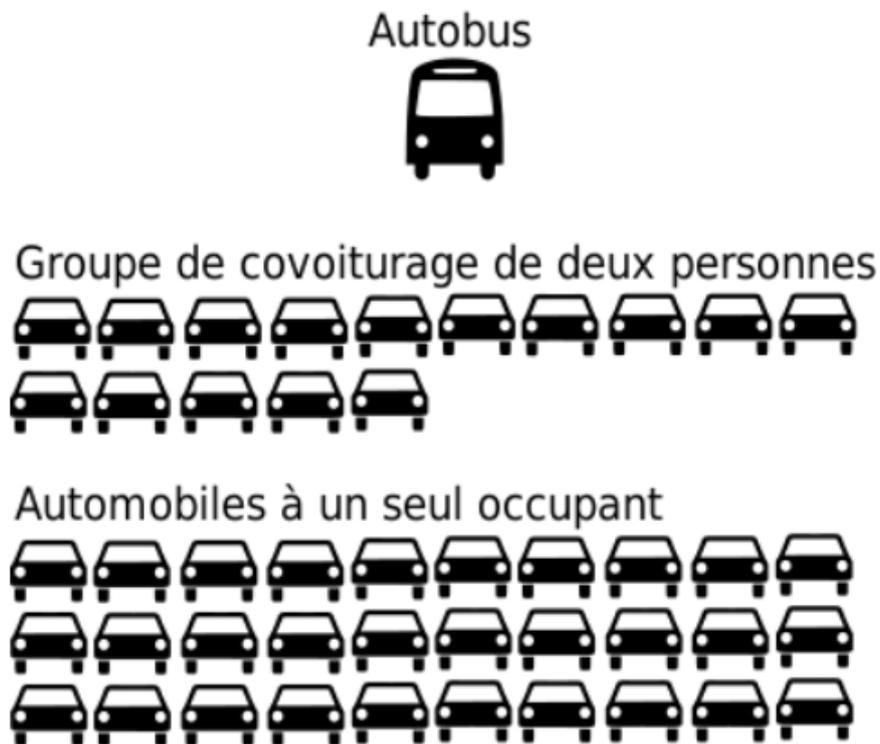


FIGURE 1.2 – le nombre de véhicules en fonction de nombre d'occupant

La mise à jour périodique des lois de la route

Parfois avec le temps quelque lois existent déjà ne restons pas utile dans certain cas de problèmes routier, mais au contraire ça pose des nouveaux problèmes, ce qui nécessite d'exiger et d'introduire des nouvelles lois efficace à longue période.

Il faut imposer des pénalités strictes contre les gens qui ne respectent pas les lois de la route, pour n'avoir pas de transgressions.

Gestion intelligente du trafic

La gestion du trafic routier fait partie du domaine des systèmes de transport intelligents (*STI*) qui fait référence aux applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans le domaine des transports. Ils sont dits «intelligents» car leur développement dépend de fonctions généralement associées à l'intelligence : capacités sensorielles, mémoire, communication, traitement de l'information et comportement adaptatif.

Les systèmes de transport intelligents sont particulièrement impliqués dans la mise en œuvre de mesures de gestion dynamique du trafic : régulation dynamique de la vitesse, interdictions de dépassement (*dynamiques*) pour les poids lourds sur autoroute en fonction du trafic.

1.2.3 L'Internet des Objets et le monde routier de demain

On a constaté un changement important depuis l'arrivée des véhicules électriques, autonomes ou encore des transports partagés qui impactent les business modèles mais aussi le comportement même des usagers. « Les dynamites sectorielles » auxquelles le secteur fait face avec les émissions de gaz à effet de serre, l'éclatement de la chaîne de valeur ou encore la réduction de la consommation vont influencer les véhicules et les infrastructures de demain.

Le DSRC offrira également le potentiel de débits binaires plus élevés et réduira le potentiel d'interférence avec d'autres équipements. D'une part, les communications de véhicule à véhicule (*V2V*) et de véhicule à infrastructure (*V2I*) amélioreront les futures applications liées aux transports intelligents et aux STI, telles que les services de sécurité des véhicules et la gestion du trafic. Il sera entièrement géré dans les infrastructures IdO de demain[4].

1.2.4 Technologies des transports intelligents

Les technologies utilisées dans les systèmes de transport intelligents varient, allant des systèmes de gestion de base tels que les systèmes de gestion des feux de signalisation, les radars automatiques...etc. Sources, telles que les systèmes de dégivrage des ponts, les systèmes de navigation en vol qui fournissent des temps de trajet en temps réel, etc. De plus, des techniques prédictives ont été développées pour permettre une modélisation et une comparaison avancées avec la base de données. Quelques technologies typiquement implantées dans les STI sont :

- **Communications sans fil** : Plusieurs technologies de communication sans fil sont introduites pour les systèmes de transport intelligents. Communications courte portée (*IEEE 802.11*; *DRSC*) et longue portée (*WIMAX*; *GSM*; ...).

- **Systèmes embarqués et le bus CAN** : Aujourd'hui, le secteur automobile est devenu l'un des principaux consommateurs de composants électroniques. Les cartes, processeurs et microcontrôleurs envahissent progressivement la voiture et s'implantent dans son châssis, sa carrosserie, ses commandes et sa gestion moteur, ou jouent un rôle de plus en plus important dans la sécurité, l'information du conducteur ou la bienveillance - soyez ses occupants. Les normes de pollution et de consommation d'énergie obligent les fabricants à augmenter le nombre de capteurs et d'actionneurs intelligents dans leurs voitures, ce qui accélère le processus de doublement des câbles et des connexions. Le bus CAN est apparu face à ce problème et est standardisé depuis 1983. Le bus CAN (*Control Area Network*) est un support de communication série qui supporte en temps réel les systèmes existants avec un haut niveau de fiabilité. Ses domaines d'application vont des réseaux à débit moyen aux réseaux de multiplexage à faible coût[13].
- **Technologies de localisation** : La localisation des passagers, des marchandises et des véhicules est une information importante pour permettre le développement d'une mobilité plus intelligente, meilleure et plus respectueuse de l'environnement. Les services et technologies permettant de connaître et d'utiliser ces informations se développent très rapidement, avec l'ambition de faciliter l'accès à des localisations géographiques partout et à tout moment, ce que les spécialistes appellent la géo-positionnement ou la géolocalisation[14].
- **Technologies de capteurs** : L'électronique est indispensable pour contrôler, gérer, améliorer, voire innover, les systèmes embarqués d'un véhicule. Ces systèmes ont recours à des capteurs pour renseigner l'intelligence des systèmes sur l'environnement ; ces capteurs recueillent les données aussi bien en temps réel qu'en temps différé le plus précis et le plus accessible possible[7, 15].
- **Technologies de calcul** : Progrès récents dans l'électronique embarquée des conduits d'air dans les véhicules équipés de processeurs informatiques plus efficaces. Une voiture typique du début des années 2000 contiendra entre 20 et 100 unités individuelles basées sur des microcontrôleurs ou des contrôleurs logiques programmables interconnectés dans un réseau avec des systèmes d'exploitation non temps réel. La tendance actuelle est de s'orienter vers quelques unités de microprocesseurs plus chères avec mémoire matérielle en temps réel et gestion du système

d'exploitation. De nouvelles plates-formes informatiques embarquées permettent de mettre en œuvre des applications logicielles plus sophistiquées, en particulier le contrôle de la modélisation informatique, de l'intelligence artificielle et de l'informatique omniprésente. L'intelligence artificielle est peut-être la plus importante de ces approches des systèmes de transport intelligents[10].

1.2.5 Applications de transport intelligent

Nous allons spécifiquement discuter des applications liées au transport intelligent.

Automobile et gestion de flotte :

Les applications dans le domaine de l'industrie automobile sont nombreuses et nécessitent l'utilisation des objets intelligents.

Services d'urgence :

Cisco a fait équipe avec l'ambulance aérienne de California Shock Trauma Air Rescue service. Grâce à l'IoT, l'emplacement d'un appel arrivé est géolocalisé et la mission est assignée à l'équipe la plus proche qui est directement dépêchée sur les lieux.

Gestion du trafic :

Grâce à quelques intégrations, l'internet des objets est également un moyen de profiter de la société. En fait, via l'application GPS Waze, les utilisateurs peuvent interagir et créer un système de surveillance et d'entraide pour naviguer dans un trafic dense..

Les infrastructures intelligentes :

La technologie ITS promet d'améliorer la sécurité, l'efficacité des infrastructures, ou encore la durabilité de nos systèmes de transport grâce à toutes les technologies de l'information et de la communication.

Véhicule intelligent :

L'initiative des véhicules intelligents vise à accélérer le développement et la disponibilité de systèmes avancés de sécurité et d'information appliqués à tous les types de

véhicules. L'objectif est d'intégrer l'assistance au conducteur et la fonction d'information des automobilistes afin que les véhicules fonctionnent de manière plus sûre et plus efficace.

Séquence dynamique des feux de circulation :

Le contrôle intelligent du trafic RFID a été développé pour la séquence dynamique des feux de signalisation. La technologie RFID avec un algorithme et une base de données appropriés a été appliquée à une zone de jonction à plusieurs véhicules, à plusieurs voies et à plusieurs routes pour fournir un système de gestion du temps efficace.

Application automatique des routes :

Un système de caméras de surveillance de la circulation est utilisé pour détecter et identifier les véhicules qui ne respectent pas une limite de vitesse ou une autre exigence légale de la route et automatiquement contraindre les contrevenants en fonction du numéro de plaque d'immatriculation [4][5].

1.2.6 Système de transport intelligent

Les systèmes de transport intelligents (*STI*) font référence aux nouvelles applications des technologies de l'information et de la communication dans les transports. Ils sont dits «intelligents» car leur développement dépend de fonctions généralement associées à l'intelligence. Les systèmes de transport intelligents peuvent être trouvés dans de nombreux domaines d'activité : dans l'amélioration de l'utilisation des infrastructures de transport, l'amélioration de la sécurité et de la sûreté, ainsi que dans le développement des services. L'utilisation des systèmes de transport intelligents (*STI*) s'inscrit également dans le contexte du développement durable : ces nouveaux systèmes permettent de maîtriser la mobilité en encourageant. Ils font l'objet d'une concurrence économique intense au niveau mondial[6].

Développement des STI :

La congestion globale des infrastructures de transport représente un coût social et économique important en termes de pollution de l'air, de consommation de carburant et donc d'émissions de gaz à effet de serre (*GES*) ainsi que de temps perdu par les usagers des transports. Il augmente régulièrement dans le monde entier, en raison de l'urbanisation

accrue, de la croissance démographique et surtout du nombre de voitures qui ont permis le soi-disant phénomène d'urbanisation, en particulier dans les pays développés[9].



FIGURE 1.3 – les 4 périodes principales dans le développement des STI.

Applications du STI

Il existe deux types principaux des applications du STI notamment la sécurité et l'efficacité du trafic :

- **Les applications de sécurité routière** : Il vise à réduire les risques d'accidents de voiture et à réduire les dommages causés par des accidents qui ne peuvent être évités. Ces applications nécessitent des demandes qui nécessitent un matériel dédié fiable ainsi que des connexions fiables et rapides. Ces applications comprennent la sensibilisation collaborative, par exemple, des applications de gestion des progrès, d'avertissement de sortie de voie et de gestion de la vitesse, ainsi que des applications de détresse, par exemple la détection des dangers et des conditions météorologiques défavorables[11].
- **Les applications de l'efficacité du trafic** : L'objectif principal de l'application de l'efficacité du trafic est d'améliorer la fluidité du trafic en réduisant le temps de trajet et la congestion du trafic. Des avantages économiques et environnementaux peuvent également être obtenus. Ces applications fournissent des

informations trafic à l'utilisateur, et sont généralement diffusées via des infrastructures. Par ex. Gérer les véhicules qui transportent des marchandises dangereuses. Bien que ces demandes n'aient pas les exigences strictes de fiabilité et de délai, leur qualité se dégrade gracieusement à mesure que les retards et la perte de paquets augmentent[8, 12].

1.3 Intersections urbaines

Le domaine du transport intelligent est très vaste, et les intersections sont une partie vraiment importante dans ce secteur, c'est pour cela la gestion des intersection reste toujours un domaine de recherche.

1.3.1 Définition

Une intersection est un endroit où deux ou plusieurs routes se rencontrent ou se croisent, quel que soit l'angle(s) des axes de ces routes. Le passage de ces intersections est parfois organisé par des panneaux ou des lumières ou par des règles de priorité. Par exemple, un panneau indiquant «céder le passage» ou un «feu de signalisation». Afin d'organiser le passage de chaque véhicule, des règles de priorité ont été mises en place[16, 17].

1.3.2 Les types des intersections

On a deux types d'intersection sont :

Intersection avec des feux de circulations

C'est une intersection géré intelligemment par un ou plusieurs feux tricolores. On s'intéresse par ce type dans notre travail.

Intersection sans des feux de circulations

C'est une intersection géré par des panneaux ou un policier de circulation ou bien par des règles de priorité de code routière (*dans le cas d'une intersection sans panneaux et sans policier*).

1.3.3 Les formes des intersections

Ce tableau présente les formes des intersections existant :

Forme	Description	Exemple
T	Une intersection de la forme T est le croisement de deux routes, en composant trois tronçons.	
Y	Une intersection de la forme Y est le croisement de trois routes, en composant trois tronçons.	
Croix	Une intersection de la forme de croix est le croisement de deux routes, en composant quatre tronçons.	
Etoile	Une intersection de la forme d'étoile est le croisement de plus de deux routes, en composant trois tronçons ou plus avec un rond-point. Dans ce cas on utilise que des panneaux et non pas des feux.	

FIGURE 1.4 – Table des formes des intersections

1.4 Les feux de circulation tricolores

L'augmentation démographique a augmenté le nombre des conducteurs sur les routes, et elle a créé des problèmes dans la gestion des intersections urbaines pour cela des feux de circulation ont été mis en place comme solution.

1.4.1 Définition

Le feu de signalisation routière est un dispositif de régulation du trafic routier entre les usagers de la route, les véhicules et les piétons. Habituellement, les lampes pour voitures sont de type tricolore. Ceux pour piétons sont bicolores et présentent souvent une reproduction de la silhouette des piétons. Il est composé d'un système électronique commandé avec trois couleurs principales[18].

- La couleur verte indique aux véhicules qu'il y a un trafic prioritaire exclusif et indique aux piétons de ne pas passer.
- La couleur rouge indique que les véhicules doivent être arrêtés et indique que les piétons peuvent passer.
- La couleur orange indique le passage du rouge au vert est ça dure quelque secondes.

1.4.2 L'intérêt des feux tricolores

Le rôle important de feux tricolores est d'assurer la sécurité en partageant dans le temps de l'utilisation d'un même espace entre des flux opposés. Mais en choisissant les intervalles de chaque couleur (*vert*, *rouge*) et en synchronisant les lumières entre elles, il permet également de gérer le flux de la demande. Il existe différentes méthodes et de nombreux outils pour assurer la gestion des feux. Le plan de feux prédéfini reste la base du système de gestion de la grande majorité des villes du monde[19].

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons illustré les aspects principaux du transport intelligent qu'est un domaine très important dans l'IdO, nous avons étudié les problèmes du transport routier et les STI, ensuite nous avons présenté les intersections urbaines et les feux tricolores.

Approches et méthodes de la gestion intelligente des intersections urbaines

2.1 Introduction

Les intersections sont une partie de la route ou un lieu de croisement de deux voies, c'est pour cela la gestion intelligente des intersections urbaines est importante pour éviter les collisions et la congestion. Pour chaque usage de la route le système gère intelligemment le passage de chaque véhicule.

Dans ce chapitre, nous allons traiter et approfondir le transport intelligent en parlant sur les systèmes de gestion des intersections et quelque concept qui sont en relation avec notre thème. Nous allons voir : l'utilité de la gestion intelligente des intersections urbaines, le contrôle intelligent des intersections urbaines, systèmes existants de gestion des intersections urbaines, et enfin nous présentons certains algorithmes utilisés dans la gestion des intersections pour rendre la route plus facile à utiliser, selon les besoins.

2.2 L'utilité de la gestion intelligente des intersections urbaines

Le système traditionnel de gestion de trafic routier avait un long cycle de fonctionnement et sa technologie informatique traditionnelle était faible.

L'augmentation démographique et le croisement important de trafic automobile depuis des années ont posé beaucoup de problèmes, surtout dans les zones urbaines. La congestion routière est l'un des problèmes majeurs dans la plupart des villes du monde et elle conduit à plusieurs autres problèmes comme la pollution, le gaspillage de temps, les longues files d'attente sur les routes et peut provoquer des accidents. L'amélioration des infrastructures routières n'est pas toujours la solution réalisable pour résoudre le problème. Dans la réalité, un itinéraire plus court vers la destination attire la majorité des gens et peut parfois aggraver les embouteillages.

Le système de trafic est un système complexe caractérisé par le caractère aléatoire, l'ambiguïté et l'incertitude. On remplace le système de gestion traditionnel par des systèmes de la gestion intelligente ne nécessite pas beaucoup de personnel de gestion du trafic, ce qui permet de [24, 25] :

- Economiser beaucoup de main-d'œuvre et d'énergies
- Eviter les conflits dans les intersections.
- Partager les droits d'accès.
- Atténuer le phénomène des embouteillages pendant les heures de pointe.
- Réduire les accidents de la route.
- Garantir la sécurité du trafic.

2.3 Le contrôle intelligent des intersections urbaines

Dans cette section nous allons parlé sur le contrôle (la gestion).

2.3.1 Critères d'évaluation des stratégies de contrôle

Pour évaluer une stratégie de commande, les spécialistes ou les exploitants de transport utilisent les indicateurs suivant[26] :

- L'heure de début et de fin de l'encombrement.
- Sa Durée Moyenne en Temps (*DMT*), qui est la période accumulée en temps durant la période de pointe pour laquelle l'occupation critique est inférieure à l'occupation mesurée.
- L'espace occupé par l'encombrement.
- Le Temps Total Passé (*TTP*) qui est le cumul du temps passé par les conducteurs dans le réseau, y compris le Temps Total d'Attente (*TTA*) dans les files d'attentes.
- La Distance Totale de Trajet (*DTT*) qui est le cumul de la distance totale parcourue par l'ensemble des véhicules dans le réseau.
- La Vitesse Moyenne ($VM = DTT/TTP$).
- La quantité de polluants émis.
- La Consommation d'énergie.

2.3.2 Les types de contrôle

Le développement du trafic routier urbain a conduit à la conception de systèmes intelligents. Parmi les caractéristiques de ces systèmes, il y a leur besoin de dynamisme et de réponse : pour pouvoir agir dans une situation, ils ont besoin de connaître les informations sur ce qui se passe dans des lieux spécifiques, et de prendre des décisions[27].

Avec le temps, les systèmes organisationnels se sont diversifiés et ont connu trois générations de contrôle global. Maintenant, chaque génération peut être utilisée en fonction des moyens mis en place sur l'infrastructure, et de la connaissance de celle-ci[28] :

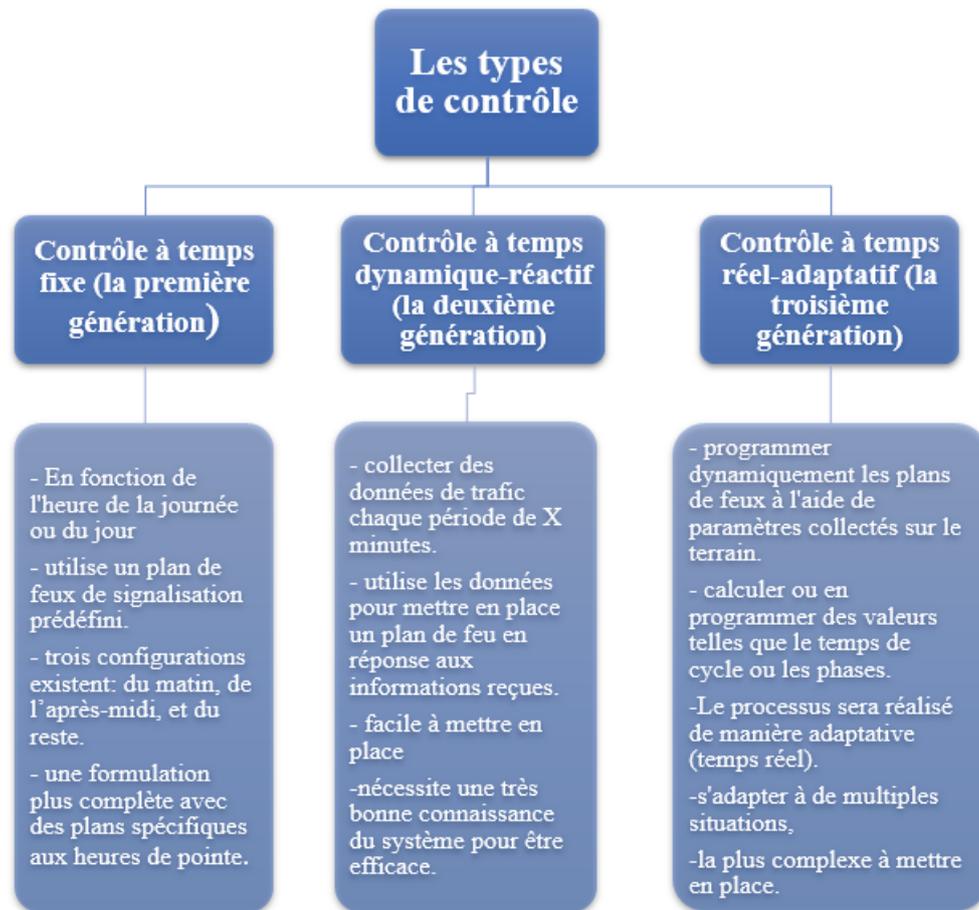


FIGURE 2.1 – Organigramme des types de contrôle des feux tricolores

2.3.3 Les techniques de contrôle

Nous avons plusieurs techniques sont :

Radio Fréquence IDentification (RFID)

Un RFID est un système d'identification de proximité électromagnétique et de transaction de données. En utilisant des «étiquettes RFID» sur des objets ou des actifs, et des «lecteurs» pour recueillir les informations d'étiquette, la RFID représente une amélioration par rapport aux codes à barres en termes de communication de proximité non optique, de densité d'informations et de capacité de communication[29].

Réseaux de capteurs sans fil (WSN)

WSN "Wireless Sensors Networks" sont une nouvelle technologie née après les grandes évolutions technologiques dans le développement de capteurs intelligents, de processeurs puissants et de protocoles de communication sans fil, leurs composants de base. Ce type de réseau, composé d'un grand nombre de nœuds, a pour objectif de collecter des données environnementales, de les traiter et de les diffuser dans le monde extérieur. Les éléments du réseau "les nœuds de capteurs" ont de petites dimensions et de sévères contraintes de ressources, y compris l'énergie, le traitement et la communication[30].

Traitement d'image

Le traitement des informations visuelles est très important dans de nombreuses industries. Lorsque le traitement d'image est également utilisé dans la circulation routière, les sources d'image de données peuvent être obtenues à partir de la source d'image, qui peut être située au-dessus ou à proximité de la route. Il peut être utilisé pour[31] :

- La détection des véhicules routiers.
- La vitesse des véhicules en mouvement.
- La détection des véhicules avant et le calcul de la distance.
- La détection d'obstacles.
- La détection de voie.
- La détection de panneaux de signalisation, ...

2.4 Systèmes existants de gestion des intersections urbaines

Il existe quelques systèmes de gestion des intersections urbaines, parmi eux les suivants :

2.4.1 TRANSYT

TRANSYT (*TRAffic Network StudY Tool*) C'est l'un des premiers systèmes présentés. Est un programme pour améliorer le contrôle des feux dans un "temps fixe". La première version de TRANSYT a été développée par le TRRL - Transport and Road Research

Laboratory - en Grande Bretagne 1967. Il continue à être amélioré ; sa dernière version (*version 10 new release*) 1996. TRANSYT est devenu un référentiel pour évaluer l'efficacité des systèmes de contrôle en temps réel[19].

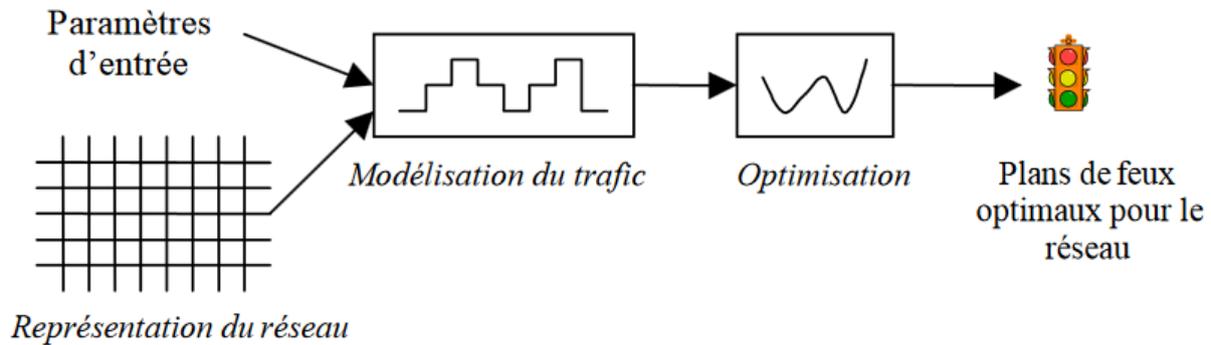


FIGURE 2.2 – Architecture de TRANSYT[19].

2.4.2 SCATS

SCATS (*Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System*) qui a été à l'origine développé pour Sydney et d'autres villes Australiennes (*dans les villes contenant plus de 10 millions d'habitants*). Est un système décentralisé et adaptatif à la situation du trafic. Il utilise aussi les données des capteurs installés sur les routes. La différence avec SCOOT est que SCATS est un système hiérarchique Qui dépend énormément du choix des libraires des durées de feu vert et des décalages[33].

2.4.3 SCOOT

SCOOT (*Split Cycle and Offset Optimisation Technique*) c'est un système décentralisé, totalement adaptable aux conditions de circulation. Il collecte des données (*nombre de véhicules par période*) à partir de détecteurs routiers et de connexions magnétiques en haut de l'intersection[32].

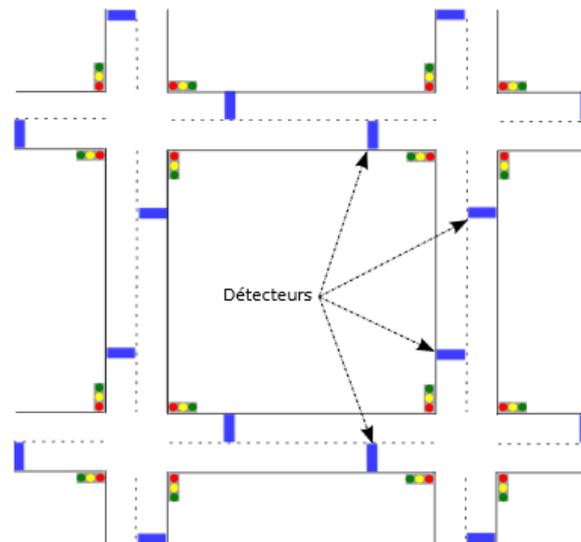


FIGURE 2.3 – SCOOT[28].

2.4.4 UTOPLA

UTOPIA - Urban Traffic OPTimization by Integrated Automation - a été créé en 1983, en Italie [Di Taranto et al., 1989], [Donati et al., 1984]. Ce système se caractérise par une architecture distribuée dans laquelle la prise de décision est prise au niveau global que local. La stratégie de régulation mise en œuvre par UTOPIA repose sur trois modèles de trafic[19, 34, 35]

- un modèle macroscopique.
- un modèle microscopique.
- un modèle pour les véhicules de transport en commun.

2.4.5 PRODYN

PRODYN (*PRO*grammation *DYN*amique) est un système décentralisé et adaptatif au trafic développé par le CERT (*Centre d'Etude et de Recherche de Toulouse*) en France dans les années 1980. La stratégie utilisée par ce système consiste à analyser à chaque pas de temps (*de 5 secondes*) si commuter l'état du feu (*i.e. changer de phase*) est la décision optimale, c'est-à-dire si elle minimise le temps d'attente des véhicules devant l'intersection pour les 75 prochaines secondes d'après le modèle d'écoulement utilisé[36].

2.4.6 OPAC

OPAC-RT, Real Time Optimization Policies for Adaptive Control, il a été conçu par l'Université Lowell, Massachusetts, en coopération avec le département américain des transports en 1982. Il a été testé dans la ville d'Arlington, en Virginie, et dans la ville de Tuscon, en Arizona. A notre connaissance, ce système n'est appliqué qu'au niveau local d'un carrefour isolé[37].

Limites de ces systèmes

Le problème avec ces systèmes est le fait qu'ils se basent sur des hypothèses simplificatrices (*prédiction du trafic pour TRANSYT, variation des durées des feux selon des pas prédéfinis pour SCOOT, bibliothèques prédéfinies des décalages et des durées de feu vert pour SCATS, etc*) qui peuvent être plus complexes et complètement différentes dans la réalité[19].

2.5 Les outils théoriques utilisés dans la gestion des intersections urbaines

Dans la littérature, il y a plusieurs algorithmes ou bien solutions pour gérer le trafic dans le cas de plusieurs carrefours proches. La plupart des recherches sont basées sur les changements dans le cycle des feux de signalisation.

2.5.1 Contrôle par la logique floue

La technologie de logique floue permet la mise en œuvre de règles réelles similaires à la façon de la pensée humaine. Contrairement à la stratégie de contrôle classique, qui est un contrôle point à point, le contrôle à logique floue est un contrôle plage à point ou plage à plage. Les idées floues sont si souvent utilisées dans notre vie de routine que personne n'y prête même attention. Par exemple, la plupart du temps, on pourrait répondre à certaines questions par «pas très satisfait» ou «assez satisfait», qui sont également des réponses floues ou ambiguës. Les ordinateurs ne peuvent comprendre que '0' ou '1', et 'HIGH' ou 'LOW'. Ces données sont appelées données nettes ou classiques et peuvent être traitées par toutes les machines. Les techniques de logique floue ont été largement appliquées dans

tous les aspects de la société actuelle. La mise en œuvre de la technique de logique floue dans une application réelle nécessite les étapes suivantes :

Fuzzification : convertir des données nettes en données floues ou en fonctions d'appartenance (MF)

Processus d'inférence floue : combinez les fonctions d'appartenance avec les règles de contrôle pour dériver la sortie floue

Défuzzification : utilisez différentes méthodes pour calculer chaque sortie associée et placez les dans une table. Récupérez la sortie de la table de recherche en fonction de l'entrée actuelle lors d'une application.

L'avantage majeure de la logique floue est qu'elle permet à l'ordinateur de quantifier et de comprendre des termes et conditions flous tels que «lourds», «moins» et «plus longs». L'inconvénient de cette logique est : les techniques de mise en place et les réglages sont empiriques et aucune théorie ne permet de démontrer la stabilité et la robustesse d'une telle méthode[28, 38].

2.5.2 Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes d'optimisation appartenant à la famille des algorithmes évolutionnistes s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et de l'évolution naturelle : croisements, mutations, sélection, etc.

Leur but est d'obtenir une solution approchée (*non exact*) à un problème d'optimisation, pour le résoudre en un temps raisonnable.

Un algorithme génétique recherche le ou les extrema d'une fonction définie sur un espace de données. Pour l'utiliser, on doit disposer des éléments suivants [32] [40] :

- Un principe de codage de l'élément de population.
- Un mécanisme de génération de la population initiale. Ce mécanisme doit être capable de produire une population d'individus non homogène qui servira de base pour les générations futures.
- Une fonction à optimiser. Celle-ci retourne une valeur de \mathbb{R}^+ appelée fitness ou fonction d'évaluation de l'individu.

- Des opérateurs permettant de diversifier la population au cours des générations et d'explorer l'espace d'état. L'opérateur de croisement recompose les gènes d'individus existant dans la population, l'opérateur de mutation a pour but de garantir l'exploration de l'espace d'états.
- Des paramètres de dimensionnement.

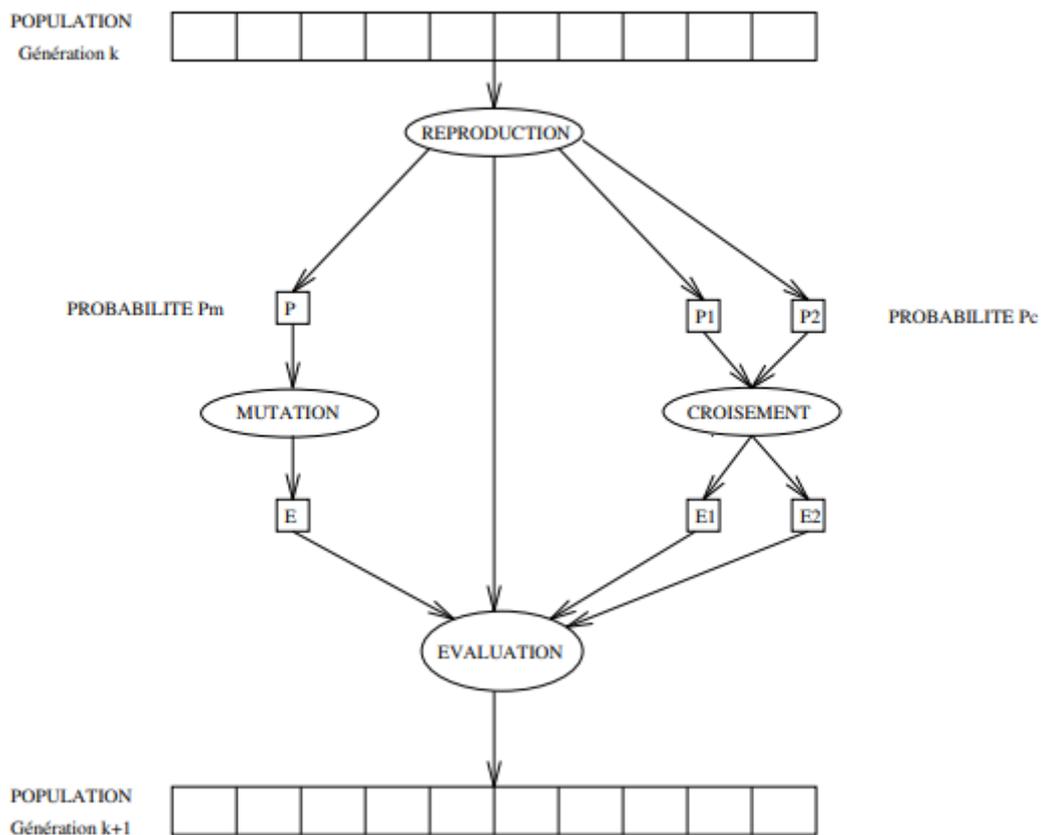


FIGURE 2.4 – Principe général des algorithmes génétiques

2.5.3 Réseaux de neurones

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Inspiré de fonctionnement de neurone biologique et mettent en œuvre l'apprentissage par l'expérience.

Un neurone est une fonction algébrique non linéaire bornée, dont la valeur dépend de coefficients ou poids. Les variables de la fonction sont appelées «les entrées» du neurone, et la valeur résultante de la fonction est appelée « la sortie».

Il est donc avant tout un opérateur mathématique dont la valeur numérique peut être calculée à l'aide de quelques lignes de logiciel sur la base des informations qu'il reçoit [46, 47].

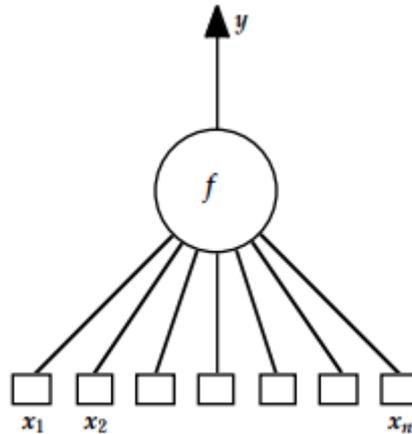


FIGURE 2.5 – Un neurone réalise une fonction non linéaire bornée.

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n; c_1, c_2, \dots, c_p)$ où les x_i sont les variables et les c_j sont des paramètres

2.5.4 Théories des jeux

La théorie des jeux est la discipline mathématique qui étudie les situations où le sort de chaque participant dépend des décisions qu'il prend et des décisions prises par d'autres participants. Pour un participant le choix "optimal" dépend généralement de ce que font les autres. Les participants à un jeu sont appelés joueurs (*players*) se trouvent en situation d'interaction stratégique car chacun n'est pas totalement maître de son sort [41].

Types de théorie des jeux

Il y a de nombreux types, mais les théories des jeux coopératifs et non coopératifs sont les plus courantes. La théorie des jeux coopératifs traite de la façon dont les coalitions, ou les groupes coopératifs, interagissent lorsque seuls les gains sont connus. C'est un jeu entre des coalitions de joueurs, et il questionne la façon dont les groupes se forment et comment ils répartissent les gains entre les joueurs.

La théorie des jeux non coopératifs traite de la manière dont les agents rationnels interagissent pour atteindre leurs propres objectifs [48].

Représentations des jeux

Il existe deux formes de représentation sont :

Forme extensive

Tout jeu sous forme extensive peut être représenté par un arbre (*graphe connexe sans cycle*). cette modélisation est un des moyens les plus simples de représenter un jeu. Il s'agit d'un modèle où les joueurs choisissent séquentiellement leurs actions, jusqu'au la fin du jeu [50].

Forme normale

Dans la représentation sous forme normale d'un jeu, chaque joueur choisit simultanément une stratégie, et la combinaison de stratégies choisies par les joueurs détermine un gain pour chaque joueur [49].

2.5.5 Théorie des files d'attente

Une file d'attente est un système stochastique composé d'un certain nombre de files d'attente, d'un ou plusieurs serveurs ou clients qui arrivent, attendent le service selon des règles de priorité, puis quittent le système. l'évolution rapide de la théorie des files d'attente permet l'évaluation des performances des système de transport[56]. Puisqu'un client occupe le serveur pendant un certain temps, les autres clients doivent attendre avant d'être servis, formant ainsi une file d'attente.

Spécification d'un système de files d'attente

Les notions de base suivantes [23] sont nécessaires pour aborder l'étude des files d'attente et déterminer le temps de réponse d'un système informatique.

a) Le taux d'arrivée moyen des clients (λ) : Cette notion peut se définir comme étant le nombre de clients arrivant en moyenne par unité de temps, c'est-à-dire $\lambda=1/E(t)$, où $E(t)$ est le temps entre les arrivées.

b) Le taux de service moyen (μ) : C'est le taux moyen auquel on peut servir les clients par unité de temps, $\mu = 1/E(s)$, où $E(s)$ est la durée moyenne du service exécuté par le serveur.

c) **La longueur moyenne de file d'attente (L_q)** : C'est le nombre moyen de clients dans la file lorsque le système est dans un état stationnaire.

d) **Le temps d'attente moyen (W)** : C'est le temps moyen qu'un client doit attendre avant d'être servi.

e) **Le débit du système (λ_T)** : C'est le débit moyen d'un système informatique mesuré en événements ou interactions par unité de temps.

f) **Le taux d'utilisation (ρ)** : C'est la probabilité qu'un serveur donné soit occupé.

g) **Loi de Little ("Little's law")** : La loi de Little permet de relier les indices de la performance d'un système. $L_q = \lambda W$.

File d'attente $M/M/1/K$

Pour un système de capacité K (taille maximale de la file de $K - 1$) avec $\rho = \frac{\lambda}{\mu} \neq 1$, on peut montrer que pour $n = 0, 1, \dots, K$:

- Si $\rho < 1$:

$$\pi_n = P(Y = n + 1 | Y \leq K + 1) = \frac{P(Y=n+1)}{P(Y \leq K+1)} = \frac{\rho^n(1-\rho)}{1-\rho^{K+1}}$$

avec $Y \sim Geom(1 - \rho)$

- Si $\rho > 1$:

$$\pi_n = P(Y = K - n + 1 | Y \leq K + 1) = \frac{P(Y=K-n+1)}{P(Y \leq K+1)} = \frac{\rho^n(1-\rho)}{1-\rho^{K+1}}$$

avec $Y \sim Geom(1 - 1/\rho)$

- L'équilibre est atteint pour tout ρ :

- Si $\rho \neq 1$, $\pi_n = \rho^n \frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}}$

- Si $\rho = 1$, on considère des états équiprobables : $\pi_n = \frac{1}{K+1}$

pour $n = 0, 1, \dots, K$.

- Le système est à pleine capacité avec probabilité π_K .

- Taux d'entrée : $\lambda_e = \lambda(1 - \pi_K)$.

2.5.6 Algorithme de dijkstra

L'algorithme de Dijkstra est un grand classique pour résoudre le problème du plus court chemin dans un graphe à partir une origine unique. Pour la correction de cet algorithme, le graphe doit être orienté pondéré par des nombre positifs ou nuls. De plus, celle-ci se prouve à l'aide d'un invariant de boucle qui n'a rien de trivial. L'algorithme de Dijkstra demande l'implémentation d'une file de priorité [42].

Pseudo code

```
Dijkstra (départ, arrivée) :  
départ.distance = 0  
Enfiler le nœud de départ  
  
Tant que la file à priorité n'est pas vide  
Défiler le nœud au début de la file  
  
Si c'est le nœud d'arrivée  
Retourner nœud.distance  
Marquer le nœud comme visité  
  
Pour chaque voisin du nœud  
Si le voisin n'est pas visité  
voisin.distance = nœud.distance + arc  
Enfiler le voisin [43].
```

2.5.7 Algorithme de Bellman Ford

L'algorithme de Bellman-Ford résout le problème du plus court chemin dans un graphe à partir une origine unique. Les poids des arcs peuvent avoir des valeurs négatives contrairement à l'algorithme de Dijkstra.

Étant donné un graphe orienté pondéré $G = (V, E)$, de fonction de poids w , et une origine s , l'algorithme retourne une valeur booléenne indiquant s'il existe un circuit de poids négatif accessible depuis s . S'il n'en existe pas, l'algorithme donne les plus courts chemins ainsi que leurs poids [44].

Pseudo code

Bellman-Ford :

plusCourtChemin[NB_ÉTAPE_MAX][NB_NŒUD_MAX] (*initialisé à INFINI*) plusCourtChemin[0][arrivée] = 0

Pour chaque étape

Pour chaque nœud

cheminMin = plusCourtChemin[étape - 1][nœud]

Pour chaque voisin du nœud

cheminVoisin = pondérationArc + plusCourtChemin[étape - 1][voisin]

cheminMin = min(*cheminMin*, *cheminVoisin*)

plusCourtChemin[étape][nœud] = cheminMin

Retourner plusCourtChemin[nbÉtapeMax - 1][départ] [45].

2.5.8 Algorithme de kruskal

L'algorithme de Kruskal est l'algorithme le plus simple à comprendre et à mettre en œuvre. Ce qui nous aide à la résolution du problème de congestion. Cet algorithme nécessite d'abord que les arêtes soient triées. Cette condition permet de simplifier le fonctionnement de l'algorithme. Il s'agit vraiment de placer les meilleures arêtes un par un, tant que cela ne crée pas de cycle. L'algorithme suivant représente les étapes nécessaires prises par l'algorithme de Kruskal[52].

Principe de l'algorithme

Le principe est on ne peut plus glouton : On part de $E = \emptyset$, tant que E n'est pas un arbre, s'il ne crée pas de cycles dans E , on ajoute à E l'arête la plus légère parmi les arêtes non traitées.

Au début, lorsque $E = \emptyset$, le sous-graphe en construction n'a pas d'arcs et a donc autant de composantes connexes que de sommets. Ensuite, lorsque l'on traite une arête $\{x,y\}$, on regarde si x et y ne sont pas déjà reliés, ie. si x et y ne sont pas dans la même composante connexe.

À cette fin, on va utiliser une structure de données abstraite pour représenter une partition d'un ensemble fini. Il s'agit de union-find et ses opérations sont :

- `créer_union_find` : crée la partition $\bigcup_{s \in S} \{\{s\}\}$:
- `find` : Trouve la composante de x
- `union` : fusionne les composantes de x et y .

Algorithme 1 : Algorithme de Kruskal

Entrées : Un graphe $G = (S, A)$ pondéré non orienté

Sorties : Un ACM (arbre couvrant minimal) de G

$CC := \text{créer_union_find}(S)$

$E := \emptyset$

$L := \text{tri}(A)$ par ordre croissant des poids.

pour $\{x, y\} \in L$ (dans l'ordre) **faire**

si $CC.\text{find}(x) \neq CC.\text{find}(y)$ **alors**
| $E := E \cup \{\{x, y\}\}$
| $CC.\text{union}(x, y)$

retourner E

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé l'utilité de la gestion intelligente des intersection urbaines, le contrôle intelligent des intersections urbaines, les systèmes existents de gestion des intersections urbaines, les théoriques utilisé dans la gestion des intersections urbaines.

Etat de l'art sur la gestion intelligente des intersections urbaines

3.1 Introduction

Avec le développement des technologies IoT, tous les objets peuvent être connectés et deviennent plus intelligents. Le transport intelligent a connu plusieurs problèmes surtout au niveau des intersections. À cet égard, nous sommes en mesure d'améliorer la fluidité du trafic dans le réseau mondial de transport, en particulier dans les zones urbaines et grâce à l'importance de ce secteur dans notre vie quotidienne, la recherche des solutions à ses problèmes est apparue depuis des dizaines d'années, en utilisant plusieurs algorithmes. Jusqu'à ce jour la recherche à des nouvelles approches et solutions reste toujours le centre d'intérêts de plusieurs chercheurs et informaticiens.

Ce chapitre est consacré pour état de l'art, d'abord nous allons présenter plusieurs approches qui ont résolu quelque problème de trafic routier, nous allons analyser, critiquer et comparer les approche dans les sections : travaux et connexes, critique et comparaison.

3.2 Travaux connexes

Dans le domaine du transport il y a plusieurs problèmes et plusieurs solutions pour chaque un d'eux, surtout au niveau de la gestion intelligente. Pour approfondir nos connaissances, nous allons analyser quelques approches qu'ont résolues des défèrent problèmes de la gestion du trafic routier. Les approches étudiées sont les suivantes :

3.2.1 Approche 1 : le contrôle intelligent des feux de circulation aux intersections

Khac-Hoai Nam Bui et al [51], ont introduit une nouvelle approche pour le contrôle intelligent des feux de circulation aux intersections. En particulier, ils ont proposé tout d'abord un système d'intersection connecté où tous les objets tels que les véhicules, les capteurs et les feux de circulation seront connectés et partageront des informations entre eux. De cette façon, le contrôleur est capable de collecter efficacement et en temps réel le flux de trafic à l'intersection. Deuxièmement, ils ont proposé les algorithmes d'optimisation des feux de circulation en appliquant la théorie algorithmique des jeux. En particulier, 2 modèles de jeu sont proposés pour traiter les différents scénarios de flux de trafic. À cet égard, en fonction de la densité des véhicules, le contrôleur prendra des décisions en temps réel pour les durées des feux de circulation afin d'optimiser la circulation. Pour évaluer cette approche, un simulateur de modélisation à base d'agents pour concevoir et mettre en œuvre un trafic de travail simple est utilisé. Les résultats de la simulation montrent que cette approche atteint des performances potentielles avec diverses situations de flux de trafic.

3.2.2 Approche 2 : contrôle intelligent des feux de circulation au niveau des ronds-point

Roxanne Hawi et al [52], ont proposé une nouvelle approche pour le contrôle intelligent du trafic utilisant la logique floue et des réseaux de capteurs sans fil (WSN). L'objectif est de trouver une solution durable au problème de congestion du trafic rencontré dans la plupart des villes urbaines. Conçu pour un rond-point isolé à quatre voies. Un feu de signalisation intelligent (STL) intègre un WSN pour collecter les données de trafic en temps réel. Ces données sont agrégées puis introduites dans un moteur de contrôleur

à logique floue (FLC) sous la forme de deux entrées : la quantité de trafic et le temps d'attente pour chaque voie. Sur la base des entrées, le FLC calcule ensuite un degré de priorité de sortie (PD) qui détermine l'ordre d'attribution du feu vert. En utilisant le PD, un algorithme intelligent attribue ensuite un feu vert à la voie avec la valeur PD la plus élevée. Le cycle continue jusqu'à ce que toutes les voies obtiennent le feu vert. Pour analyser les performances du STL, ils ont conçu un logiciel de simulation utilisant java pour représenter virtuellement les fonctions du WSN et du FLC. Les résultats des simulations indiquent que le système peut gérer efficacement le trafic à un rond-point.

3.2.3 Approche 3 : l'optimisation des flux de trafic pour plusieurs intersections

Khac-Hoai Nam Bui et Jason J. Jung [54], ont proposé une approche de théorie des jeux coopératifs entre agents pour améliorer le flux de trafic avec un grand réseau, ils ont concentré sur l'optimisation de la circulation à plusieurs intersection. Ainsi, un algorithme distribué de fusion et de division pour la formation de coalitions est présenté. Cet algorithme est appliqué pour découvrir comment intégrer la coopération entre les agents pour contrôler dynamiquement les feux de circulation aux intersections. De plus, ils ont construit un cadre de simulation avec trois intersections. Pour l'expérimentation, ils ont essayé de faire varier différents débits volumétriques de circulation pour montrer l'efficacité de cette approche en termes de temps d'attente des véhicules et de nombre de véhicules passant les intersections en un certain temps. Par la suite, deux paramètres de mesure qu'ils ont prennent en compte dans cette simulation volume de trafic uniforme et volume de trafic non uniforme. Le système proposé peut améliorer efficacement le flux de trafic à la fois uniforme et non uniforme. En particulier, en coordonnant entre les contrôleurs, le temps d'attente des véhicules aux intersections peut être réduit de 15 % à 25 % par rapport aux méthodes précédentes.

3.2.4 Approche 4 : planification de chemin en temps réel

Younes Regragui et Najem Moussa [55], ont proposé une approche de planification de chemin en temps réel qui utilise des informations en temps réel sur les conditions de circulation pour fournir les plus courts chemins en utilisant l'algorithme de Bellman-

Ford avec un temps de trajet minimum sur un graphique pondéré qui est extrait d'une carte réelle. Cette application utilise des réseaux ad hoc pour véhicules pour permettre des communications en temps réel entre les véhicules, les unités routières et un serveur central. Chaque véhicule peut demander un plus court chemin en envoyant un simple paquet de demande au serveur et attend une réponse. Le framework Veins qui est capable d'exécuter OMNET++ et SUMO en parallèle est utilisé pour l'implémentation et la simulation. Les résultats de la simulation montrent que cette approche de planification est efficace pour fournir des itinéraires fiables sous différentes densités de voitures. En l'absence d'une stratégie de planification de parcours, le temps de trajet augmente fortement par rapport à celui illustré par cette stratégie. De plus, ils ont constaté que le nombre de véhicules a un impact sur l'accessibilité et le délai de bout en bout pour les requêtes et les paquets de réponse.

3.2.5 Approche 5 : gestion du trafic pour les véhicules d'urgence dans une ville intelligente

L. Sumia et V. Ranga [59], ont proposé un nouveau système intelligent de gestion du trafic pour une ville intelligente après avoir examiné les lacunes de la recherche qui doivent encore être explorées dans le scénario actuel. Leur solution proposée, non seulement navigue dans les ambulances pour trouver les plus courts chemins possibles jusqu'à leur destination, mais présente également une contre-mesure pour se débarrasser du problème du système de feux de circulation lorsqu'il est piraté pendant son fonctionnement. Pour montrer les avantages de cette solution proposée par rapport aux solutions déjà proposées, un environnement simulé (simulateur CupCarbon) est utilisé pour modéliser divers scénarios qui montrent les routes et les mouvements réels des véhicules dans la mise en œuvre. Les résultats expérimentaux montrent que ce système a surpassé les autres en termes de contraintes de temps, atteignant ainsi l'objectif de permettre aux services d'urgence d'être rencontrés dans les plus brefs délais. Le système proposé élimine le retard de l'assistance médicale aux victimes d'accidents, du transport des patients critiques et des médicaments.

3.2.6 Approche 6 : optimisation des feux de circulation intelligents pour éviter la congestion

Dian Hartanti et al [60], ont développé la conception de contrôle des feux de circulation qui est plus optimale et dynamique en utilisant la méthode logique floue mamdani qui prend des décisions en plusieurs étapes, les critères utilisés sont le nombre de véhicules, la longueur de la file d'attente et la largeur de la route pour pouvoir optimiser les réglages de temps en fonction des conditions en temps réel requises pour que le vert indésirable les signaux (quand il n'y a pas de file d'attente) peuvent être évités. Le but de cette recherche est de créer un simulateur pour optimiser la gestion du temps de circulation, afin que les chronomètres sur chaque voie aient l'intelligence de prédire le bon moment, afin que la congestion à l'intersection puisse être réduite en ajoutant jusqu'à 15 secondes de feu vert par rapport au temps précédente sur le chemin de nombreux véhicules.

3.2.7 Approche 7 : gestion des feux de circulation en temps réel basés sur des données de voiture flottantes

Vittorio Astarita et al [61], ont mis en œuvre un algorithme de contrôle de signal adaptatif basé sur FCD (Floating Car Data) et sur la théorie des jeux. Dans le détail, le point d'équilibre de la négociation de Nash est considéré comme une destination souhaitée pour le système dans lequel chaque phase est considérée comme un acteur différent. L'algorithme proposé a été appliqué à deux scénarios différents sur des feux de circulation existant réellement en milieu urbain. Les scénarios logiciels ont été reproduits dans un environnement virtuel à l'aide du TRITONE. Pour les deux scénarios, le cycle du signal de trafic statique sur le terrain réel a été utilisé comme mesure de performance avec le cycle optimal calculé selon le HCM. Un laboratoire spécialisé de micro simulation a été mis en place pour valider l'algorithme et les résultats montrent un grand potentiel dans la réglementation adaptative des feux de circulation.

3.2.8 Approche 8 : optimisation automatisée des intersections

Luis Cruz-Piris et al [62], ont décrit un système automatisé d'optimisation du trafic intersections qui est capable de modéliser, de générer des chemins avec un degré d'interférence inférieur entre eux et d'optimiser les schémas d'arrivée des véhicules à une intersection, automatiquement pour maximiser leurs performances. Le problème de conflits a été résolu en proposant trois mécanismes pour modéliser tout type d'intersection, pour calculer les routes avec moins de points de conflit entre leurs entrées et sorties, et pour optimiser le taux d'arrivée des véhicules à l'aide d'un algorithme génétique pour atteindre les performances maximales de l'intersection. SUMO simulateur est utilisé pour valider cette solution. Les résultats obtenus ont été comparés à d'autres solutions traditionnelles (priorité et feux tricolores) à l'aide de simulations de trafic microscopiques, et à ceux obtenus dans d'autres études montrant les avantages du système proposé. Le système proposé atteint une amélioration de débit entre 9,21% et 36,98% par rapport aux solutions traditionnelles.

3.2.9 Approche 9 : la gestion des ronds-points

Sidina Boudaakat et al [63], ont proposé un système intelligent qui fournit une méthode pour contrôler le modèle de congestion du trafic à un rond-point en construisant un algorithme contrôlant les feux de circulation avant l'apparition de la congestion. Dont chaque rond-point peut accueillir un nombre maximum de véhicules (la densité est calculée par l'équation fondamentale de la statique des fluides pour les fluides incompressibles). Cette proposition est basée sur la simulation SUMO comme solution. Le concept consiste à collecter des données de trafic à partir des sources d'entrée et de sortie d'un rond-point spécifique, à quatre bras, où chaque bras contient deux voies pour éviter les embouteillages. Ils ont comparé les résultats de ces trois types de scénarios d'intersections : un carrefour giratoire avec algorithme proposé, un carrefour giratoire sans signalisation et une intersection avec signalisation. Ces intersections ont les mêmes conditions géométriques, notamment le nombre de bras et le nombre de voies dans chaque bras. Enfin, l'approche proposée donne de bons résultats pour minimiser à la fois la perte de temps et le temps d'attente pour les véhicules qui réduisent la congestion du trafic.

3.2.10 Approche 10 : le contrôle du flux de trafic pour un carrefour isolé

S.Mohanaselvi et B.Shanpriya [64], ont visé à développer un contrôleur de feux de circulation intelligent utilisant la technique de logique floue qui peut être utilisé pour gérer les données de trafic linguistiques et imprévisibles afin de contrôler les synchronisations des signaux et a illustré une procédure de contrôle utilisant des règles si-alors. Le contrôle du flux de trafic pour un carrefour isolé à quatre voies à l'aide de la technique de logique floue est discuté par la présentation des hypothèses et des contraintes du contrôleur de trafic isolé à ce type de carrefour. Les entrées floues sont : le nombre de véhicules arrivant au carrefour ou nombre de véhicules passant au feu vert (AV Arrivée Véhicule), le nombre de véhicules en file d'attente au carrefour ou nombre de véhicules en attente au feu rouge (QV-Queuing Vehicle), la variation météorologique (F-Humidité ou Brouillard). La durée du feu vert (The green light duration GD) est la variable de sortie qui fournira le temps d'extension requis pour le feu vert du côté arrivée. Différentes bases de règles floues ont été définies pour le traitement des feux de circulation et une simulation de règles floues à l'aide de matlab est implémentée et les résultats sont présentés.

3.2.11 Approche 11 : prédiction du flux de trafic à court terme

Abolghasem Sadeghi-Niaraki et al [65], ont proposé un modèle de prédiction de flux de trafic à court terme basé sur le modèle de réseau neuronal récurrent Elman modifié (GA-MENN) pour traiter ce problème pratique. Dans GA-MENN, l'algorithme du réseau neuronal récurrent d'Elman est modifié, optimisé grâce à l'algorithme génétique (GA) et prend en compte les conditions météorologiques, le jour de la semaine, l'heure et la classification du jour pour prévoir la vitesse du véhicule dans les rues et les autoroutes de Téhéran. La méthode améliore la précision de la prédiction et réduit également le taux d'erreur de prédiction, selon les résultats expérimentaux. Les résultats exploratoires vérifient les performances supérieures du modèle de prédiction des conditions de circulation proposé par rapport à des techniques classiques d'apprentissage automatique paramétriques et non paramétriques à la fois. Ce modèle atteint le taux d'erreur le plus bas sur la base de trois critères d'évaluation. La précision de la prédiction est améliorée jusqu'à 12,3% par rapport au meilleur modèle d'entre eux (filtre de Kalman) avec les mêmes hy-

per paramètres. La comparaison des résultats a montré une amélioration de l'algorithme GA-MENN dans la prédiction du trafic par rapport à l'algorithme ENN, d'environ 16,7% en moyenne dans la précision de la prédiction.

3.2.12 Approche 12 : répartition du trafic en temps réel

Jianchun Jiang et al [66], ont amélioré un algorithme de la théorie des jeux, les feux de signalisation aux intersections peuvent être contrôlés grâce à l'utilisation faisable de l'algorithme. Il présente certains avantages tels que des performances en temps réel et une efficacité de trafic élevée. L'idée principale de cet algorithme est basée sur l'algorithme mutuellement exclusif de la théorie des jeux, et calcule le niveau de priorité en obtenant le nombre de véhicules sur la voie pour réaliser la sélection de phase. Les résultats expérimentaux montrent que le temps d'attente des véhicules est relativement court même aux heures de pointe. Les embouteillages sont considérablement réduits et, dans une certaine mesure, le feu vert d'une certaine phase est autorisé par la taille de la priorité, de sorte que les véhicules dans les autres directions n'attendent pas trop longtemps. Par rapport à un algorithme donné, il présente également certains avantages. Par comparaison expérimentale, l'algorithme réduit le séjour du véhicule de 3,4% et le temps d'attente de 4,4% par rapport à l'algorithme flou du mécanisme d'interrogation.

3.2.13 Approche 13 : l'IoT dans la gestion des feux de circulation

R.K. Yadav et al [67], ont proposé Un concept de système de gestion des feux de circulation à l'aide des algorithmes génétiques et de l'internet des objets, afin de réduire le temps d'attente moyen des véhicules aux feux de circulation. Plusieurs scénarios avec une densité de trafic variable sont simulés et un réseau de neurones pour attribuer le temps de feu vert à chaque route est formé par neuroévolution à l'aide d'algorithmes génétiques et d'algorithmes génétiques auto-adaptatifs pour minimiser le temps d'apprentissage, augmenter la précision et une meilleure généralisation. Les longueurs de file d'attente sont considérées comme leurs entrées et ils ont supposé que prendre des instantanés de chaque route uniquement au moment des commutateurs de feu vert est suffisant, réduisant ainsi la charge du réseau.

Après avoir entraîné cela pendant plusieurs générations, leur modèle réduit le temps d'attente moyen par véhicule à environ les deux tiers du temps d'attente observé pour les modèles statiques d'attribution de temps traditionnellement utilisés.

3.2.14 Approche 14 : La gestion de longueur maximal pour les véhicules

Soumia TABIT et Aziz ZOULHI [68], ont établi un système intelligent de gestion du trafic basé sur la théorie de la logique floue permettant d'organiser le trafic des véhicules sur les réseaux routiers afin de réduire le nombre d'accidents et l'impact de la congestion. Ce système pilote des panneaux de gestion du trafic à messages variables qui seront installés le long de toutes les routes dont le rôle est d'indiquer la longueur à ne pas dépasser pour les véhicules. Ainsi, et cette valeur sera diffusée par le service d'information trafic soit sur les quais ou sur les sites de contrôle du trafic pour avertir les utilisateurs d'une éventuelle modification de leurs itinéraires si nécessaire. La valeur affichée de la longueur des véhicules dépend de plusieurs paramètres qui vont alimenter le système, à savoir : l'heure, la dimension de la route et son degré d'importance, ces paramètres sont les variables d'entrée de leur système intelligent de gestion du trafic. Le résultat un système qui apportera un gain de temps et d'argent, ainsi qu'une préservation de l'environnement en minimisant la pollution.

3.3 Comparaison entre les approches

Le tableau suivant est consisté à comparer les différentes approches vu précédemment, selon les critères suivants : référence, solution proposée, stratégie, modèle de communication, métriques de sélection, et scénario /outils de simulation.

Référence	solution proposée	stratégie	Modèle de communication	métriques de sélection	scénario / outils de simulation
Khac-Hoai Nam Bui et al (2017) [51]	Le contrôle intelligent des feux de circulation aux intersections	La théorie des jeux	V2I/I2I	La densité des véhicules, temps d'attente moyen	Urbain (Netlogo)
Roxanne Hawi et al (2017) [53]	Contrôle intelligent des feux de circulation au niveau des ronds-points	La logique floue	V2I/I2I	La quantité de trafic, le temps d'attente du feu vert, degré de priorité	Urbain (Java)
Khac-Hoai Nam Bui et Jason J. Jung (2017) [54]	L'optimisation des flux de trafic pour plusieurs intersections	La théorie des jeux	V2I/I2I	Temps d'attente des véhicules, nombre de véhicules passant les intersections	Urbain (Netlogo)
Younes Regragui et Najem Moussa (2018) [55]	Planification de chemin en temps réel	Bellman-Ford	V2V/V2I	Temps de trajet moyen, délai moyen de bout en bout	Autoroute et urbain (VEINS)
L. Sumia et V. Ranga (2018) [59]	Gestion du trafic pour les véhicules d'urgence dans une ville intelligente	Sécurité des feux	V2V/V2I	Position, destination	Urbain (CupCarbon)

Dian Hartanti et al (2019) [60]	Optimisation des feux de circulation intelligents pour éviter la congestion	La logique floue	V2I/I2I	Le nombre de véhicules, la longueur de la file d'attente et la largeur de la route	Urban
Vittorio Astarita et al (2019) [61]	Gestion des feux de circulation en temps réel basés sur des données de voiture flottantes	La théorie des jeux	V2V/ V2I/ I2V	Nombre de véhicules, position et destination	Urbain (TRITONE)
Luis Cruz-Piris et al (2019) [62]	Optimisation automatisée des intersections	Algorithme génétique	V2I/ I2I	Densité, le nombre de véhicules arrivant à destination	Urbain (SUMO)
Sidina Boudaakat et al (2019) [63]	La gestion des ronds-points	Statique des fluides	V2I/ I2I	La densité, nombre maximum des véhicules de chaque rond-point	Urbain et autoroute (SUMO)
S.Mohanaselvi et B.Shanpriya (2019) [64]	Le contrôle du flux de trafic pour un carrefour	La logique floue	V2I/ I2I	Le nombre de véhicules arrivant, le nombre de véhicules en file d'attente et la variation météorologique	Urbain (matlab)
Abolghasem Sadeghi-Niaraki et al (2020) [65]	Prédiction du flux de trafic à court terme	Algorithme génétique et réseaux de neurones	I2I	Les conditions météorologiques, le jour de la semaine, l'heure et la classification du jour	Autoroute et urbain

Jianchun Jiang et al (2020) [66]	Répartition du trafic en temps réel	La théorie des jeux	I2I/ V2I	Le nombre de véhicules sur la voie, temps d'attente	Urbain
R.K. Yadav et al (2020) [67]	L'IoT dans la gestion des feux de circulation	Les réseaux de neurones	I2I/ V2I	La densité, le temps de feu vert, la longueur de file d'attente	Urbain (SUMO)
Soumia TABIT et Aziz ZOULHI (2021) [68]	La gestion de longueur maximal pour les véhicules	La logique floue	I2I	L'heure, la dimension de la route et le type de la route	Autoroute et urbain (Matlab)

TABLE 3.1 – Tableau de comparaison

3.4 Critique des travaux antérieur

Après avoir regardé les résultats obtenus, nous avons constaté qu'il apportait des solutions efficaces à de nombreux problèmes, parmi lesquels nous mentionnons que les tests montrent l'efficacité des approches présentées qui permettent de réduire la congestion qui repose sur la fluidité du trafic en temps réel dans les intersections.

Les auteurs des approches [50], [59], [60], [61], [63] et [65] ont trouvé des solutions qui ne sont pas finale et n'élimine pas tous les problèmes du trafic en même temps, le problème de la congestion au niveau des intersections est le point le plus important qu'en cherchant à résoudre, et de même au niveau des ronds-points ([52] et [62]).

Malgré l'efficacité des algorithmes mais de nombreuses limites doivent être abordées avant que la méthodologie puisse être appliquée sur le terrain dans la réglementation adaptative des feux de circulation. Les approches proposées n'inclut pas la synchronisation des feux de circulation entre plusieurs intersections (ou bien ronds-points), tous les scénarios ont une seule intersection (sauf celle de [53] utilise un scénario de quatre intersections), à cet égard il est recommandé de mettre en œuvre des scénarios multi intersection. Toutes les approches n'ont pas résolu le problème d'avoir des piétons ou d'avoir

un passage piéton, malgré c'est une partie très importante du trafic routier surtout dans les zones urbaines.

La solution des véhicules prioritaires qu'est proposé par les auteurs de [58], ne prennent en compte que les véhicules qui sont de même niveau d'urgence, pour mettre en œuvre dans un cas réel, différents niveaux de véhicules d'urgence avec différentes situations doivent être pris en compte.

Le plus court chemin est résolu par les auteurs de [54], pourraient inclure un scénario de simulation avec un schéma de dissimulation de diffusion fiable et d'autres améliorations.

Les auteurs de [59] et [61], ont proposé des solutions efficaces du problème de la congestion par renforcement et non en temps réel. Mais les devraient répondre au besoin d'architectures plus avancées pour la prédiction du flux de trafic à court terme. Les données collectées sont un peu faibles, il est mieux de dépenser plus pour acheter des données plus complètes pour plus de précision.

La gestion de longueur maximale des véhicules, qu'est proposé par les auteurs de [67], est efficace et utile mais elle nécessite des améliorations comme dans le mode de diffusion des avertissements. La longueur à ne pas dépasser pour les véhicules est diffusée par le service d'information trafic soit sur les quais ou sur les sites de contrôle du trafic pour avertir les utilisateurs, il est mieux d'avertir les utilisateurs directement par des communications I2V. Les trois paramètres qui alimentent le système ne sont pas suffisants, il faut ajouter plus de paramètres pour avoir un système plus précis.

Tous auteurs ont testé la validation de leurs modèles par des simulateurs et non par des études expérimentales, il est nécessaire d'avoir des tests réels pour définir la performance exact des méthodes, ou bien pour éviter les dégâts il est mieux d'utiliser des environnements parfaitement de test.

3.5 Conclusion

Le transport intelligent est un domaine très important qui a reconnu plusieurs problèmes, mais aussi il a connu plusieurs améliorations et solutions surtout dans le côté de la gestion.

Dans ce chapitre, nous avons analysé, critiqué et comparé par un tableau plusieurs travaux qui ont résolu quelques problèmes du transport intelligent. Nous avons abordé : travaux connexes, critique, comparaison et proposition (algorithme de Kruskal et la théorie des files d'attente).

Kruskal_Queues pour la gestion intelligente des intersections urbaines

4.1 Introduction

Les systèmes de transport d'aujourd'hui jouent un rôle central dans le développement. Chaque jour, des millions de véhicules transportent des personnes et des marchandises sur les réseaux routiers. Il est devenu nécessaire de gérer ce réseau. Le phénomène de congestion routière en particulier depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle a causé un grand problème, notamment la demande de transport et l'augmentation rapide des véhicules. En fait, ce problème est difficile pour la société, en raison des coûts qu'il engendre.

Le problème de la congestion est lié d'une façon très forte avec les intersections urbaines, à cause de leur mauvaise gestion en utilisant les lois de changement des feux de circulation selon la méthode traditionnelle qui changent à chaque période de temps peuvent également causer d'autres problèmes, tels que la perte de temps, surtout pendant les heures de pointe, qui connaissent de graves embouteillages, en particulier aux intersections.

Ce chapitre couvre la partie conception, où nous présenterons notre solution proposée qu'est d'utiliser l'algorithme de kruskal et la théorie des file d'attente et l'expliquerons en détail. Nous allons illustrer les titres suivants : la modélisation de la solution, la politique de gestion, et le déroulement de l'approche proposée.

4.2 Modélisation de la solution

Le réseau routier est conçu pour permettre aux usagers de se déplacer d'un point à un autre. Nous menons une étude à une intersection urbaine.

Notre proposition est de contrôler intelligemment les feux de circulation basés sur la communication véhicule-infrastructure (*V2I*) et la communication infrastructure-infrastructure (*I2I*), réduisant ainsi le temps d'attente des véhicules et évitant la congestion permanente aux intersections urbaines. Considérez le facteur le plus important.

L'algorithme qui gère intelligemment les intersections urbaines en plaçant un module de contrôle spécifique à chaque intersection pourra mieux contrôler les feux de circulation.

L'infrastructure est équipée d'un système de communication sans fil qui permet au contrôleur de recevoir des informations provenant de capteurs (ultrasons, etc.) situés au bout du tronçon.

A partir de ces informations, les capteurs situés à côté du boîtier de contrôle des intersections doivent compter le nombre de véhicules traversant chaque intersection, et doivent également communiquer ultérieurement (entre intersections). Afin d'améliorer la circulation et d'allumer les feux de circulation, les facteurs les plus importants sont pris en compte.

4.2.1 Architecture de réseau routier proposé

Nous considérons le modèle de réseau routier montré dans la figure ci-dessous (Figure 4.1). Chaque route est à double face. Parce qu'il contient des intersections composées de directions différentes (*deux intersections sont importantes, la première est nommée A et la seconde est B*). Chaque direction contient deux voies. Les véhicules qui tournent à gauche utilisent la voie la plus à gauche, et l'autre voie est utilisée par les véhicules allant tout droit ou à droite. Chaque intersection a un contrôleur qui est utilisé pour définir et appliquer une séquence lumineuse appelée cycle, un feu de circulation qui contrôle la circulation des véhicules et un capteur pour chaque direction et à côté de chaque feu pour calculer le nombre de passages de véhicules dans chaque cycle de feu vert (*lorsque la*

véhicule entre dans une nouvelle direction, le capteur incrémente le nombre de véhicules, et lorsque ce dernier sort, il doit décrémenter).

Dans notre scénario, chaque début d'un cycle, le feu vert est donné pour les tronçons les plus encombrés, afin d'effectuer un calcul de taux d'encombrement des tronçons de chaque intersection par les contrôleurs, et chaque fois que la véhicule au point D veut se déplacer vers un certain point, le contrôleur au point A est tenu de lui indiquer l'itinéraire qu'il parcourt dès que possible. Ensuite, le contrôleur (*infrastructure*) du point A communique avec les autres contrôleurs (C , E et B) et lui demande de fournir des informations sur le nombre de véhicules sur les tronçons et le pourcentage de congestion. Lorsque le conducteur veut se rendre d'un point A à un point E , il aura besoin de cette information pour calculer le temps nécessaire à ce dernier pour parcourir cette distance. il demandera des informations pertinentes des tronçons de tous les chemins possible AE AB , tronçon AC , tronçon CB et tronçon BE pour calculer le temps nécessaire pour qu'elles franchissent la distance. Un tri des durées par ordre croissant est appliqué sur tous les chemin de A à E :

chemin 1 : A et E .

chemin 2 : A, B et E .

chemin 3 : A, C, B et E .

Il partira de la route d'une durée de voyage plus courte.

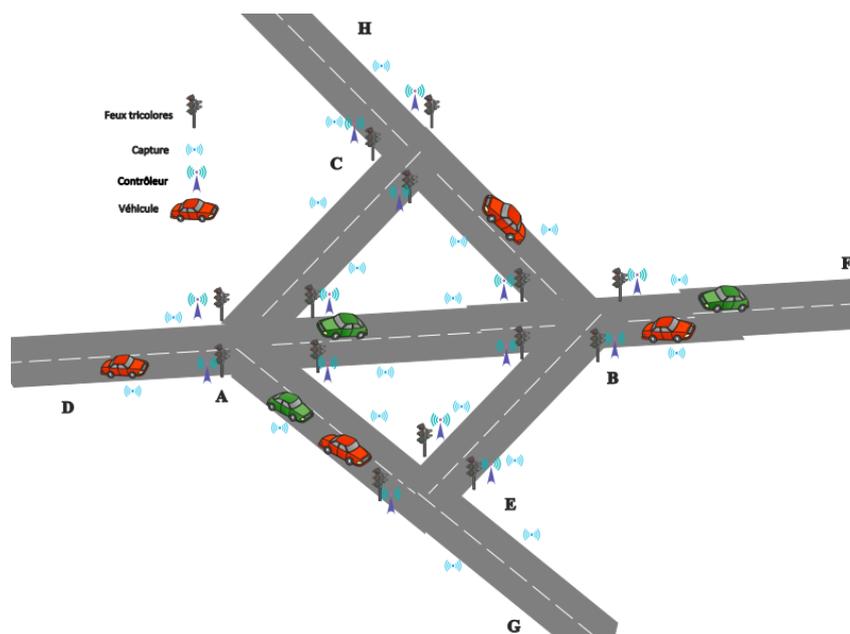


FIGURE 4.1 – L'architecture proposée.

4.2.2 Communication

Notre solutions est basé sur deux types de communication sont :

a) Communication véhicule-infrastructure ($V2I$)

La communication véhicule-infrastructure ($V2I$) est l'échange de données sans fil entre les véhicules et l'infrastructure routière, comme le montre la figure ci-dessous (figure 4.2).

Les capteurs $V2I$ peuvent traiter les données d'infrastructure et fournir sans fil des informations aux véhicules en temps réel dans les conditions de la route, les embouteillages, les accidents, etc.

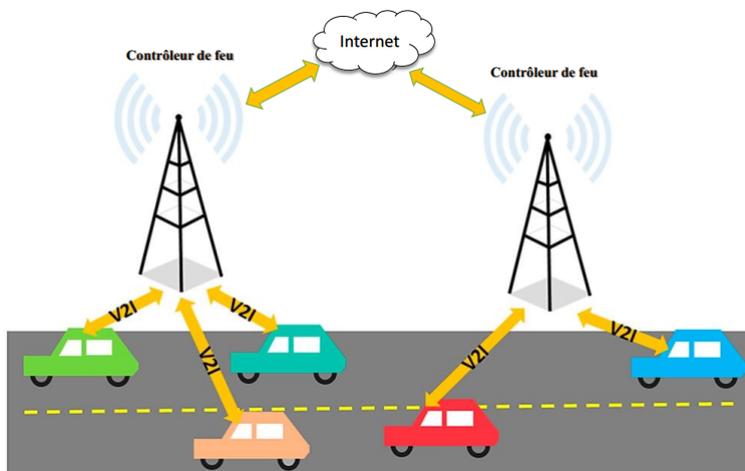


FIGURE 4.2 – Communication $V2I$.

Dans notre cas, une véhicule au point D envoie un message au contrôleur (infrastructure) au point A , par exemple : « Je suis le véhicule de l'id xx , je veux aller au point E donne-moi le chemin qui d'une durée de voyage plus courte pour le suivre!! ».

b) Communication infrastructure -infrastructure (*I2I*)

Permet de la communication entre les capteurs de chaque tronçon et les contrôleurs pour calculer le taux d'encombrement.

Autoriser la communication entre les contrôleurs de la même intersection pour définir la couleur de chaque feu de signalisation. Ainsi entre deux intersections en envoyant des messages grâce au réseau wifi entre les contrôleurs, ils s'y rendent pour vérifier l'état de route qui relié les deux intersections et laissez passer les véhicules.

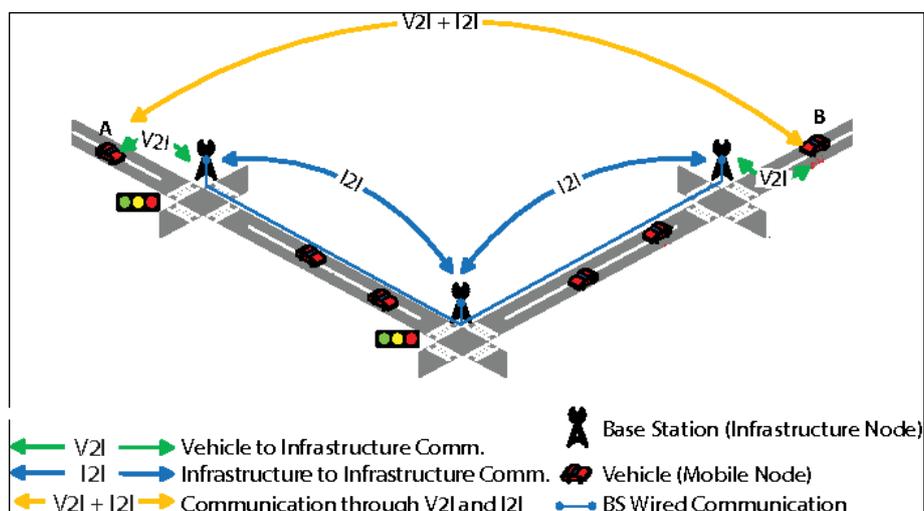


FIGURE 4.3 – Communication *I2I*.

4.3 Politique de gestion

Dans notre cas, il y'a plusieurs politiques de gestion sont :

4.3.1 La gestion classique

Dans ce système classique, le véhicule roule selon le système des feux de circulation classique (statique).

Nous appliquons les trois formules suivantes pour calculer le temps mis d'un point à un autre.

$$\text{Durée} = \text{Distance}/\text{VitesseMax}$$

$$\text{Durée}_{\text{Taux d'encombrement}} = (\text{Distance}/\text{Vitesse}) * \text{Taux} + \alpha$$

$$\text{Temps d'attente} = \text{Durée}_{\text{Taux d'encombrement}} - \text{Durée}$$

Le Taux d'encombrement augmente avec la diminution de la vitesse.

Variables	Description
Dis (km)	La distance entre deux points en kilomètre.
V (km/h)	La vitesse pour chaque tronçon en kilomètre par heure.
T (min)	Le temps (Dis / Vit) en minute.
Ca	Capacité du tronçon.
NbrV	Nombre des véhicules dans le tronçon.
Taux d'encombrement	NbrV / Ca.
α	La durée du feu rouge (43 secondes)
Durée	T.

TABLE 4.1 – Tableau de notations de la gestion classique

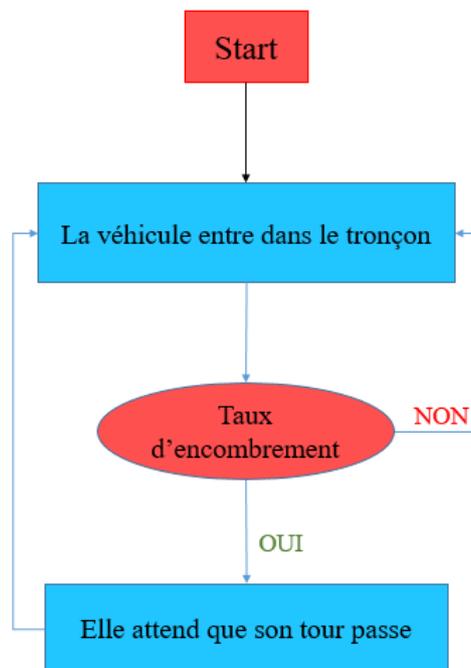


FIGURE 4.4 – L'organigramme de fonctionnement de la gestion classique.

4.3.2 L'algorithme de kruskal pour la gestion intelligente des intersections urbaines

L'algorithme de Kruskal est l'un des meilleurs algorithmes pour calculer le chemin le plus court dans un graphe où les poids sont positifs

Dans notre cas, nous appliquons l'algorithme en termes de vitesse et de distance maximales, un taux de congestion (qui s'obtient en divisant le nombre de véhicules par la capacité du segment routier, c'est donc le nombre moyen de véhicules), et ajoutons le temps de feu rouge.

Vocabulaire des graphes	Vocabulaire routier
Graphe (pondéré)	Réseau routier.
Sommet	Intersection de routes.
Arête	Route.
Arc	tronçon.
Poids	$durée = (Distance / VitesseMax) * Taux\ d'encombrement + \alpha$.

TABLE 4.2 – Tableau des vocabulaires

On va donc deux ensembles :

- L'ensemble trier par ordre croissant des tronçons (le tri des durées de chaque tronçon).
- E, l'ensemble qui contient les tronçons qui donner le chemin le plus court.

Le principe de cet algorithme est de calculer le chemin qui d'un durée court. En changeant le poids des arêtes de l'algorithme origine à :

$$Durée = (Distance / VitesseMax) * Taux\ d'encombrement + \alpha.$$

(plus la valeur de durée de source à destination est petite, plus le chemin est le meilleure), et aussi d'ajouter dans l'algorithme un point destination (l'algorithme s'arrête dès que le pont destination est trouvé). Avec cette optimisation on va trouver le meilleure chemin de point D vers le point d'arrivé souhaité.

On commence par trier l'ensemble(L) des tronçons par ordre de durée croissant. On va sélectionner de proche en proche les tronçons devant faire partie de l'arbre couvrant minimal. Au début cet ensemble est vide($E=\emptyset$). On considère ensuite chacune des routes du réseau routier selon l'ordre que l'on vient d'établir (*de la route de plus faible durée jusqu'à la route de plus fort durée*). A chaque fois, si la route que l'on est en train de considérer peut être ajoutée à l'ensemble des routes(E) déjà sélectionnées pour l'arbre couvrant minimal sans générer un cycle, alors on la sélectionne, sinon on l'abandonne. Sans oublier que l'algorithme part du point source et s'arrête dès que le point destination est trouvé.

4.3.3 La théorie des file d'attente pour la gestion intelligente des intersections urbaines

La théorie des files d'attente est parmi les principales théories considérées dans le domaine du transport intelligent. Dans le cas des intersections, une file d'attente est vraiment utile, on peut la créer automatiquement lorsque les véhicules (clients) souhaitent obtenir un feu vert (serveur). En particulier, il est facile avec cette théorie de calculer des valeurs telles que le nombre moyen de véhicules en attente, en service, le temps d'attente moyen ou même dans le système.

— Dans notre cas : serveur = contrôleur, client = véhicule.

Nous avons choisi d'utiliser le modèle M/M/1/K car dans ce modèle la file d'attente peut s'étendre à nombre fini(K) de client.

Vocabulaire des file	Vocabulaire routier
La file d'attente	Tronçon(Route).
K	Capacité de tronçon(nombre maximal des véhicules dans le tronçon).
Serveur	Contrôleur.
Client	Véhicule.
L_q	Le nombre des véhicules dans la file
Taux= nbrClients/K	<i>Taux d'encombrement = nbrVéhicules dans le tronçon/Capacité du tronçon.</i>
λ	L'arrivé aléatoire des véhicules à un instant t
μ	Le nombre de véhicule passant le feu vert par une unité de temps.
W	Le temps d'attente de chaque tronçon

TABLE 4.3 – Tableau des vocabulaires

Le principe de cette théorie est de servir les clients (les véhicules) qui entrent dans la file aléatoirement, par gérer au début d'un cycle la durée et les changements des couleurs des feux de signalisation de chaque intersection en fonction du taux d'encombrement. Dont au niveau de chaque intersection le feu est vert pour la file (tronçon) la plus prioritaire, qui est la plus encombré et le temps de servir (durée du feu vert) qui dépend du taux d'encombrement de la file (nombre de client/k), sans toucher les lois de changement des couleurs des feux.

Dans notre cas en servi les clients en fonction de :

$$\text{Taux d'encombrement} = \text{nbrVéhicule dans le tronçon} / \text{Capacité de tronçon}$$

. Avec un nombre aléatoire d'arrivé des véhicule dans chaque tronçon (*plus la valeur de taux d'encombrement est grande, plus le tronçon est prioritaire et la durée du feu vert est plus grande*)

4.3.4 L'algorithme Kruskal_Queues pour la gestion intelligente des intersections urbaines

Nous avons proposé cet algorithme comme solution pour résoudre les problèmes de la gestion des intersections urbaines.

Le principe de l'algorithme est de calculer au début la durée du feu en fonction des taux d'encombrement de chaque tronçon est de donner le feu vert aux tronçons les plus encombrés dans chaque intersections, et enfin en calculant les durées des chemins et les trier (tri croissant) pour obtenir le meilleur chemin qu'est le plus court.

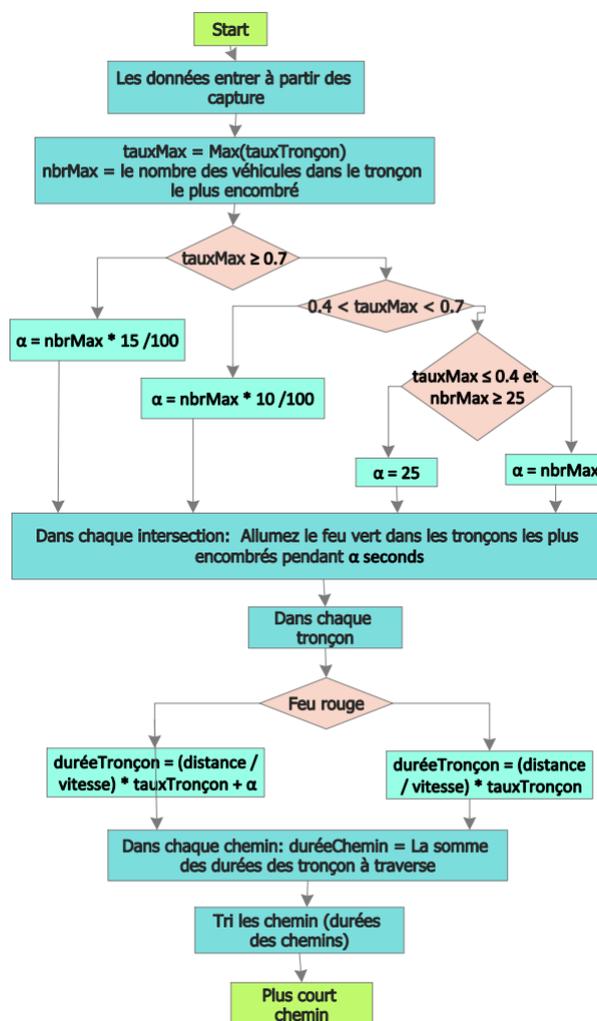


FIGURE 4.5 – L'organigramme de fonctionnement de l'algorithme Kruskal_Queues.

Algorithm 1 : Kruskal_Queues

```
MaxRate = max (SectionRate)
nbrMax = the number of vehicles in the most congested section
if (MaxRate  $\geq$  0.7) then
     $\alpha = \text{nbrMax} * 15 / 100$ 
else
    if ( $0.4 < \text{MaxRate} < 0.7$ ) then
         $\alpha = \text{nbrMax} * 10 / 100$ 
    else
        if ( $\text{MaxRate} \leq 0.4$  and  $\text{nbrMax} \geq 25$ ) then
             $\alpha = 25$ 
        else
             $\alpha = \text{nbrMax}$ 
        end if
    end if
end if
for (every intersection) do
    Turn on the green light in the most congested sections for  $\alpha$  second
end for
for (each section) do
    if (red light) then
        SectionDuration = (distance / speed) * SectionRate +  $\alpha$ 
    else
        SectionDuration = (distance / speed) * SectionRate
    end if
end for
for (every path) do
    pathDuration = the sum of the durations of the sections to be crossed
end for
Sorting (the durations of the paths)
return the shortest path
```

4.4 Déroulement de l’algorithme Kruskal_Queues

On applique les deux formules suivantes (Table 4.5 et 4.6), pour minimiser le temps de trajet de point D (départ) au point F (destination) :

$$tauxEncombrement = \frac{nombreVehicules}{capacite}$$

$$Duree = \left(\frac{Distance}{VitessMax} * tauxEncombrement \right) + \alpha$$

Variables	Description
Dis (km)	La distance entre deux points en kilomètre.
V (km/h)	La vitesse pour chaque tronçon en kilomètre par heure.
T (min)	Le temps (Dis / V) en minute.
Ca	Capacité de tronçon.
NbrV	Nombre des véhicules dans un tronçon.
Taux	NbrV / Ca.
α	La durée de feu rouge.
Durée	(Taux*T) + α .

TABLE 4.4 – Tableau de notations.

Les tableaux (4.5 et 4.6) illustrent l'évaluation de la durée en fonction de taux d'encombement et la durée de feu rouge.

	Dist (km)	V (km/h)	T (min)	Ca	NbrV	Taux	α (Min)	Durée
DA	5	60	5	400	305	0.76	0.65	4.45
AE	4	60	4	280	172	0.61	0	2.44
EB	4.5	60	4.5	320	230	0.72	0	3.24
AB	3	60	3	260	200	0.77	0.65	2.96
AC	3.5	60	3.5	280	100	0.36	0	1.26
CB	4	60	4	280	77	0.28	0	1.12
EG	3	60	3	260	150	0.58	0	1.74
CH	3	60	3	260	120	0.46	0	1.38
BF	4	60	4	300	90	0.30	0	1.20
FB	4	60	4	280	170	0.61	0.65	3.09
BC	4	60	4	320	120	0.38	0.65	2.17
CA	3.5	60	3.5	300	260	0.87	0	3.05
AD	5	60	5	400	180	0.45	0	2.25
BA	3	60	3	300	251	0.84	0.65	3.17
BE	4.5	60	4.5	300	190	0.63	0.65	3.49
HC	3	60	3	260	160	0.62	0.65	2.51
GE	3	60	3	240	180	0.75	0	2.25
EA	4	60	4	300	262	0.87	0	3.48

TABLE 4.5 – Evaluation de la durée en fonction de taux d'encombement et la durée du feu rouge(1).

Notre algorithme permet de gérer les cycles des feux de circulation en fonction de taux d'encombement et la durée de feu rouge et de trouver le plus court chemin entre deux points. On construit tous les chemins optimaux progressivement : on part de point de départ D et on trie les durées des chemins possibles par ordre croissant. On traverse le chemin de durée minimal. Chaque fois nous passons un point sur le chemin, nous le gardons. Toujours lorsque nous atteignons le point d'intersection, nous reconstruisons le chemin le plus court pour maintenir la fonctionnalité en temps réel.

	Dist (km)	V (km/h)	T (min)	Ca	NbrV	Taux	α	Durée
DA	5	60	5	400	140	0.35	0.77	2.52
AE	4	60	4	280	60	0.21	0	0.84
EB	4.5	60	4.5	320	310	0.97	0	4.37
AB	3	60	3	260	98	0.37	0.77	1.88
AC	3.5	60	3.5	280	85	0.30	0	1.05
CB	4	60	4	280	198	0.70	0	2.80
EG	3	60	3	260	209	0.80	0	2.40
CH	3	60	3	260	240	0.92	0	2.76
BF	4	60	4	300	245	0.82	0	3.28
FB	4	60	4	280	253	0.9	0.77	4.37
BC	4	60	4	320	267	0.83	0.77	4.09
CA	3.5	60	3.5	300	153	0.51	0	1.79
AD	5	60	5	400	345	0.86	0	4.30
BA	3	60	3	300	169	0.56	0.77	2.45
BE	4.5	60	4.5	300	245	0.81	0.77	4.42
HC	3	60	3	260	246	0.95	0.77	3.62
GE	3	60	3	240	216	0.90	0	2.70
EA	4	60	4	300	126	0.42	0	1.68

TABLE 4.6 – Evaluation de durée en fonction de taux d’encombrement et la durée du feu rouge(2).

Ce graphe montre la durée de chaque tronçon de notre réseau routier proposé.

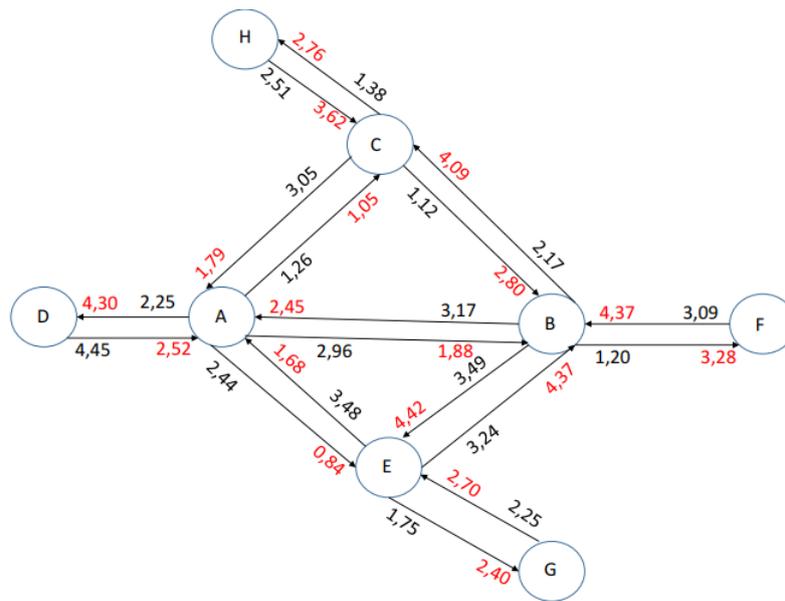


FIGURE 4.6 – Graphe pondéré pour le réseau routier.

Prenons l'exemple : Au début nous calculons le poids de chaque arc (*la durée de chaque tronçon*) donc :

$$poids = durée = \left(\frac{Distance}{Vitesse} * tauxEncombrement \right) + \alpha$$

Maintenant, nous cherchons de trouver le meilleur chemin de point de départ H à point de destination G.

Les chemins possibles sont :

- Chemin 1 : $HC \rightarrow CA \rightarrow AB \rightarrow BE \rightarrow EG$.
- Chemin 2 : $HC \rightarrow CA \rightarrow AE \rightarrow EG$.
- Chemin 3 : $HC \rightarrow CB \rightarrow BE \rightarrow EG$.
- Chemin 4 : $HC \rightarrow CB \rightarrow BA \rightarrow AE \rightarrow EG$.

On trie les chemins par ordre croissant :

- Chemin 1 : $2,51 + 1,79 + 2,96 + 3,49 + 1,74 = 12,49$.
- Chemin 2 : $2,51 + 1,79 + 2,44 + 1,74 = 8,48$.
- Chemin 3 : $2,51 + 1,12 + 3,49 + 1,74 = 8,86$.
- Chemin 4 : $2,51 + 1,12 + 3,17 + 2,44 + 1,74 = 10,98$.
- $Chemin2 < Chemin3 < Chemin4 < Chemin1$.

Donc le meilleur chemin est le numéro 2, alors premièrement, on déplace de HC vers CA. Quand on arrive à l'intersection A il faut reconstruire le plus court chemin car en fonction de taux d'encombrement la durée change ce qui peut modifier le plus court chemin (de A à G si la durée du chemin $AB \rightarrow BE \rightarrow EG$ inférieur la durée du chemin $AE \rightarrow EG$).

Pour le deuxième tableau (Table 4.6) on suit les mêmes étapes pour obtenir le plus court chemin.

A partir des résultats obtenus dans les deux tableaux précédents (tableaux 4.5 et 4.6), il a été conclu que la relation entre le taux d'encombrement, la durée du feu rouge et le temps de trajet entre deux points est une corrélation directe et que le taux d'encombrement génère le choix d'un et meilleur chemin.

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons modélisé notre solution, exposé l'architecture de réseau routier qui nous proposé, les modes de communication utilisé, puis nous avons parlé sur la gestion classique après nous avons présenté un algorithme qui est fournir un chemin optimal pour les véhicules et un autre algorithme qui est géré le changement des feux.

Le prochain chapitre est consacré à implémenté et testé les algorithmes proposés afin d'évaluer les performances.

Résultats et performance

5.1 Introduction

Actuellement la congestion a reconnu une augmentation grave surtout au niveau des zones urbaines, et vu que les intersections sont des générateurs de conflit, plusieurs problèmes sont apparus à ce niveau là, ce qui demande de trouver une nouvelle solution et de lâcher les solutions traditionnelles dans les intersections urbaines.

Après avoir un nouvel algorithme, il faut avoir des tests pour savoir le degré de son efficacité, alors nous allons décrire notre environnement de travail, après nous allons représenter tous les tests majeurs et leurs évaluations et explications complétées depuis le début.

5.2 Environnement de travail

Dans cette section nous allons présenter notre environnement de travail (matériel et logiciel) :

5.2.1 Environnement matériel

Pour que notre travail puisse atteindre l'objectif qu'on a visait, on a pris l'initiative d'exploiter et d'implémenter notre algorithme sur :

Marque	Lenovo G50
Processeur	Intel(R) Core(TM) i5-4210U CPU @ 1.70GHz 2.40 GHz
RAM	6,00 Go
System d'exploitation	Windows 10 professionnel 64 bits.

TABLE 5.1 – Caractéristique de l'ordinateur N :01

Marque	ACER
Processeur	Intel(R) Celeron(R) CPU N2820 @ 2.13GHz, 2129 MHz
RAM	2,00 Go
System d'exploitation	Windows 10 professionnel 64 bits.

TABLE 5.2 – Caractéristique de l'ordinateur N :02

5.2.2 Langages de programmation utilisés

Le langage de programmation utilisé est :

Langage JAVA

Java est un langage écrit et orienté objet. Il est compilé et basé sur une ingénierie logicielle très spéciale nécessitant une machine virtuelle Java. Il utilise les concepts habituels de programmation orientée objetif : le concept de classe, d'encapsulation, d'héritage, d'interface, de virtualité, de généricité, etc. Il est livré avec une énorme collection de bibliothèque standard couvrant un large éventail de domaines, y compris les bibliothèques graphiques. C'est un langage qui a d'excellentes caractéristiques dans la portabilité du code. Sa grande faiblesse est relativement lente, surtout par rapport aux langues comme C++. Cependant, ce défaut a été résolu en grande partie par l'introduction de la technologie JIT (compilateur Just-In-Time, en anglais « juste à temps »), qui compile le code à la première exécution, permettant une exécution à peu près à la même vitesse que dans C/C++[57].

5.2.3 L'importance de JAVA

Java a de plusieurs avantages, nous citons quelques-uns :

- **Simple** : plus simple à utiliser comparé à d'autres langages de programmation, Java est plus facile à écrire, compiler, déboguer et apprendre. En effet, il utilise la gestion automatique de la mémoire et la récupération de place.
- **Indépendant de la plate-forme** : est de capacité à passer facilement d'un système informatique à un autre sans créer de problème. "Écrire une fois, courir n'importe où" décrit le mieux Java. Il peut fonctionner indépendamment aux niveaux source et binaire. Le même programme peut être exécuté sans problème sur différents systèmes. Cette fonctionnalité spéciale est extrêmement essentielle pour les logiciels World Wide Web, qui nécessitent beaucoup de flexibilité.
- **Sécurisé** : Sa plate-forme permet aux utilisateurs de télécharger du code inconnu sur un réseau et de l'exécuter dans un environnement sécurisé sans nuire aux systèmes. Le système hôte ne sera pas du tout infecté par le virus. Cette capacité à elle seule a rendu la plate-forme Java unique.
- **Fiable** : Les compilateurs Java sont capables de détecter de nombreux problèmes lors de la phase initiale d'exécution. Par conséquent, il est considéré comme la programmation la plus fiable par les développeurs.
- **Effectuer plusieurs tâches(Multitâche)** : Java à la capacité d'effectuer plusieurs tâches simultanément. La programmation multithread s'y est bien intégrée. Cela fonctionne mieux dans la programmation visuelle et réseau. Parallèlement, ses normes stables aident les développeurs à créer des applications à plusieurs niveaux avec une approche par composants.
- **Dynamique** : Le code Java est organisé en unités modulaires orientées objet. Ces unités sont appelées classes. Ils sont stockés dans des fichiers distincts et chargés dans l'interpréteur Java uniquement lorsque cela est nécessaire
- **Economique** : C'est une source ouverte. Pas besoin de lutter contre des frais de licence élevés chaque année.

5.2.4 Environnement d'exécution

Pour notre exécution, nous avons choisi d'utiliser l'environnement Eclipse. C'est un logiciel qui nous permet de compiler ou de développer des applications ou des petits programmes.

L'**Eclipse IDE** est écrit principalement en Java, c'est un environnement de développement intégré libre qui supporte une large variété des langages de programmation (PHP, C++..) et d'outils de collaboration[58].

5.3 Présentation de l'application

Cette section est consacrée à présenter l'application qu'on a réalisée pour simuler notre proposition.

5.3.1 Architecteurs de l'application

Lorsqu'on lance l'application sous Eclipse, les véhicules entrent aléatoirement dans les tronçons, puis un calcul de la durée des feux sera effectué (selon le tronçon le plus encombré), ensuite pour chaque intersection les feux verts seront appliqués pour les tronçons les plus encombrés, et le contrôleur X calcule pour un véhicule Y, les durées de trajet de tous les chemins jusqu'à l'arrivée à la destination, enfin X envoie le plus court chemin (le chemin de la durée minimale) à Y.

La figure 5.1 représente l'architecture de notre application

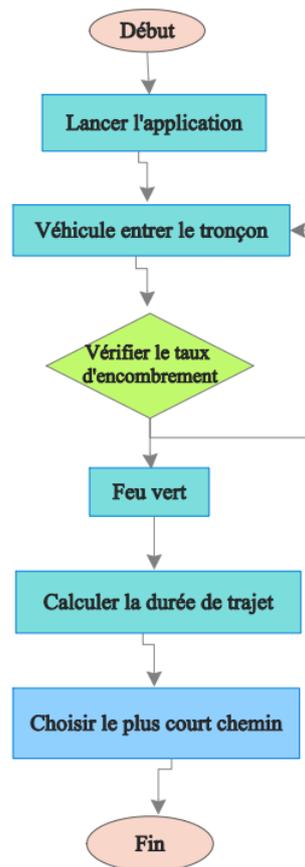


FIGURE 5.1 – Architecture de l'application.

5.3.2 L'interface de l'application

La figure 5.2 montre l'interface graphique du scénario classique et des feux tricolores évoluant dans le temps, pour tester l'approche proposée dans le chapitre précédent.

Dans l'interface (Figure 5.3), nous avons créé des captures pour gérer les véhicules entrants et sortants pour compter (*incrémenter, décrémenter*) le nombre de véhicules dans chaque tronçon.

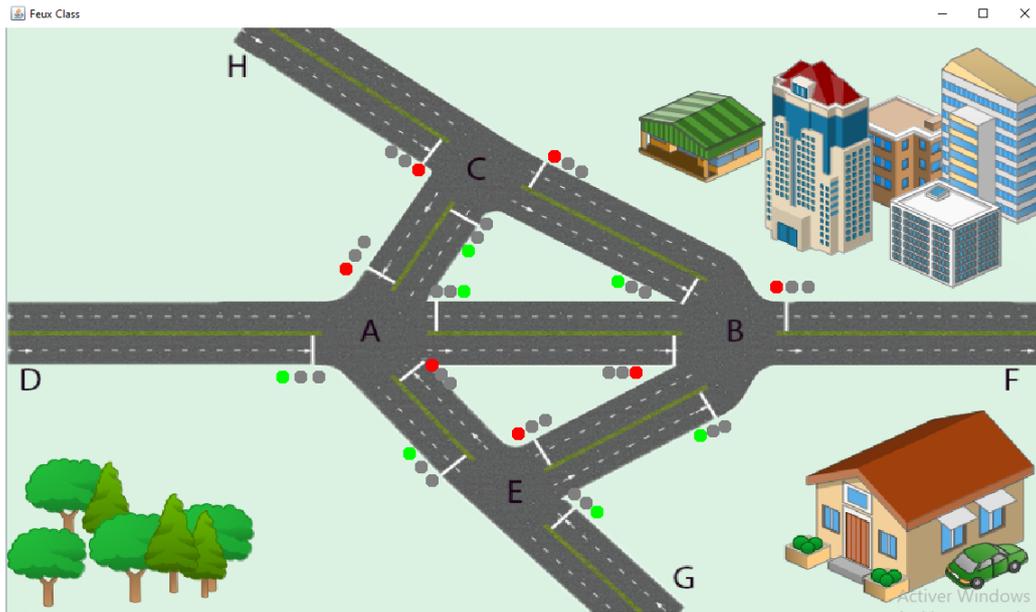


FIGURE 5.2 – Interface de l’application.

Nous avons créé des labels pour récupérer le nombre de véhicules qui sont dans chaque tronçon. Proposée dans le chapitre précédent.



FIGURE 5.3 – Interface de nombre des véhicules.

5.4 Résultats de simulation

Dans cette section nous allons présenter les différents résultats de notre simulation dans les deux cas étudiés dans le chapitre précédent.

5.4.1 La gestion classique

La figure 5.4 montre l'exécution du programme qui permet de savoir combien de temps faut-il au véhicule pour atteindre une certaine destination lorsqu'elle croise son chemin. Nous avons calculé la durée dans chaque tronçon avec les formules suivantes :

$$\text{Durée} = \text{Distance}/\text{VitesseMax}$$

$$\text{Durée}_{\text{Taux d'encombrement}} = (\text{Distance}/\text{Vitesse}) * \text{Taux} + \alpha$$

```

//////////////////////////////////// AE //////////////////////////////////////
Le nombre des véhicules dans le tronçon AE est 96 véhicules
La capacité du tronçon AE est 280 véhicules
Le taux d'encombrement du tronçon AE est 34.285713%
Le feu rouge de AE est éteints
La duree du feu vert est 40 s
La duree du tronçon AE est 1.3714286 min

//////////////////////////////////// AB //////////////////////////////////////
Le nombre des véhicules dans le tronçon AB est 4 véhicules
La capacité du tronçon AB est 260 véhicules
Le taux d'encombrement du tronçon AB est 1.5384616%
La duree du feu rouge est 40 s
Le feu vert de AB est éteind
La duree du tronçon AB est 0.71282053 min

//////////////////////////////////// CB //////////////////////////////////////
Le nombre des véhicules dans le tronçon CB est 12 véhicules
La capacité du tronçon CB est 280 véhicules
Le taux d'encombrement du tronçon CB est 4.285714%
Le feu rouge de CB est éteints
La duree du feu vert est 40 s
La duree du tronçon CB est 0.17142858 min

```

FIGURE 5.4 – Les durées des tronçons par la gestion classique.

La figure 5.5 montre les durées de quelque chemins par la gestion classique.

```

*****
Le chemin de D à G est : D-->A-->E-->G est de durée 9.3714285 min
*****
Le chemin de D à F est : D-->A-->B-->F est de durée 9.71282 min
*****
Le chemin de D à H est : D-->A-->C-->H est de durée 8.4 min
*****
    
```

FIGURE 5.5 – Les durées de quelque chemins par la gestion classique.

5.4.2 La gestion intelligente

La figure 5.6 présente l'état des feux tricolores de la gestion intelligente à un instant t (*garder le feu vert pour les tronçons les plus encombrés*).

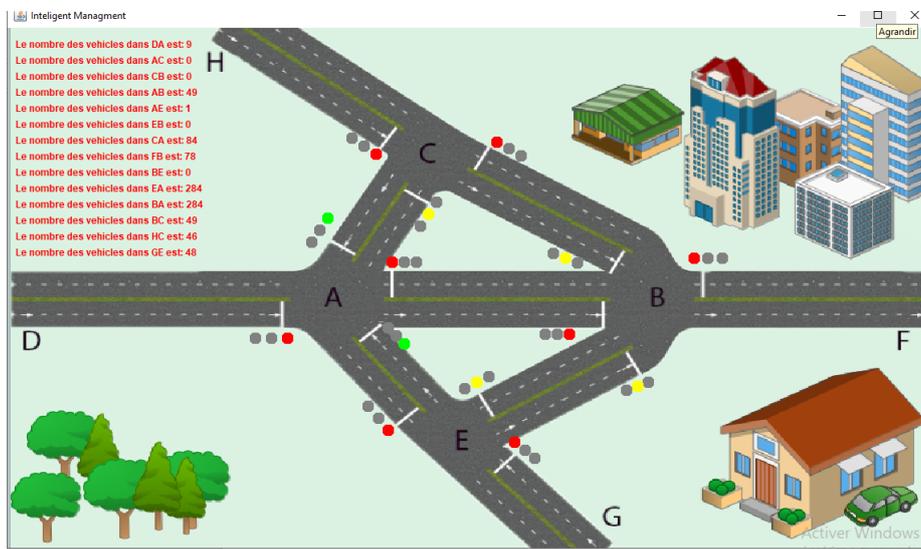


FIGURE 5.6 – Interface de la gestion intelligente.

La figure 5.7 montre l'exécution du programme qui permet d'afficher la durée, l'état des feux et les durées des tronçons.

```

////////////////////////////////// DA ////////////////////////////////////
Le nombre des véhicules dans le tronçon DA est 291 véhicules
La capacité du tronçon DA est 400 véhicules
Le taux d'encombrement du tronçon DA est 72.75%
Le feu rouge de DA est éteint
Le nombre de véhicule sortie du DA est 39 véhicules
Le nombre de véhicule restent dans DA est 252 véhicules
La duree du feu vert est 39 s
La duree du tronçon DA est 3.6375 min

////////////////////////////////// AC ////////////////////////////////////
Le nombre des véhicules dans le tronçon AC est 1 véhicules
La capacité du tronçon AC est 280 véhicules
Le taux d'encombrement du tronçon AC est 0.35714285%
La duree du feu rouge est 39 s
Le feu vert de AC est éteint
La duree du tronçon AC est 0.6625 min

////////////////////////////////// AE ////////////////////////////////////
Le nombre des véhicules dans le tronçon AE est 3 véhicules
La capacité du tronçon AE est 280 véhicules
Le taux d'encombrement du tronçon AE est 1.0714285%
Le feu rouge de AE est éteints
La duree du feu vert est 39 s
Le nombre de véhicule sortie du AE est 2 véhicules
Le nombre de véhicule restent dans AE est 1 véhicules
La duree du tronçon AE est 0.042857144 min

```

FIGURE 5.7 – la durée, l'état des feux et les durées des tronçons par la gestion intelligente.

La figure 5.8 montre l'exécution du programme qui permet de savoir combien de temps faut-il à une véhicule de se déplacer du point D vers le point G et de choisir le meilleur chemin (de la durée de trajet minimale).

```

*****
Le chemin n°1 est : D-->A-->C-->B-->E-->G de durée 9.443571 min
Le chemin n°2 est : D-->A-->B-->E-->G de durée 7.3140383 min
Le chemin n°3 est : D-->A-->E-->G de durée 6.680357 min
*****
Le tri des durées des chemins:
chemin n°3 6.680357 min
chemin n°2 7.3140383 min
chemin n°1 9.443571 min
*****
Le plus court chemin est: [D-->A-->E-->G]
Etat de feu est: 2
*****

```

FIGURE 5.8 – Le meilleur chemin de D à G par la gestion intelligente.

5.5 Comparaison entre les deux approches

Les tableaux ci-dessous représentent les tests qu'on a fait par des nombres différents de véhicules.

5.5.1 La gestion classique

Lorsque nous avons testé la gestion classique, les résultats d'exécution dans quatre cas différents donnent quatre résultats différents. Comme le tableau 5.3 montre, lorsque le nombre de véhicules augmente, la durée d'un tronçon est plus en plus élevée. Le tableau 5.3 représente les tests par la gestion classique.

	Nombre des véhicules	Capacité	Durée	Durée (min)
cas 1	20	400	0.92	0 min 55 s
cas 2	50	400	1.29	1 min 17 s
cas 3	200	400	3.17	3 min 10 s
cas 4	350	400	5.04	5 min 02 s

TABLE 5.3 – Résultats des tests par la gestion classique

5.5.2 La gestion intelligente

Dans ce cas, nous avons essayé d'utiliser une gestion intelligente pour tester les mêmes nombres de véhicules avec la gestion classique. Cette fois, nous avons remarqué que les valeurs de la durée sont améliorées par la contribution au premier test, ce qui rend la moyenne de la durée d'un tronçon inférieur. Le tableau 5.4 présente les tests de la gestion intelligente.

	Nombre des véhicules	Capacité	Durée	Durée (min)
cas 1	20	400	0.25	0 min 15 s
cas 2	50	400	0.63	0 min 38 s
cas 3	200	400	2.50	2 min 30 s
cas 4	350	400	4.38	4 min 22 s

TABLE 5.4 – Résultats des tests par la gestion intelligente

La figure 5.9 montre l'évolution de la durée du tronçon DA de l'algorithme classique et de l'algorithme *Kruskal_Queues*. Nous avons remarqué que les durées obtenues par *Kruskal_Queues* sont moins intéressantes par rapport à les durées obtenues par l'algorithme classique. Sans oublier les résultats des durées obtenus par rapport à les mêmes algorithmes.

Nous concluons que notre algorithme proposé (*Kruskal_Queues*) donne des bons résultats par rapport à l'autre algorithme dans le calcul de la durée d'un tronçon.

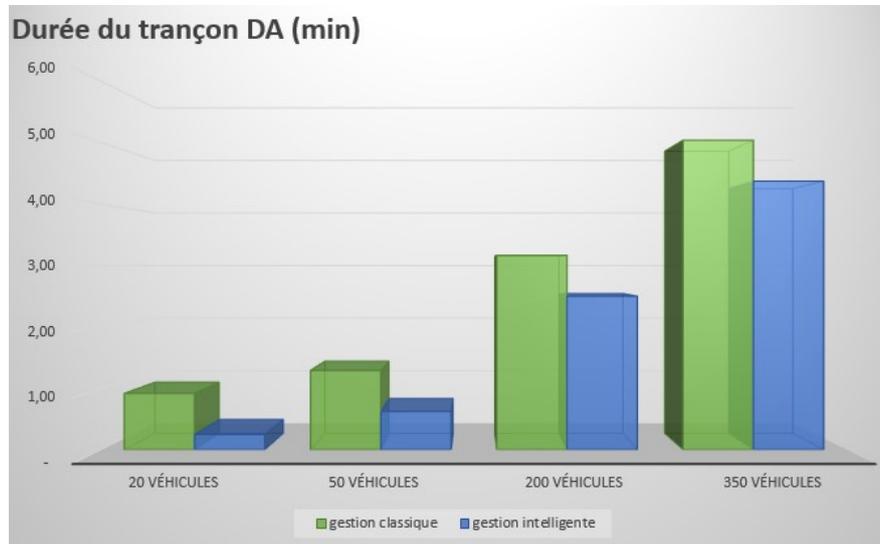


FIGURE 5.9 – Durées du tronçon DA.

La figure 5.10 présente la durée du feu vert en fonction du taux d'encombrement dans les deux gestions classique et intelligente. Nous remarquons que dans la gestion classique la durée de feu vert est toujours la même mais au contraire dans la gestion par *Kruskal_Queues* la durée augmente et diminue avec le taux d'encombrement.

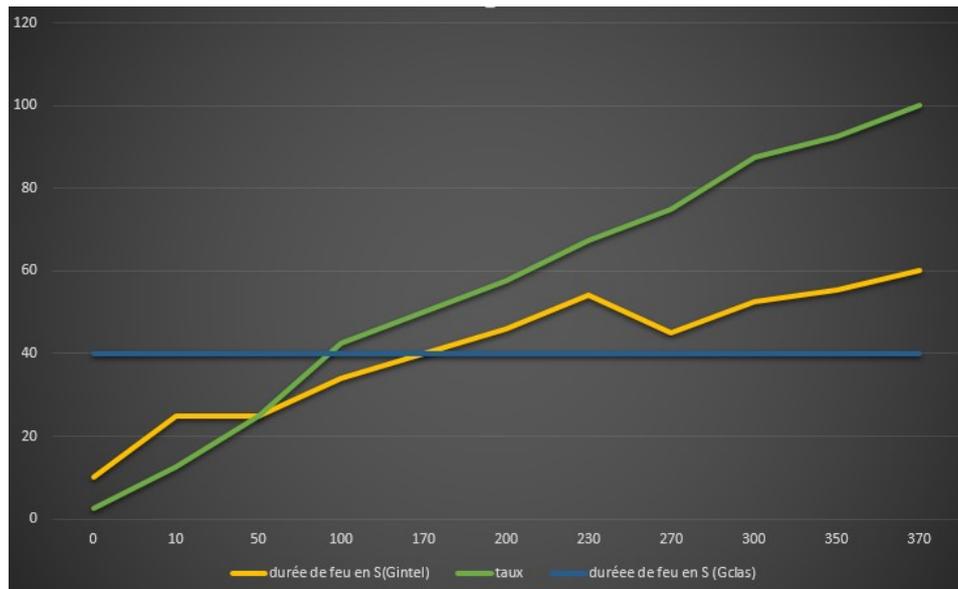


FIGURE 5.10 – La durée du feu vert en fonction de taux d’encombement.

Les Figures (5.11 et 5.12) illustrent la relation entre le taux d’encombement et la durée de trajet, en faisant comparaison des deux graphes (*la gestion classique et la gestion intelligente*), nous remarquons que la durée de trajet augmente avec l’augmentation de taux d’encombement, et la durée de trajet dans la gestion intelligente est moins que celle de la gestion classique, car le calcul de la durée est lié au calcul d’encombement et les durées des feux cela explique la relation de corrélation directe qui existe entre ces paramètres.

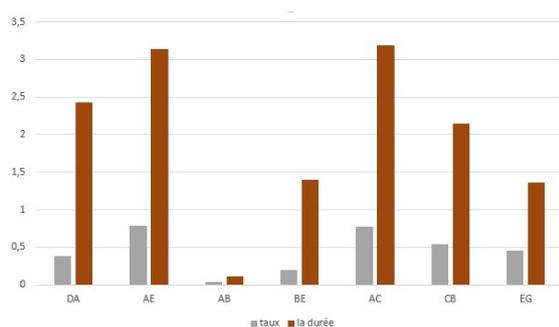


FIGURE 5.11 – Relation entre le taux d’encombement et la durée de trajet par la gestion intelligente.

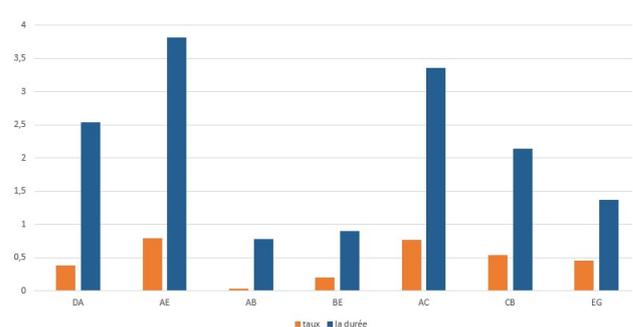


FIGURE 5.12 – Relation entre le taux d’encombement et la durée de trajet par la gestion classique.

Les Figures (5.13 et 5.14) montrent l'efficacité de notre algorithme `Kruskal_Queue` pour déterminer le plus court et le meilleur chemin à fin de réduire la durée de trajet en utilisant les mêmes valeurs pour calculer les durées, en faisant la comparaison entre les deux graphes, nous remarquons que cet algorithme améliore les résultats dans le graphe qui utilise la durée de la gestion intelligente (figure 5.13), car dans celui-ci le taux d'encombrement diminue par rapport à celui de la durée de la gestion classique (Figure 5.14). Dans le cas de la gestion intelligente le chemin à choisir est le plus court (*de la durée minimal*), par contre dans la gestion classique le chemin est choisie par les conducteurs (*sans savoir qui le plus court chemin*).

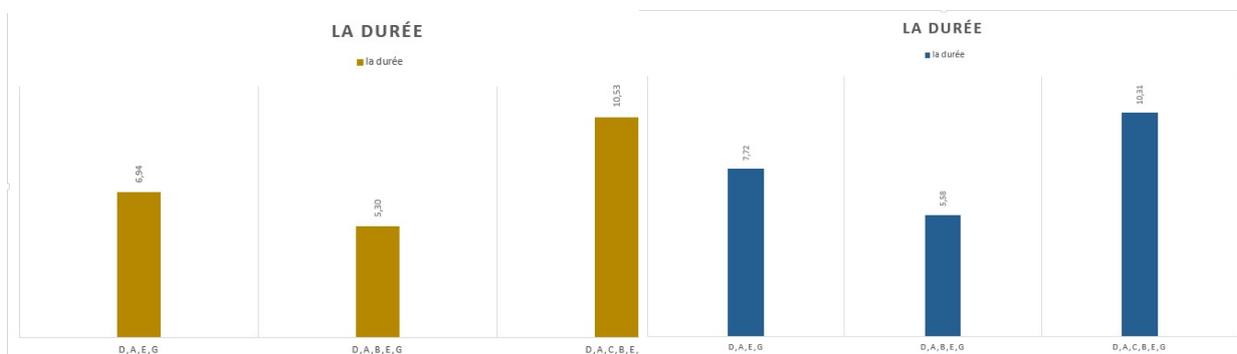


FIGURE 5.13 – Le meilleur chemin de D à G.

FIGURE 5.14 – Les durées des chemins de D à G.

Nous concluons que notre algorithme proposé donne des bons résultats par rapport à l'autre algorithme dans le calcul de la durée d'un tronçon.

5.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce dernier chapitre le langage et outils de développement que nous avons utilisé afin d'implémenter notre solution proposée. Nous avons effectué une simulation pour comparer la précision de l'algorithme `Kruskal_Queue` avec l'algorithme classique en la durée, le taux d'encombrement et la durée des feux verts. Les résultats de la simulation montrent que les performances de l'algorithme proposé sont meilleures que celle de l'algorithme classique dans ce cas de simulation grâce à les changements que nous avons effectué dans le calcul de taux d'encombrement, la durée des tronçons et la durée des feux verts.

Conclusion générale et perspectives

La congestion du trafic routier urbain est l'un des problèmes socio-économiques qui doivent être résolus pour soutenir le développement social. La solution appropriée est de trouver un algorithme de contrôle pour éviter l'apparition de la congestion routière.

Présentez ensuite la méthode que nous avons proposée dans ce mémoire. Nous avons lancé une nouvelle stratégie de la gestion intelligente des intersections urbains. Tout d'abord, nous proposons un hybride entre la théorie des files d'attente et l'algorithme de kruskal pour gérer les feux de circulation et guider les véhicules afin de prendre les bonnes décisions lors du choix du meilleur itinéraire. Cet hybride est basé sur une fonction multi-objectifs avec de multiples paramètres (distance, vitesse, nombre de véhicules et capacité). La collecte de ces données joue un rôle important pour garantir l'applicabilité et l'efficacité de nos solutions. Nous proposons deux types de communication, véhicule à infrastructure et infrastructure à infrastructure pour obtenir l'état du trafic en temps réel. Enfin, nous proposons un algorithme pour la gestion des intersections urbaines en fonction du taux d'encombrement et de la durée des feux rouges.

Le but de notre étude est d'aborder le problème de la congestion au niveau des intersections urbaines afin de rendre le trafic routier plus flexible, et cela se fait à travers une approche basée sur véhicule infrastructure, infrastructure à infrastructures de communication et un algorithme pour réduire la cogestion et de trouver le meilleur chemin (le plus court).

Au fil de ce document, nous avons tout d'abord passé en revue les principales notions de base de transport intelligent. Par la suite, nous avons présenté les approches et méthodes

de résolution et nous traiter et approfondir le transport intelligent, en parlent sur les systèmes de gestion des intersections et quelque concept qui sont en relation avec notre thème. Après, nous avons illustré l'état de l'art sur la gestion intelligente des intersections urbaines. La prochaine partie de l'étude récente traite du problème de la congestion urbaine et de l'amélioration des feux de circulation à l'aide de systèmes de transport intelligents.

Notre réflexion nous a amené à proposer une nouvelle solution pour la gestion intelligente des intersection urbaines, cette partie porte sur l'amélioration des feux tricolores à l'aide de l'intégration de la communication véhicule-à-infrastructure, la communication infrastructure-à-infrastructure, la théorie des files d'attentes est utilisée pour gérer les feux de circulation et l'algorithme de Kruskal est utilisée pour trouver le meilleur chemin. La dernière étape de ce travail est consacrée à l'implémentation de la solution proposée dans le langage de programmation Java et à la réalisation d'une série de tests pour prouver les performances de notre algorithme. Les résultats sont très satisfaisants. Par rapport à la gestion traditionnelle, l'algorithme proposé montre son efficacité.

Les perspectives que laissent entrevoir ce mémoire fait beaucoup de points. Tout d'abord, l'application réelle de notre algorithme est de réduire les problèmes de congestion pour fluidifier le trafic aux véhicules. Ensuite, nous espérons approfondir ce domaine et proposer d'autres méthodes en utilisant des méthodes de deeplearning, ces méthodes ont une grande efficacité dans les aspects suivants pour optimiser le problème. D'une part, il serait intéressant d'allonger le temps du feu vert en fonction du nombre de personnes qui ont l'intention de passer. Plus le nombre est élevé, plus la lumière sera allumée longtemps, afin de laisser suffisamment de temps aux piétons.

Bibliographie

- [1] CHALAL Lina et SIROUAKNE Slimane , "Gestion des clés dans l'internet des objets " Mémoire de Fin de cycle de Master en informatique , Spécialité : Réseaux et Systèmes Distribués, Université A/Mira de Béjaia.
- [2] "https ://www.senat.fr/rap/r19-162/r19-162_mono.html" consulté le 14.04.2021.
- [3] "https ://wikimemoires.net/2019/09/domaines-d-applications-de-l-iot/" consulté le 17.04.2021.
- [4] Dechany, Maxime, "L'impact de l'internet des objets sur le futur de la logistique et du transport : cas du transport routier", HEC-Ecole de gestion de l'Université de Liège, Master en ingénieur de gestion, à finalité spécialisée en Supply Chain Management and Business Analytics,2017-2018.
- [5] A SEMINAR REPORT ON "INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM" Submitted in partial fulfillment of the requirement for the award of degree Of Civil.
- [6] Meriem BENADDA, "Le Cloud Computing pour une Gestion Intelligente du Trafic Urbain : Proposition d'un service de prise en charge et de coopération pour la gestion de personnes victimes de malaise pendant la conduite", thèse En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Informatique, Informatique de la Répartition et Aide à la Décision, université Ahmed Ben Bella Oran1 2019.
- [7] "https ://www.techno-science.net/glossaire-definition/Systeme-de-transport-intelligent-page-2.html" consulté le 19.04.2021
- [8] Zakaria, Benyamina & Bounaama, Fateh & benahmed, Khelifa. (2017). Les systemes de transport intelligent (STI).

-
- [9] «Mobilité Intelligente,» [En ligne]. Available : <https://www.mobilite-intelligente.com/>.
- [10] MAHDAD NARIMENE et LAIREDJ DJAMILA, « Développement d'un device IOT pour la supervision d'un système de transport intelligent », Mémoire du diplôme master en Système des Télécommunications, 2020.
- [11] ETSI, ETSI EN302 637-2V1.3.2 : Part2 : Specification of Cooperative Awareness Basic Service (2014)
- [12] ETSI, ETSI EN 302 637-3 V1.3.2 : Part3 : Specification of Decentralized Environmental Notification Basic Service (2014)
- [13] U. Vlavic., Intelligent Vehicle Technologie, Elsevier 2001. 498p.2001.
- [14] KOUSOU Khaled & BOUCHOUICHA Achraf nadir, "Réalisation d'une application mobile pour la gestion intelligente du transport", Mémoire du diplôme master en Génie Productique,(2018/2019)
- [15] Siba Aicha, "Conception et réalisation d'une plateforme de gestion d'un réseau de transport",Mémoire du diplôme de master en réseaux et systèmes de télécommunications, (2011/2020)
- [16] S. Javaid, A. Sufian, S. Pervaiz and M. Tanveer, "Smart traffic management system using Internet of Things," 2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2018, pp. 393-398.
- [17] Intersections et priorités — Sécurité Routière (securite-routiere.gouv.fr) consulté le 23.04.2021
- [18] Mohamed Tlig. Coordination locale et optimisation distribuée du trafic de véhicules autonomes dans un réseau routier. Intelligence artificielle [cs.AI]. Université de Lorraine, 2015. Français.
- [19] Braban, C. and F. Boillot. "LES SYSTEMES TEMPS REEL DE COMMANDE DE FEUX EN MILIEU URBAIN [REAL TIME URBAN TRAFFIC SIGNAL CONTROL SYSTEMS]." (2003).
- [20] <https://ekwateur.fr/2020/07/15/impact-des-transports-environnement/>
- [21] <https://www.epfl.ch/research/domains/transportation-center/fr/projets-recherche/mobilite/gestion-du-traffic/modelisation-embouteillages/>

- [22] <https://www.permisecole.com/conduite/conducteur/accident-de-la-route>
- [23] Arnold O. Allen, "Queueing Models of Computer Systems", IEEE Comput., April 1980, pp. 13-24.
- [24] Daming Li, Lianbing Deng, Zhiming Cai, "Intelligent vehicle network system and smart city management based on genetic algorithms and image perception, Mechanical Systems and Signal Processing", Volume 141, 2020.
- [25] Anurag Singh Tomar, Mridula Singh, Girish Sharma, K.V. Arya, Traffic Management using Logistic Regression with Fuzzy Logic, Procedia Computer Science, Volume 132, 2018, Pages 451-460.
- [26] KAMEL Boumediene, "Gestion de trafic : contrôle d'accès et limitation dynamique de la vitesse", université d'artois, 2011.
- [27] Sébastien Faye, Claude Chaudet, Isabelle Demeure. Contrôle du trafic routier urbain par un réseau fixe de capteurs sans fil. 2012.
- [28] Sébastien Faye. Contrôle et gestion du trafic routier urbain par un réseau de capteurs sans fil. Infrastructures de transport. Télécom ParisTech, 2014. Français.
- [29] C.M. Roberts, Radio frequency identification (RFID), Computers Security, Volume 25, Issue 1, 2006, Pages 18-26.
- [30] Ruiz, L.B., Nogueira, J.M. Loureiro, A.A.F. Autogestion de Réseaux de Capteurs Sans Fil : Services, Fonctions, Modèles et Étude de Cas. Ann. Télécommun. (2005).
- [31] A. Gavulova, R. Pirmk and R. Hudec, "Technical support of traffic control system of Slovak agglomerations in NaTIS project", international conference on transport systems telematics, pages 382-391, 2011.
- [32] R.D. Bretherton, "Scoot Urban Traffic Control System—Philosophy and Esqvaluation1", IFAC Proceedings Volumes, Volume 23, Issue 2, 1990, Pages 237-239.
- [33] Association mondiale de la route / World Road Association. AIPCR Manuel sur les systèmes de transport intelligents (STI) (seconde édition).Anglaise : ISBN 2-84060-174-5 Route 2 Market Ltd. Française : ISBN 2-84060-188-5 AIPCR Secrétariat. Paris, 2003
- [34] Donati (F.), Mauro (V.), Roncolini (G.), Vallauri (M.). - A Hierarchical Decentralized Traffic Light Control System. The First Realization : Progetto Torino. 9th World

- Congress of the International Federation of Automatic Control, Budapest, Hungary, July 2-6, 1984, Vol II 11G/A-1.
- [35] Di Taranto, Mauro (V.). – UTOPIA. IFAC Control, Computers, Communications in Transportation, Paris, 1989, pp 575 - 597.
- [36] Vipin Kumar. "Algorithms for constraint-satisfaction problems : A survey". In : AI magazine 13.1 (1992), page 34.
- [37] Andrews (C.M), Elahi (S.M), Clark (J.E). – Evaluation of New Jersey Route 18 OPAC/MIST Traffic-Control System. Transportation Research Record 1603, pp 150-155.
- [38] Bai Y., Wang D. (2006) Fundamentals of Fuzzy Logic Control — Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications. In : Bai Y., Zhuang H., Wang D. (eds) Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications. Advances in Industrial Control. Springer, London.
- [39] Fei Yan. Contribution à la modélisation et à la régulation du trafic aux intersections : intégration des communications Vehicule-Infrastructure. Ordinateur et société [cs.CY]. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2012.
- [40] Jean-Marc Alliot, Nicolas Durand, « Algorithmes génétiques », March 14, 2005.
- [41] J.-F. Thisse, « Théorie des jeux : une introduction ». Cours, Université catholique de Louvain, oct. 2003.
- [42] Julie Parreaux, « Algorithme de Dijkstra : terminaison, correction et complexité », 2018-2019.
- [43] Thibault Allançon, « Algorithme de Dijkstra », publié le 22-05-2016
- [44] A. Benoit, B. Depardon, JF. Pineau, C. Rezvoy, « TD no 8 - Recherche de plus courts chemins », Algorithmique I Année 2007-2008.
- [45] Thibault Allançon, « Algorithme de Bellman-Ford », publié le 10-07-2016
- [46] Z.CHOUIREF, « Réseaux De Neurones Artificiels », cour master 2 de l'année universitaire 2020/2021
- [47] G. DREYFUS, « LES RÉSEAUX DE NEURONES » École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris (ESPCI), Mécanique Industrielle et Matériaux, n51 (septembre 1998).

-
- [48] ADAM HAYES, SOMER ANDERSON, « Game Theory », investopedia, Economics, 2021.
- [49] R. Gibbons, A Primer in Game Theory. Prentice Hall, 1992.
- [50] Renaud Bourlès, Dominique Henriët, « Théorie des jeux » EAO-3-O-FIST 2^{ème} année 05-06 2016-2017
- [51] Bui, Khac-Hoai Nam, Jung, Jai E., Camacho, David, Game theoretic approach on Real-time decision making for IoT-based traffic light control, 2017.
- [52] EDMOND LA CHANCE, B.Sc, ALGORITHMES POUR LE PROBLÈME DE L'ARBRE COUVRANT MINIMAL, PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE EN INFORMATIQUE, 2014.
- [53] R. Hawi, G. Okeyo and M. Kimwele, "Smart traffic light control using fuzzy logic and wireless sensor network," 2017 Computing Conference, 2017, pp. 450-460.
- [54] Khac-Hoai Nam Bui, Jason J. Jung, Cooperative game-theoretic approach to traffic flow optimization for multiple intersections, Computers & Electrical Engineering, Volume 71, 2018, Pages 1012-1024.
- [55] Younes Regragui, Najem Moussa. Investigating the impact of real-time path planning on reducing vehicles traveling time. 2018 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet), Apr 2018, Marrakech, France. pp.1-6.
- [56] DAD Djouhra, "MODELISATION ET SIMULATION DU FLUS DANS UN R2SEAU POUR LA R2GULATION DU TRAFIC", mémoire pour obtenir LE DIPLOME DU MAGISTER spécialité informatique université d'Oran, 2011.
- [57] https://fr.wikibooks.org/wiki/Programmation9_Java/Introduction consulter le 26/06/2021.
- [58] <https://www.techno-science.net/definition/517.html> consulter le 26/06/2021.
- [59] L. Sumia, V. Ranga, Intelligent Traffic Management System for Prioritizing Emergency Vehicles in a Smart City, International Journal of Engineering (IJE), IJE TRANSACTIONS B : Applications Vol. 31, No. 2, (February 2018) 278-283.
- [60] Hartanti, Dian & Aziza, Rosida & Siswipraptini, Puji. Optimization of smart traffic lights to prevent traffic congestion using fuzzy logic, 2019.

- [61] Astarita, Vittorio & Giofr , Vincenzo & Guido, Giuseppe & Vitale, Alessandro. Game theory and cooperative-competitive performances in real time traffic signal settings based on floating car data.2019.
- [62] L. Cruz-Piris, M. A. Lopez-Carmona and I. Marsa-Maestre, "Automated Optimization of Intersections Using a Genetic Algorithm", 2019.
- [63] S. Boudaakat, A. Rebbani and O. Bouattane, "Smart Traffic Control System for Decreasing Traffic Congestion," 2019 International Conference on Systems of Collaboration Big Data, Internet of Things & Security (SysCoBioTS), 2019, pp. 1-6.
- [64] Mohanaselvi, S. & Shanpriya, B. . Application of fuzzy logic to control traffic signals. AIP Conference Proceedings. 2019.
- [65] A. Sadeghi-Niaraki, P. Mirshafiei, M. Shakeri and S. -M. Choi, "Short-Term Traffic Flow Prediction Using the Modified Elman Recurrent Neural Network Optimized Through a Genetic Algorithm", vol. 8, pp. 217526-217540, 2020.
- [66] Jiang, Jianchun & Peng, Fei & Zhao, Bowen. Mutual Exclusion Algorithm for Real-time Traffic Dispatching Based on Game Theory. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering.2020.
- [67] R. K. Yadav, R. Jain, S. Yadav and S. Bansal, "Dynamic Traffic Management System Using Neural Network based IoT System," 2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 2020, pp. 521-526.
- [68] Soumia TABIT, Aziz ZOULHI. Road traffic management with fuzzy logic approach.2021.