



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département d'Informatique

Mémoire de Master

en Informatique

Spécialité : ISIL

Thème

Un contrôle intelligent des feux de circulation aux
intersections urbaines

Encadré par

— DR MESSAOUDI Oussama

Réalisé par

— DEBOUB Halim

— ZAOUI Fairouz

2019/2020

Remerciements

*Avec l'aide **d'Allah** tout puissant, on a pu accomplir ce modeste travail, grâce à la patience, la force, la volonté et la santé qu'il nous a bénéficié.*

On offre nos chaleureux remerciements à nos chère parents que rien ne puisse exprimer ce que nous leurs dois, pour leur éducation, leur soutien, leur encouragement, leur sacrifices.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de DR MESSAOUDI Oussama, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et da disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos vifs Remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.

On adresse nos sincères remerciements à tous les professeurs durant cursus universitaire.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes recherches.

A mes chers frères, sœurs pour leurs appuis et leurs encouragements.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours là pour moi, que dieu vous accorde la santé et prospérité.

Deboub Halim.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma très chère mère quoi que je fasse ou je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me garde et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père tu as été à mes cotes pour me soutenir et m'encourager, tu ma donner beaucoup d'amour. Que ce travail traduit à gratitude et mon affection.

A mes chers frères et sœurs.

A tous mes amies qui mo'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès.

A toutes ma famille.

Zaoui Fairouz.

Résumé

Les systèmes de contrôle des feux de signalisation traditionnels sont souvent loin de fournir une gestion efficace de trafic urbain, précisément en terme du temps de voyage, du temps d'attente, de la consommation d'énergie et des émissions $C0_2$ et incapables de suivre le rythme du développement des villes intelligentes et des exigences de mobilité urbaine. D'autre part, les systèmes des feux de signalisation intelligents ont suscité l'intérêt de nombreux chercheurs. Dans ce travail, nous étudions l'application de l'apprentissage par renforcement (RL) au cas de trafic en introduisant un Système Intelligent de Contrôle des Feux de Signalisation (SICoFS). L'approche proposée s'appuie sur deux outils : JADE (Java Agent Development Framework) pour la mise en œuvre de systèmes multi-agents, et SUMO (Simulation of Urban MObility) pour la simulation microscopique du trafic urbain. Cette approche peut poursuivre tous les changements d'état du trafic en temps réel avec un contrôle adaptatif. Par rapport au système statique les résultats obtenus sont très satisfaisants, notre système est capable de réduire le temps d'attente moyen avec un taux de 79% et les émissions atmosphériques par 6%.

Mots clés : Apprentissage par renforcement, Simulation macroscopique, Mobilité, Trafic Urbain, Contrôle adaptatif . . .

Abstract

Traditional traffic lights control systems are far from providing efficient urban traffic management in terms of travel time, waiting time, energy consumption, and $C0_2$ emissions. As a result, these systems are considered unable to keep up with the rapid development of smart cities and urban mobility requirements. On the other hand, intelligent traffic lights systems have aroused the interest of many researchers. In this work, we apply reinforcement learning (RL) to propose a new traffic lights control system (SICoFS). The proposed approach is based on two tools : JADE (Java Agent Development Framework) for the implementation of multi-agent systems, and SUMO (Simulation of Urban MObility) for microscopic simulation. This approach can track all traffic state changes in real-time with adaptive control. Compared to the static system, the results obtained are very promising, our system is able to reduce the average waiting by 79%, and atmospheric emissions by 6%.

Keywords : Reinforcement learning, Macroscopic simulation, Mobility, Urban traffic, adaptatif control ...

ملخص

غالبا ما تفشل أنظمة التحكم في إشارات المرور التقليدية في توفير إدارة فعالة لحركة المرور في المدينة ، على وجه التحديد من حيث وقت السفر ووقت الانتظار واستهلاك الطاقة والانبعاثات وغير قادر على مواكبة تطور المدن الذكية ومتطلبات التنقل الحضري. من ناحية أخرى ، أثارت أنظمة إشارات المرور الذكية اهتمام العديد من الباحثين. في هذا العمل ، ندرس تطبيق التعلم المعزز (RL) لى حالة المرور من خلال تقديم نظام ذكي للتحكم في ضوء الإشارة (SICoFS) يعتمد النهج المقترح على أداتين : JADE (إطار تطوير عامل جافا) لتنفيذ أنظمة متعددة الوكلاء، و SUMO (محاكاة التنقل الحضري) للمحاكاة الجهرية لحركة المرور الحضرية. يمكن لهذا النهج تتبع جميع تغييرات حالة حركة المرور في الوقت الفعلي باستخدام التحكم التكيفي. بالمقارنة مع النظام الثابت ، فإن النتائج التي تم الحصول عليها مرضية للغاية ، ونظامنا قادر على تقليل الوقت ووقت الانتظار بمعدل ٧٩ بالمائة وانبعاثات الهواء بمقدار ٦ بالمائة .

كلمات مفتاحية : التعلم المعزز ، المحاكاة العيانية ، التنقل ، حركة المرور في المدن ، التحكم التكيفي.

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Liste des abréviations	vii
Introduction générale	1
1 Généralités sur le contrôle des feux tricolores	3
1.1 Introduction	3
1.2 Terminologie	3
1.2.1 Définition d'un feu de circulation tricolore	3
1.2.2 Système de gestion des feux tricolores	4
1.2.3 Flux de véhicules	4
1.2.4 Phase d'un feu	4
1.2.5 Cycle d'un feu	4
1.2.6 Carrefour	5
1.3 Histoire et l'évolution des systèmes de gestion des feux tricolores	5
1.3.1 Phase 1 - L'apparition des feux de circulation	5
1.3.2 Phase 2 - L'introduction des plans temps fixe	6
1.3.3 Phase 3 - Signal actionné par le véhicule	6
1.3.4 Phase 4 - Systèmes de transport intelligents	6

1.4	Vue générale sur les différentes approches de contrôle des feux de signalisation	6
1.4.1	Contrôle du signal pré-temporisé	7
1.4.2	Commande de signal actionnée par le véhicule	7
1.4.3	Contrôle adaptatif du signal	10
1.5	Impacts environnementaux	15
1.5.1	Les émissions du secteur des transports	15
1.5.2	L'énergie durable et écologique	16
1.5.3	Les énergies renouvelables et les émissions de CO2	16
1.5.4	L'énergie durable et écologique dans le domaine de transport	17
1.6	Conclusion	17
2	Modélisation et simulation du contrôle des feux tricolores	18
2.1	Introduction	18
2.2	Modélisation	18
2.2.1	Définir le terme modèle	18
2.2.2	Définition de modélisation	19
2.3	Simulation	19
2.3.1	Définition	19
2.3.2	Types de simulations	20
2.4	Avantages de la modélisation et de la simulation	21
2.5	Outils de simulations du contrôle des feux tricolores	21
2.5.1	AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks)	21
2.5.2	ARCHISIM	22
2.5.3	CORSIM (CORridor SIMulation)	22
2.5.4	TRANSIMS (TRansportation ANalysis and SIMulation System)	22
2.6	SUMO	23
2.6.1	Introduction	23
2.6.2	Définition de SUMO	23
2.6.3	Caractéristiques	23
2.6.4	Utilisation de SUMO pour le contrôle des feux tricolores	24
2.6.5	L'outil netedit	25

2.6.6	Génération de réseau routier sur SUMO	26
2.7	Conclusion	29
3	Un système intelligent de contrôle des feux des signalisation	30
3.1	Introduction	30
3.2	Formulation du problème	30
3.2.1	Les états	30
3.2.2	Les actions	31
3.2.3	La fonction de récompense	32
3.3	Les défis de l'application de l'apprentissage par renforcement au contrôle des feux de signalisation	32
3.4	Un Système Intelligent de Contrôle des Feux de Signalisation SICoFS . . .	33
3.5	Mesure de la récompense (reward) en utilisant une Q-fonction	35
3.5.1	L'influence de Q-fonction sur la performance de l'agent RL	37
3.6	Architecture du SICoFS	38
3.6.1	Le comportement des agents dans le SICoFS	40
3.7	Conclusion	42
4	Expérimentations et résultats	43
4.1	Introduction	43
4.2	Conception de scénario pour l'expérimentation	43
4.3	TLS statique	45
4.3.1	Les conflits possibles entre les voies	46
4.3.2	Les groupes des voies qui peuvent circuler ensemble	47
4.3.3	Le contrôle de programme statique	48
4.4	Étude comparative	49
4.4.1	SICoFS vs Système Statique	52
4.4.2	L'impact de trafic sur les valeurs négatives et positives	54
4.5	Conclusion	56
	Conclusion générale	57

Table des figures

1.1	Plan d'un cycle composé de quatre phase [5]	5
1.2	Contrôle du signal pré-temporisé [21]	7
1.3	Commande de signal actionnée par le véhicule [20]	8
1.4	TRANSYT [4]	9
1.5	SCOOT [5]	9
1.6	Contrôle adaptatif du signal [19]	11
1.7	Processus Décisionnels de Markov [18]	12
1.8	Le temps d'attente moyen par véhicule (Q-Learning/pré-temporisé) [7]	13
1.9	Émissions totales de gaz à effet de serre provenant des transports aux États-Unis 1990-2017 [22]	16
2.1	Modélisation [24]	19
2.2	Les modèles de simulation	20
2.3	La création de plusieurs intersections liées [39]	28
3.1	L'état de trafic	31
3.2	Les différents chemins d'intersection	32
3.3	Architecture de SiCoFS	33
3.4	Schéma fonctionnel du système proposé.	34
3.5	La fonction de mesure de récompense	36
3.6	Les résultats d'exécution	37
3.7	Le contrôle du comportement de l'agent par Q-fonction	38
3.8	Comportement des agents dans SiCoFS	41
3.9	La relation entre SUMO et SiMMU et SiCoFS	42

4.1	Le réseau	44
4.2	L'intersection	44
4.3	netedit	45
4.4	L'intersection avec les voies	46
4.5	Les phases des feux dans l'intersection	47
4.6	Le fichier Xml	48
4.7	État actuel (rouge-jaune-vert) du système des feux de signalisation (0 : indique un feu rouge, 1 : indique un feu jaune, 2 : indique un feu vert) . . .	49
4.8	Le nombre total de véhicules sur chaque bord	50
4.9	Le temps d'attente moyen de chaque bord.	50
4.10	Le nombre totale de véhicules arrêtés derrière le feu rouge.	51
4.11	Le temps d'attente moyen	52
4.12	Les émissions co2	52
4.13	Variation de Delta de bord L14	53
4.14	Variation de Delta de bord L15	54
4.15	Variation de Delta de bord L17	54
4.16	Corrélation entre le flux et les valeurs Delta	56

Liste des tableaux

2.1	Tableau de raccourcis [39]	27
4.1	Les conflits entre les voies	46
4.2	La liste des groupes	47

Liste des abréviations

CO_2	dioxyde de carbone
TRANSYT	TRAfic Network StudY Toole
TRRL	Transport and Road Research Laboratory
SCOOT	Split Cycle and Offset Optimisation Technique
SCATS	Sydney Co-ordinated Adaptative Traffic System
XML	Extensible Markup Language
PRODYN	PROgrammation DYNamique
CERT	Centre d'Etude et de Recherche de Toulouse
ATCS	Systèmes Adaptatifs de Contrôle du Trafic
SARL	Single Agent Reinforcement Learning
RL	Reinforcement Learning
SBC	State Bit for Congestion
EnR	énergies renouvelables
UTC	Urbain Traffic Control
TRANSYT	Traffic Network Study Tool
TRRL	Transport and Road Research Laboratory
MDP	Markov Decision Process
TC-SBC	Traffic Controller State Bit for Congestion
SICoFS	Système Intelligent de Contrôle des Feux de Signalisation
GTMH	Grands Travaux de Marseille Herlique
ZELT	Zone Expérimentales et Laboratoires de Trafic

GES	Gaz à Effet de Serre
SUMO	Simulation of Urban MObility
CORSIM	CORridor SIMulation
VISSIM	Verkehr In Städten - SIMulationsmodell
DYNASMART	Dynamic Network Assignment-Simulation Model for Advanced Roadway Telematics
TraCI	Traffic control interface
CSV	valeurs séparées par des virgules (comma-separated values)
ns2 / ns3	network simulator
EPL	Eclipse Public License
iTETRIS	Integrated Wireless and Traffic Platform for Real-Time Road Traffic Management Solutions
SUMO-GUI	Graphix user interface
OSM	Open Street Map
DUA	Dynamic User assignment
MATsim	Multi-Agent Transport Simulation Toolkit
TLS	Traffic Light System
JADE	Java Agent Development Framework

Introduction générale

La vie actuelle s'appuie sur de nombreuses technologies dans les différents domaines, parmi eux les systèmes de transports pour la circulation des personnes et des véhicules. L'expansion de la zone géographique et les aires résidentielles ainsi que la demande croissante d'infrastructures destinées aux routes posent souvent un problème pour ces systèmes. Aujourd'hui la plupart des villes connaissent des embouteillages étouffants, ce qui entraîne des retards dans les déplacements et une augmentation des émissions. Selon les statistiques les émissions de domaine de transport font partie de principaux facteurs du changement climatique mondial. Pour cela il est impératif de quantifier les impacts environnementaux du trafic routier lors de la planification et de la gestion de transport.

Dans ce projet, nous avons concentré sur les systèmes intelligents de contrôle des feux de signalisation, une des prometteuses solutions pour augmenter le flux de trafic, fournir une gestion efficace au niveau d'intersections et une mobilité urbaine sûre et écologique. À cet égard les approches basées sur l'apprentissage automatique présentent une solution adaptée capable de produire une gestion dynamique et adaptative du trafic, en optimisant la performance du système de contrôle des feux de signalisation.

L'objectif de ce projet est de proposer un système intelligent de contrôle des feux de signalisation basé sur l'apprentissage automatique, plus précisément l'apprentissage par renforcement. La proposition sera validée à l'aide de la simulation microscopique en utilisant le simulateur SUMO.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre sert à identifier et définir les concepts clés liés au sujet, puis présenter quelques systèmes existants et d'autres systèmes proposés dans la littérature, en parlant aussi de l'énergie durable et écologique dans le domaine du transport ur-

bain/mobilité. Enfin on souligne l'importance de l'utilisation des systèmes de contrôle des feux de signalisation.

Dans le deuxième chapitre on parle de la modélisation et la simulation du contrôle des feux tricolores et l'outil SUMO.

Dans le troisième chapitre on passe à notre proposition, la réalisation et l'implémentation d'un système intelligent de contrôle des feux de signalisation basé sur l'apprentissage par renforcement.

Le quatrième chapitre sert à présenter les expérimentations et les résultats, plus une comparaison du système proposé avec un système statique, dans le but de montrer l'efficacité et la performance de l'approche présentée.

Nous concluons finalement par une conclusion de ce qu'a été réalisé, des perspectives et des futurs travaux à accomplir.

Généralités sur le contrôle des feux tricolores

1.1 Introduction

Aujourd'hui, la plupart des villes sont confrontées à des embouteillages et un trafic paralysé. Cette surcharge affecte les différents secteurs, notamment l'économie, la santé et le secteur de l'environnement. Cela est dû à la croissance rapide des infrastructures urbaines et l'augmentation du nombre de personnes et des véhicules de transport.

Les systèmes de contrôle des feux de signalisation traditionnels ont trouvé leurs limites, il est donc nécessaire et impératif de développer un nouveau système intelligent qui s'adapte dynamiquement aux conditions de trafic actuelles. Le nouveau système se trouve devant le défi de donner des résultats plus efficaces et plus rentables tels que la réduction de la congestion et le maintien du système de circulation tout en protégeant l'environnement en réduisant les émissions toxiques (CO_2) et en gagnant du temps.

1.2 Terminologie

1.2.1 Définition d'un feu de circulation tricolore

Définition 1 : Selon le grand dictionnaire terminologique multilingue «un feu de circulation tricolore est un dispositif électrique automatisé utilisant en alternance un signal lumineux vert, jaune ou rouge pour contrôler la circulation routière aux carrefours».

Définition 2 : Un feu de circulation routière est un dispositif permettant la régulation du trafic routier entre les usagers de la route, les véhicules et les piétons. Les feux sont généralement de type tricolore, auxquels peuvent s'ajouter des flèches directionnelles.

Ceux destinés aux piétons sont bicolores et se distinguent souvent par la reproduction d'une silhouette¹ de piéton. Ils utilisent un système électronique contrôlé avec trois couleurs principales. La couleur rouge indique l'obligation d'arrêter aux véhicules. La couleur orange avant de passer de rouge à vert. La couleur verte indique la permission de franchir l'intersection. La raison derrière le choix de ces couleurs est qu'elles se distinguent [5].

1.2.2 Système de gestion des feux tricolores

Le système de gestion des feux tricolores est un système utilisé pour surveiller et contrôler le flux aux carrefours, en assurant la fluidité des déplacements des véhicules sur les routes et la sécurité en partageant dans le temps l'utilisation d'un même espace entre des flux conflictuels. Il permet également de gérer le flux de la demande [4, 16].

1.2.3 Flux de véhicules

Un flux de véhicules est l'ensemble des véhicules entrant par une voie donnée et ressortant par une autre. Les différents ensembles de flux provenant de sources multiples constituent le trafic dans les intersections. Deux flux sont cohérents s'ils peuvent évacuer l'intersection simultanément [5].

1.2.4 Phase d'un feu

Une phase d'un feu est une durée pendant laquelle un feu passe par les trois états, c'est-à-dire effectue une séquence d'allumages [32].

1.2.5 Cycle d'un feu

C'est une période pendant laquelle l'ensemble des feux effectuent leur phase, permettant successivement l'admission de tous les courants de véhicules dans le carrefour [32].

1. Indique à un piéton qu'il peut traverser la chaussée dans le passage réservé à cette fin.

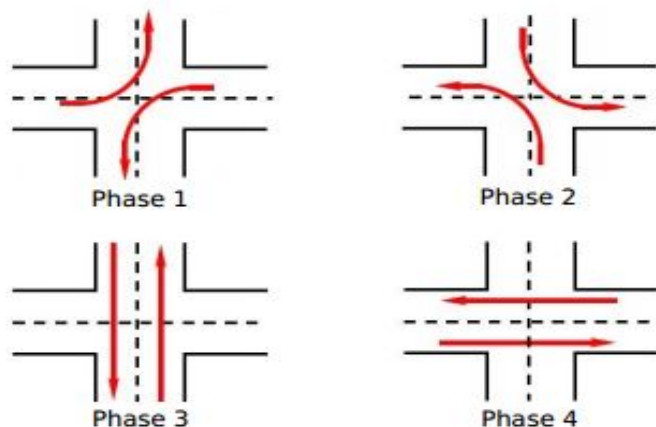


FIGURE 1.1 – Plan d'un cycle composé de quatre phase [5]

1.2.6 Carrefour

Un carrefour est défini comme étant une intersection de plusieurs rues où différents flux de véhicules doivent circuler de manière ordonnée. Un ensemble de carrefours constitue un réseau[33].

1.3 Histoire et l'évolution des systèmes de gestion des feux tricolores

Au cours du dernier siècle, la gestion des feux tricolores a été une série de développements, en suivant les exigences routières et l'augmentation constante de la demande des véhicules. Les facteurs clés influençant le contrôle du trafic urbain sont : l'augmentation du nombre de véhicules sur le réseau routier, les progrès et les limites de la technologie et le désir de maximiser la mobilité durable [17].

1.3.1 Phase 1 - L'apparition des feux de circulation

Depuis 1868 à 1920, le feu de circulation original alimenté au gaz était basé sur des conceptions ferroviaires et n'avait que deux couleurs, rouge et vert. Les signaux étaient gérés manuellement par des agents de police. Le mât placé mesurait 24 pieds de haut et pouvait être vu sur tous les côtés de l'intersection, afin d'améliorer la visibilité du contrôleur de la circulation. Cependant, le problème de ce système était l'absence de

technologie et le contrôle automatique (la nécessité de la présence de policiers). Malheureusement, les premiers feux de circulation au Royaume-Uni n'ont pas duré longtemps, parce qu' ils ont explosé moins d'un mois après l'installation [17].

1.3.2 Phase 2 - L'introduction des plans temps fixe

Vers 1920-1980 cette phase a vu les véritables débuts de contrôle de trafic urbain (UTC), car la congestion croissante a conduit à une prise de conscience parmi les décideurs aux problèmes du trafic et par conséquent défini les objectifs de base pour tous les systèmes de gestion des feux tricolores [17].

1.3.3 Phase 3 - Signal actionné par le véhicule

Des années 1970 à nos jours le problème ennuyeux de congestion reste d'actualité. Le gouvernement britannique a poursuivi ces recherches pour améliorer les technologies actuelles, un financement a été accordé pour la recherche et le développement afin de trouver une meilleure solution au problème. Dans le but de promouvoir l'efficacité du réseau urbain le gouvernement a lancé plusieurs projets à Londres et à Glasgow, c'était la naissance de système de signal actionné par le véhicule [17].

1.3.4 Phase 4 - Systèmes de transport intelligents

Depuis 1997 à présent, les systèmes de gestion des feux tricolores les plus avancés sont désormais intégrés de manière plus centralisée avec d'autres systèmes de gestion afin de réduire la congestion et d'améliorer l'efficacité du réseau. Cela a été rendu possible grâce à un certain nombre de technologies avancées, la plupart sont des améliorations des techniques de détection et l'intégration des agents intelligents (Machine Learning)[17].

1.4 Vue générale sur les différentes approches de contrôle des feux de signalisation

Les stratégies de contrôle des feux de signalisation peuvent être catégorisées comme suit :

1.4.1 Contrôle du signal pré-temporisé

Cette approche consiste à prérégler la synchronisation du signal vert. Le cycle de feu est répété constamment quelle que soit la présence ou l'absence de demande du trafic. La durée du signal vert peut varier par exemple longue durée pendant les heures de pointe et courte durée durant les nuits tardives. Le problème avec cette méthode est qu'elle ne gère pas les conditions de circulation d'une manière dynamique[3].

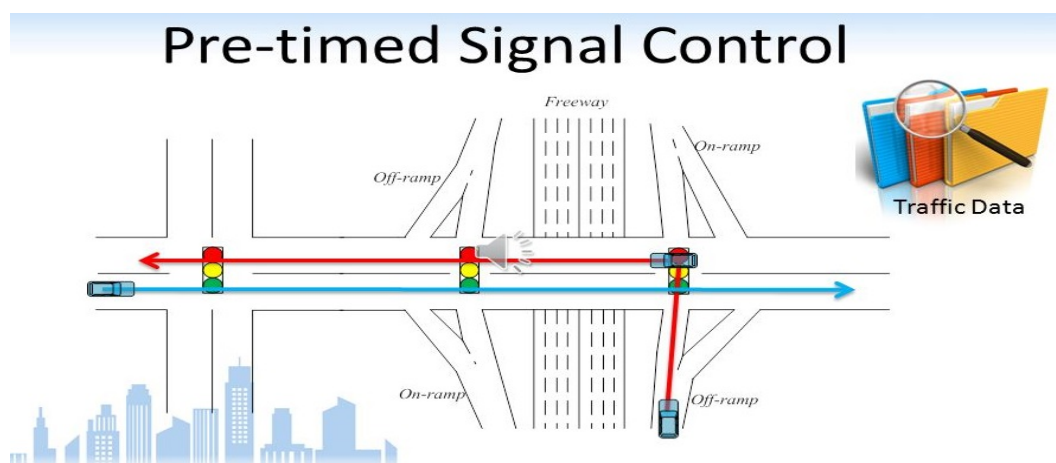


FIGURE 1.2 – Contrôle du signal pré-temporisé [21]

1.4.2 Commande de signal actionnée par le véhicule

Cette approche peut gérer le trafic d'une manière dynamique (le changement de signal dépend des véhicules ou des autres informations sur la demande du trafic). Toutes ces informations déterminées à partir de détecteur placé dans ou à proximité de la chaussée de passage piéton à chaque intersection pour contrôler les signaux, par exemple prolonger ou terminer une phase verte.

Le problème avec cette approche est plutôt financier, les coûts initiaux et les coûts de maintenance sont plus élevés que ceux des autres types de contrôle en raison de la quantité de la détection requise [1].

Les différents types de détecteurs utilisés pour la détection des véhicules sont les suivants[1] :

- Détecteurs à boucle inductive.
- Détecteurs magnétomètres.

- Détecteurs magnétiques.
- Détecteurs sensibles à la pression.
- Détecteurs de radar.
- Détecteurs soniques.
- Détecteurs de micro-boucles, etc.

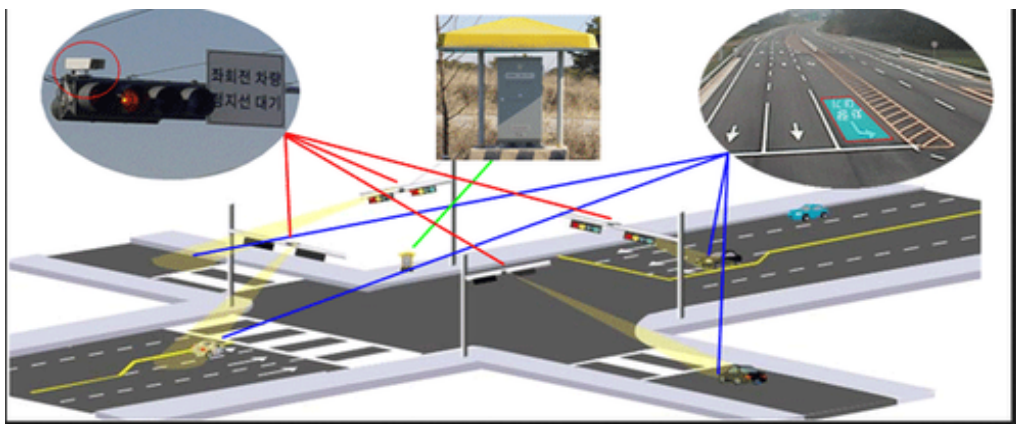


FIGURE 1.3 – Commande de signal actionnée par le véhicule [20]

Quelques systèmes parlent sur le commande de signal actionnée par le véhicule

1.4.2.1 TRANSYT

Le premier modèle commercialisé est le TRANSYT (Traffic Network Study Tool) c'est un programme d'optimisation de la commande des feux en temps fixe. La première version de TRANSYT a été développée par le TRRL (Transport and Road Research Laboratory) en Grand-Bretagne 1967. Il a continué à être amélioré, sa dernière version (version 10 new release) date de 1996. TRANSYT est également devenu un système de référence pour l'évaluation de l'efficacité des systèmes de régulation temps réel[4].

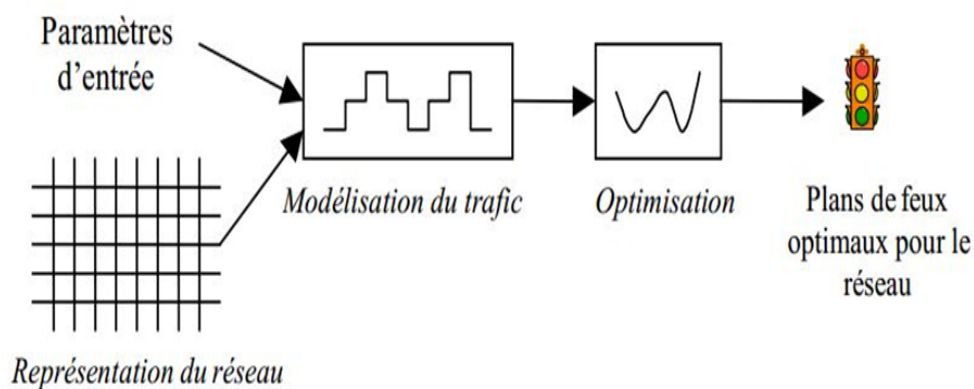


FIGURE 1.4 – TRANSYT [4]

1.4.2.2 SCOOT

SCOOT (Split Cycle and Offset Optimisation Technique) est un système entièrement adaptatif qui recueille les données à partir de détecteur placé sur les routes, puis il calcule les paramètres qui réduisent le retard et les arrêts. Le système SCOOT a été testé et évalué dans un certain nombre d'essais sur le terrain en utilisant la technique d'enquête sur les voitures flottantes[34].

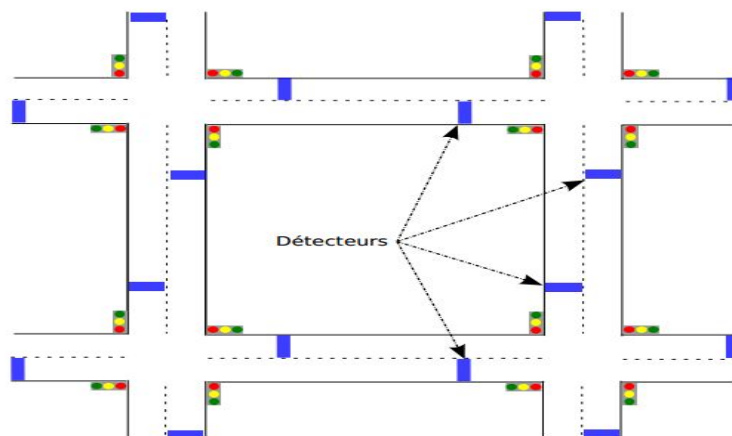


FIGURE 1.5 – SCOOT [5]

1.4.2.3 SCATS

SCATS (Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System) [Lowrie, 1982; Mammari, 2007; Tilig, 2015] est un système partiellement décentralisé et adaptatif à la situation du trafic. SCATS utilise les données des capteurs installés sur les routes. Comme SCOOT, SCATS est installé dans beaucoup de villes dans le monde et principalement en Australie (dans les villes contenant plus de 10 millions d'habitants). La différence avec SCOOT est que SCATS est un système hiérarchique qui dépend fortement du choix des bibliothèques des durées de feu vert et des décalages.

1.4.2.4 PRODYN

PRODYN (PROgrammation DYNamique) a été développé au début des années 1980 par le CERT (Centre d'Études et de Recherches de Toulouse) [Herny et al., 1990], [Fragas et al., 1991]. Il a été testé sur la ZELT (Zone Expérimentales et Laboratoires de Trafic de Toulouse) [Olivero, 1994], de 1987 à 1990. Il est actuellement industrialisé par les sociétés Garbarini et GTMH et implanté à Bruxelles, Niort, Toulouse, Biarritz, Neuilly-sur-Seine, Pau et Rouen [4].

-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 [5].

1.4.3 Contrôle adaptatif du signal

Les systèmes adaptatifs de contrôle du trafic (ATCS), également appelés systèmes de contrôle du trafic en temps réel. Dans ce contrôle les durées des signaux sont automatiquement changées en fonction de l'état actuel de l'intersection (c-à-d : la demande de trafic, la file d'attente, la longueur des véhicules dans chaque voie de l'intersection et la fluctuation de flux de trafic) [2, 3]. Sous ce rapport les algorithmes d'apprentissage par renforcement offrent des solutions adaptatives pour ce genre de systèmes.

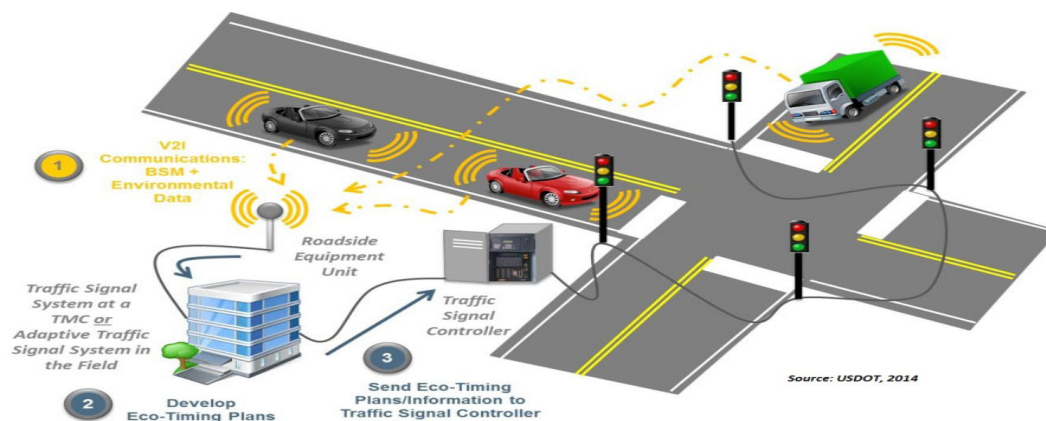


FIGURE 1.6 – Contrôle adaptatif du signal [19]

Le terme apprentissage par renforcement décrit une classe d’algorithmes qui ont la capacité d’apprendre par l’expérience. Au sens très basique RL est une simple boucle contenant un agent interagissant avec un environnement.

Tout d’abord, l’agent reçoit des données (état S_0) de l’environnement en fonction de cet état, l’agent prend une action A_0 pour aller à un nouvel état S_1 , le passage de S_0 à S_1 appelé transition T. L’environnement donne à l’agent une récompense (reward) pour chaque transition. Après avoir fait cela séquentiellement (en boucle) si l’agent obtient une bonne quantité de récompenses, cela signifie que la séquence d’états pris par l’agent et la séquence des actions qui ont conduit à ces états sont optimaux, sinon l’agent obtient une pénalité et il devrait apprendre davantage pour obtenir des récompenses plus élevées. La récompense attendue pour chaque paire (action, état) représentée par Q-value, ça aide l’agent à décider quelle est l’action la plus souhaitable à choisir dans certains états (states). Ces valeurs sont stockées généralement dans une matrice qui représente toutes les connaissances apprises par l’agent RL[6].

Généralement les problèmes auxquels les techniques RL sont appliquées sont traités comme un Processus Décisionnels de Markov (PDM) :

- **Markov Decision Process**

Un MDP est défini comme cinq-tuple $\langle S; A; T; R; \gamma \rangle$, où S est l’ensemble des états dans l’espace d’états de l’environnement, A est l’ensemble des actions dans l’espace d’actions que l’agent peut utiliser pour interagir avec l’environnement, T est la fonction de transition qui est la probabilité de se déplacer entre les états de l’environnement, R est la fonction de récompense et $\gamma \in [0; 1]$ est connu comme le facteur de remise, qui modélise

l'importance des récompenses futures et immédiates[3].

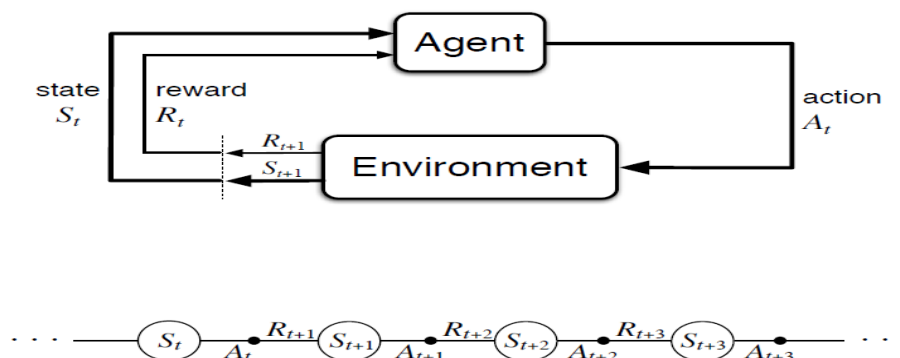


FIGURE 1.7 – Processus Décisionnels de Markov [18]

Quelques systèmes parlent sur le contrôle adaptatif du signal :

1.4.3.1 Approches d'apprentissage par renforcement par un seul agent

Les SARL (Single Agent Reinforcement Learning) représentent les applications existantes les plus évidentes de RL dans le contrôle du trafic [6]. Cette méthode prévoit l'utilisation d'un seul agent pour contrôler une seule jonction, et conçue d'être utilisée pour les intersections isolées qui ne font pas partie d'un grand réseau urbain (par exemple, les jonctions dans les petites villes). Une des approches basées sur SARL celle de abadullahi et al [7]. Cette approche a été appliquée sur une jonction signalisée biphasée et isolée, en utilisant l'algorithme Q-Learning² pour contrôler le réseau de trafic. L'agent Q-Learning a montré une performance égale avec les signaux pré-temporisés sur un flux constant et surpasse remarquablement le signal pré-temporisé sur un flux variable[6].

2. Une technique d'apprentissage par renforcement

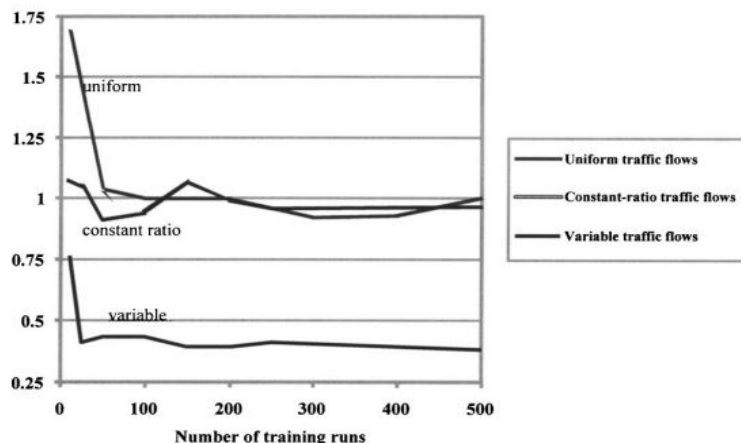


FIGURE 1.8 – Le temps d’attente moyen par véhicule (Q-Learning/pré-temporisé) [7]

1.4.3.2 Approches d’apprentissage par renforcement multi-agents

Le cadre multi-agents est basé sur la même idée du processus de décision MARCOV, la déférence est la dépendance de plusieurs agents au lieu d’un seul agent. Chaque agent peut décider et exécuter l’action sur l’environnement et peut avoir des résultats différents en fonction de ce que les autres agents font, c’est précisément la différence qui pose des problèmes lors de l’application des techniques d’apprentissage par renforcement au domaine multi-agents[8]. L’utilisation de plusieurs agents peut conduire aussi à une sorte d’égoïsme et concurrence entre les agents, chaque agent se concentre sur sa propre Q-value³ et faisant tout pour le rendre maximal même si cela affecte les Q-values des autres agents, parmi les approches les plus connues :

- **TC-SBC** Cette méthode prend en considération les situations de trafic à d’autres endroits du réseau de trafic en étendant l’espace d’états avec une autre dimension. Cette dimension représente toutes les informations qui concernent la congestion dans les intersections. Cela conduit à une augmentation remarquable de l’espace d’états et donc un apprentissage très long [9].

3. Une fonction qui montre l’utilité d’une action dans un état donné, pour un agent qui suit une politique.

Cette méthode est appelé «State Bit for Congestion» (TC-SBC) la fonction Q-value $Q_{pl_i}(S_{pl_i}, a_i)$ est étendu à $Q_{pl_i}(S_{pl_i}, C_{pl_i}, a_i)$ ou $C_{pl_i} \in [0, 1]$ est un bit unique indiquant le niveau de congestion à la prochaine voie pour le véhicule actuellement à P_i .

Si la congestion à la voie suivante dépasse un seuil, alors $C_{pl_i} = 1$ sinon il est mis à 0.

pour chaque véhicule, un facteur de congestion réel K est calculé :

$$K_{dest_{pl_i}} = \frac{W_{dest_{pl_i}}}{D_{dest_{pl_i}}}$$

Où $W_{dest_{pl_i}}$ est le nombre de véhicules sur la voie de destination

$dest_{pl_i}$ et $D_{dest_{pl_i}}$ est le nombre de postes disponibles sur cette voie de destination $dest_{pl_i}$

Le bit de congestion C_{pl_i} est calculé selon :

$$C_{pl_i} = \begin{cases} 1, & K_{dest_{pl_i}} < \theta \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Où θ représente un seuil.

1.4.3.3 Algorithmes basés sur l'heuristique

Les algorithmes heuristiques sont basés sur la technique de la méta-heuristique conçue pour résoudre les problèmes d'optimisation. Généralement la solution est trouvée rapidement mais elle n'est pas optimale.

Ces algorithmes remplacent les méthodes classiques lorsqu'ils sont incapables de trouver une solution ou prennent trop de temps. Cette approche pourrait également être appliquée pour résoudre le problème du contrôle du trafic. Parmi les exemples les plus connus de ces algorithmes utilisés dans ce cas : recuit simulé, recherche de taboue et intelligence en essaim. Le problème avec cette méthode est le fait qu'elle n'est pas en mesure de donner une solution optimale en raison de la possibilité d'ignorer ou même de supprimer certaines des demandes du problème afin de réaliser la vitesse de calcul la plus élevée. La plupart du temps, les résultats finaux manquent d'exactitude et de précision [15].

1.4.3.4 Logique floue

Les algorithmes de la logique floue permettent de trouver des solutions à des problèmes généraux avec beaucoup d'alternatives et critères en imitant la compréhension humaine. La synchronisation des feux de signalisation est peut être classée comme un processus décisionnel à critères multiples [10].

La logique floue donne la possibilité de raisonner d'une manière formelle tous les fluctuations de trafic sur le réseau par exemple : s'il y a plus de trafic du est au ouest, les lumières doivent rester vertes plus longues. Le moment de changement d'état pour les feux de circulation et le passage d'un état à un autre est déterminé par le contrôleur de logique floue. L'ordre est prédéterminé, mais le contrôleur dispose d'une sorte de flexibilité dans son choix, en fonction de l'état du trafic. Le nombre de véhicules arrivant et en attente est quantifié en variables floues, comme beaucoup, moyen et aucun. L'activation des variables dans une certaine situation est donnée par une fonction d'adhésion, donc quand il y a 5 voitures dans la file d'attente, cela peut entraîner une activation de 25% de beaucoup et de 75% moyen.

L'inconvénient du contrôleur flou est le fait qu'il s'appuie sur des valeurs de quantification prédéfinies pour les variables floues. Il peut échouer dans un flux de trafic plus varié [11]. Parmi les approches qui existent l'utilisation d'un contrôleur à logique floue sur une seule intersection [tan et all(1995)].

1.5 Impacts environnementaux

1.5.1 Les émissions du secteur des transports

Être bloqué dans la circulation ne représente pas seulement une expérience frustrante pour les automobilistes mais contribue également à l'augmentation de volume d'émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Pour cela des systèmes intelligents de contrôle des feux de circulation sont proposés.

De 1990 à 2017, les émissions totales aux États-Unis liées aux transports ont augmenté selon la figure suivante [22].

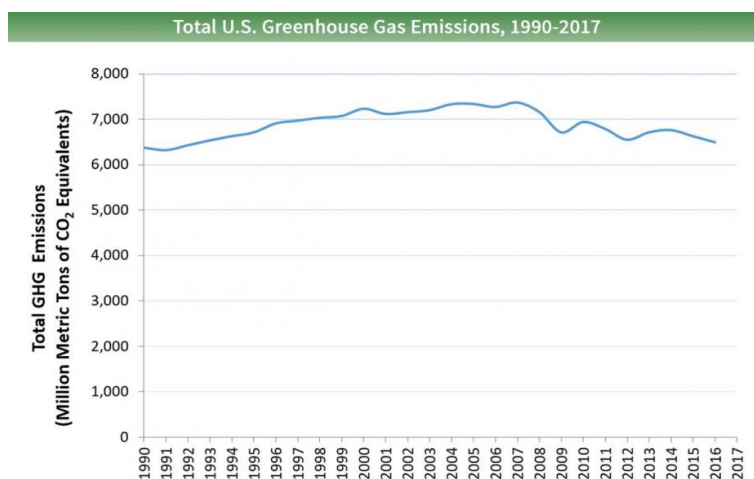


FIGURE 1.9 – Émissions totales de gaz à effet de serre provenant des transports aux États-Unis 1990-2017 [22]

Pour diminuer l'intensité de carbone plusieurs pistes peuvent être envisagées parmi eux l'énergie durable et écologique (l'énergie renouvelable).

1.5.2 L'énergie durable et écologique

Les énergies renouvelables (ou EnR) désignent un ensemble de moyen de production d'énergie à partir de sources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstructibles plus que consommées.

Ils sont produits à partir de sources comme les rayons du soleil, ou le vent.

Ils sont également désignés par les termes « énergies verts » ou « énergies propres »[12].

1.5.3 Les énergies renouvelables et les émissions de CO₂

Les énergies renouvelables tell que le vent, l'eau et l'électricité sont considérées comme l'une des solutions les plus efficaces pour réduire le pourcentage élevé de dioxyde de carbone dans l'air et les émissions de gaz nocifs qui contribuent à l'exacerbation du réchauffement climatique. De plus, les EnR sont moins chères que les sources fossiles car elles sont extraites de sources durables et respectueuses de l'environnement. Récemment, les autorités ont exprimé leur volonté d'exploiter ces ressources, certains projets sont apparus, notamment dans le domaine des transports, tell que les voitures électriques et les voitures hybrides.

1.5.4 L'énergie durable et écologique dans le domaine de transport

Le secteur de transport représente actuellement environ deux tiers de consommation de pétrole et un tiers des émissions de gaz à effet de serre (GES) aux États Unis. L'adoption de politiques et de technologies de l'énergie durable améliore la sécurité énergétique et ralentit le changement climatique, mais leur application fait face à de nombreux défis notamment dans le domaine du transport. Le passage de l'utilisation du carburant à l'énergie durable nécessite des efforts et une volonté de la part des décideurs. Les autorités doivent accélérer le démarrage de cette transformation et l'intégration de ces technologies dans le domaine du transport, pour réduire les émissions GES et de les adopter progressivement dans le reste des domaines [13].

Afin d'atténuer le problème de la non-durabilité du secteur de transport, il est indispensable de réorganiser la mobilité urbaine en s'appuyant sur des sources d'énergie moins chères et plus respectueuses de l'environnement. Beaucoup d'initiatives ont été lancées à cet égard parmi eux les véhicules électriques et la reconsidération des systèmes de contrôle des feux de signalisation par l'exploitation de l'intelligence artificielle et les agents intelligents afin de réduire la congestion sur les routes. Le passage à la politique d'énergie durable et écologique nécessite également une participation citoyenne, une transparence de l'information et une éducation sociale plus complète pour promouvoir la durabilité intégrée [14].

1.6 Conclusion

Les systèmes de contrôle des feux de signalisation jouent un rôle important dans la gestion du trafic urbain et la circulation des véhicules et des piétons en assurant que tous les usagers de la route partagent le même espace en toute sécurité. Ces systèmes doivent également réduire la pollution en limitant les émissions de gaz et le bruit et en maîtrisant les retards. L'accomplissement de ces considérations reste un défi pour les chercheurs imposé par les évolutions en cours et l'émergence de villes intelligentes.

Modélisation et simulation du contrôle des feux tricolores

2.1 Introduction

Les simulations sont utilisées pour tester de nouveaux systèmes avant leur implémentation dans le monde réel. Parmi les scénarios simulés, le trafic routier et le transport, en particulier les systèmes de contrôle des feux de circulation.

Généralement il n'est pas pratique d'implanter ces systèmes directement dans des réseaux réels à cause de leur complexité et leur dépendance. Les coûts et les risques de telle expérience peuvent être très élevés. Dans le cas de trafic la simulation donne l'accès à un environnement virtuel complet des routes et permet de récupérer des informations sur les objets simulés en temps réel. Aussi elle prend en charge la détection et l'analyse des incidents. Il existe plusieurs outils de simulation parmi eux on a choisi SUMO (Simulation of Urban MObility).

2.2 Modélisation

2.2.1 Définir le terme modèle

Définition 1 : Un modèle est une abstraction d'un système, modélisé sous la forme d'un ensemble de faits construits dans une intention particulière. Un modèle doit pouvoir être utilisé pour répondre à des questions sur le système modélisé [28].

Définition 2 : « Un modèle est une représentation symbolique de certains aspects d'un objet ou d'un phénomène du monde réel » [Pavé 1994].

2.2.2 Définition de modélisation

Définition 1 : La modélisation est un processus par lequel on organise les connaissances portant sur un système donné [45].

Définition 2 : Modéliser c'est abstraire de la réalité une description d'un système dynamique [45].

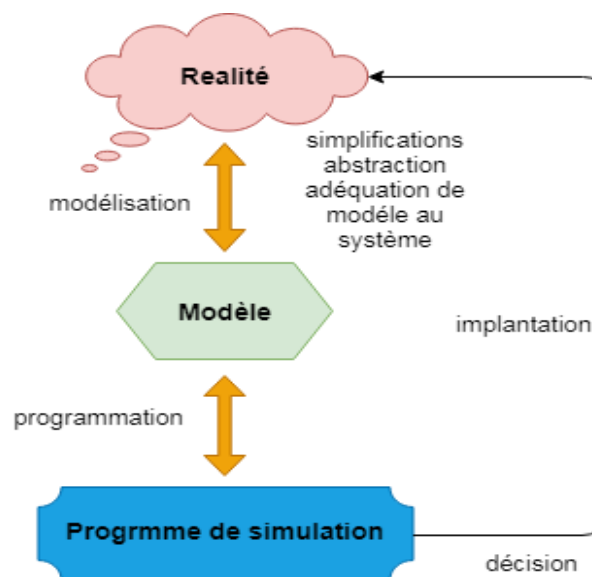


FIGURE 2.1 – Modélisation [24]

2.3 Simulation

2.3.1 Définition

La simulation est la reproduction du comportement dynamique d'un système réel s'appuyant sur un modèle afin d'arriver à des conclusions applicables au monde réel [46].

2.3.2 Types de simulations

Les systèmes de simulation du trafic reposent sur les approches macroscopiques, mésoscopiques ou microscopiques :

Les modèles de simulation **macroscopiques** (ex : METACOR , MASTER, etc.) décrivent l'écoulement global des véhicules d'une manière générale sans entrer dans les détails (par exemple : le comportement de chaque véhicule sur les voies)[25].

Les modèles de simulation **microscopiques**(ex : CORSIM, VISSIM, SUMO) représentent l'évolution individuelle de chaque véhicule en déterminant sa vitesse, sa position et ses interactions. Par conséquent, ils peuvent être utilisés pour représenter le comportement des différents types de véhicules[26].

Les modèles **mésoscopiques** sont développés pour combler l'écart entre la famille des modèles microscopiques qui décrivent le comportement des véhicules individuels et la famille des modèles macroscopiques qui décrivent le trafic comme un flux continu (ex : CONTRAM, DYNASMART, etc)[27].

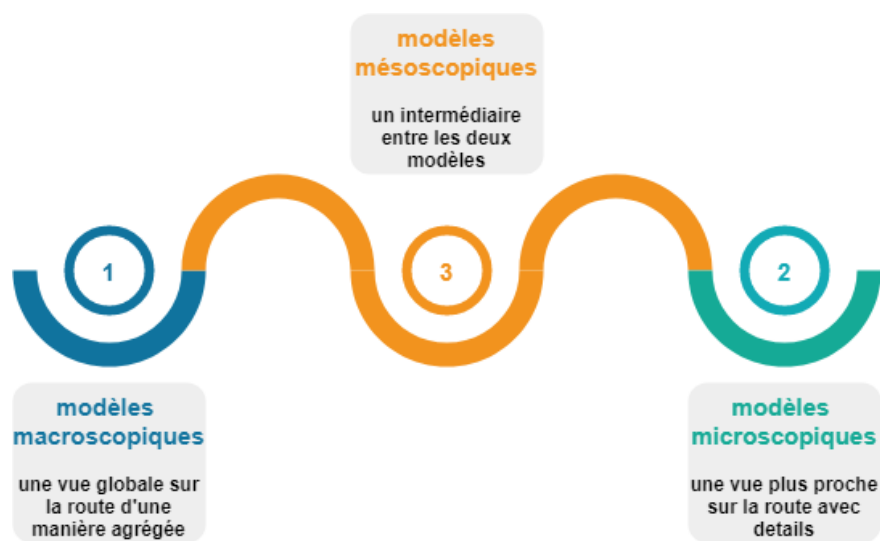


FIGURE 2.2 – Les modèles de simulation

2.4 Avantages de la modélisation et de la simulation

Le processus de modélisation est une abstraction du monde réel. En utilisant des modèles graphiques et la simulation des projets scientifiques et d'ingénierie peuvent être vus et testés en toute sécurité avant les planter dans un environnement réel.

Dans cette liste ci-dessous, on présente quelques avantages pratiques de la simulation et la modélisation [43] :

- Peut être plus sûr et moins cher que le monde réel.
- Capable de tester un produit ou le fonctionnement d'un système avant de le construire.
- Utiliser pour trouver des problèmes inattendus.
- Capable de répondre à des nombreuses questions et explorer les alternatives possibles.
- Aide à identifier les facteurs d'influence et leurs corrélations.
- Très utiles dans les opérations de prédiction.
- La simulation et la modélisation aident à découvrir des opportunités d'amélioration.
- Le système peut être étudié en temps réel, en temps compressé ou en temps étendu.

2.5 Outils de simulations du contrôle des feux tricolores

À présent, il existe plusieurs outils de simulation de trafic comme SUMO, MATSim, MITSIMlab, AIMSUN, CORSIM, Paramics, SimTraffic, VISSIM, TRANSIMS, etc. Dans la section suivante on va présenter quelques outils :

2.5.1 AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks)

AIMSUN est fourni par TSS-Transport Simulation Systems (Espagne), il est capable de reproduire les conditions réelles du trafic de tout réseau de transport. Il permet aussi de développer et tester les systèmes de contrôle du trafic, les règles de gestion de trafic, les contrôles d'accès, la localisation des péages, les réseaux de transport publics, les voies. De plus, AIMSUN a la capacité de collaborer avec des systèmes de guidage de véhicule

et d'autres applications en temps réel [31].

2.5.2 ARCHISIM

Développé par l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), est un modèle de simulation comportemental, son implémentation suit les concepts multi-agents. Les conducteurs des véhicules simulés sont des agents. Dans ARCHISIM, on distingue deux types d'éléments simulés : les agents (les conducteurs et piétons) et les objets (des signaux routiers). ARCHISIM se concentre principalement sur les aspects tactiques de la conduite, et étudie la raison derrière eux indépendamment de leur aspect pratique [30].

2.5.3 CORSIM (CORridor SIMulation)

CORridor SIMulation (CORSIM) est un intégrateur des modèles NETSIM¹ et FRESIM² connu pour sa puissance de la simulation microscopique de trafic. Il est conçu pour simuler la circulation sur des réseaux intégrés composés d'autoroutes et de rues en surface. Une application correcte de ce modèle nécessite une compréhension complète et approfondie de ses capacités et limites ainsi que de la théorie sous-jacente du flux de trafic et des hypothèses de modélisation[29].

2.5.4 TRANSIMS (TRansportation ANalysis and SIMulation System)

L'un des premiers outils de simulation développé au Laboratoire National Los Alamos (USA) est un ensemble intégré d'outils pour l'analyse d'un système de transport régional basé sur un automate cellulaire. Il caractérise les voyageurs individuellement en utilisant un nouveau paradigme de modélisation. Par rapport aux méthodes précédentes de prévision de la demande de voyage TRANSIMS est très distingué surtout dans ses concepts et sa structure sous-jacents. Parmi les différences la représentation cohérente et continue du temps et la représentation détaillée des personnes en utilisant un micro simulateur basé sur la personne[31].

1. représente le trafic sur les rues urbaines

2. représente le trafic sur les autoroutes

2.6 SUMO

2.6.1 Introduction

Les simulations sont largement utilisées pour tester de nouveaux systèmes. Dans les réseaux de transport et le trafic, la simulation microscopique en particulier est un outil très précieux. Dans ce projet on a choisi SUMO.

2.6.2 Définition de SUMO

SUMO (Simulation of Urban Mobility) est un progiciel de simulation de trafic routier microscopique, open source et hautement portable, conçu pour gérer des grands réseaux routiers. Il est principalement développé par des employés de l'institut des systèmes de transport du centre aérospatial Allemand sous licence EPL³. C'est purement microscopique chaque véhicule est donné explicitement, défini par un identifiant, l'itinéraire et l'heure de départ, il est même possible de donner plus de détails comme des mouvements individuellement à travers le réseau pour chaque véhicule. Les simulations sont déterministes par défaut mais il existe différentes options pour introduire l'aléatoire[36, 44].

2.6.3 Caractéristiques

SUMO est hautement qualifié, en plus d'être maniable et facile à utiliser, il est distingué d'être rigide et très conçue pour les simulations macroscopiques de trafic, il est caractérisé par [44] :

- Open Source.
- Haute portabilité.
- Interopérabilité élevée grâce à l'utilisation de données XML uniquement.
- Préparer et effectuer une simulation de trafic de manière autonome.
- Multiplicité de méthodes pour la génération de routes (aléatoire, en utilisant une forme géométrique donnée, carte map).
- Vitesse d'exécution rapide (jusqu'à 100 000 mises à jour du véhicule/s sur une machine à 1 GHz).

3. Eclipse Public License

- Différents types de véhicules et rues à plusieurs voies avec changement de voie.
- Interopérabilité avec d'autres applications au moment de l'exécution.

2.6.4 Utilisation de SUMO pour le contrôle des feux tricolores

Grâce à une large Framework avec des outils puissants pour la génération, la validation et l'évaluation de scénarios, Sumo a été fréquemment utilisé dans le contrôle des feux tricolores.

Depuis 2001, le package SUMO est impliqué dans le cadre de plusieurs projets de recherche nationaux et internationaux. Les applications comprenaient [38] :

- Évaluation des feux de circulation.
- Choix d'itinéraire et réacheminement.
- Évaluation des méthodes de surveillance du trafic.
- Simulation des communications véhiculaires.
- Prévisions de trafic.

Récemment sumo a marqué sa présence dans plusieurs projets parmi les :

● iTETRIS

C'est une Framework de simulation qui vise à simuler toutes les interactions possibles entre les véhicules et l'infrastructure des villes. Le but de projet iTETRIS est de développer un tel Framework en couplant le simulateur de communication ns3⁴ et SUMO à l'aide d'un système open source appelé «iCS» [38].

● VABENE

Le trafic est très important pour les grandes villes. Le réseau de trafic est particulièrement affecté aux événements et aux catastrophes, des routes encombrées et trafic interrompu. Les autorités sont chargées de prendre les mesures pour éviter le pire des cas. L'objectif de VABENE est de mettre en œuvre un système qui aide l'autorité publique à décider des actions à faire. Le système affiche l'état actuel du trafic du tout le réseau cela donne aux responsables une anticipation pour les aggravations possibles de

4. network simulator

trafic. Ce système est le successeur des démonstrateurs utilisés lors de la visite du papa en Allemagne en 2005 et pendant la FIFA Coupe du monde en 2006 [38].

● CityMobil

Des simulations microscopiques de trafic permettent d'évaluer les effets à grande échelle des changements de comportement du véhicule ou du conducteur comme l'introduction de véhicules automatisés ou électricité. La première version de CityMobil a été examinée à l'aide de SUMO dans le projet européen CityMobil. La simulation a montré les effets positifs de l'automatisation des transports [37].

2.6.5 L'outil netedit

NETEDIT est un éditeur de réseau visuel. Il peut être utilisé pour créer des réseaux à partir de zéro et pour modifier tous les aspects des réseaux existants. Avec une puissante interface de sélection et de mise en évidence, il peut également être utilisé pour déboguer les attributs de réseau. NETEDIT est construit au-dessus de NETCONVERT⁵. En règle générale, tout ce que NETCONVERT peut faire cet éditeur peut aussi le faire. Il a des capacités illimitées d'annulation/rétablissement et permet ainsi de corriger rapidement les erreurs d'édition. Les commandes d'édition sont généralement émises par un clic gauche (selon le mode d'édition actuel). L'interface utilisateur suit de près celle de SUMO-GUI⁶. Des raccourcis clavier supplémentaires sont documentés dans le menu Aide[39].

Objectif : créer et modifier des réseaux SUMO.

Système : portable (Linux / Windows).

Entrée (facultative) : définitions du réseau routier à importer.

Résultat : Un réseau routier SUMO généré, éventuellement également d'autres sorties.

Langage de programmation : c++.

5. <https://sumo.dlr.de/docs/netconvert.html>

6. Graphix user interface

2.6.6 Génération de réseau routier sur SUMO

SUMO fournit des solutions multiples pour la génération de réseaux routiers. Les réseaux peuvent être générés de manière différente en fonction des demandes de simulations.

2.6.6.1 Construction manuelle de réseau routier

Le réseau peut être généré manuellement via l'outil NETEDIT. Les entrées sont choisies via les menus, NETEDIT peut supporter trois types de fichiers [39] :

- SUMO-net files.
- OSM-files.
- NETCONVERT-configuration files.

Et en obtiens comme sorties :

- SUMO-net files.
- plain-xml files.

Nous présentons ici quelques raccourcis pour la création du réseau :

File shortcuts	Key	Description
New Network	Ctrl + N	Create a new network
Open Network	Ctrl + O	Open an existing network
Open configuration	Ctrl + T	Open an existing SUMO configuration
Import foreign network	Ctrl + F	Import a foreign network
Reload	Ctrl + R	Reload network
Save network	Ctrl + S	Save network
Save network as	Ctrl + Shift + S	Save network in another file
Save plain XML	Ctrl + L	Save network as plain XML
Save joined junctions	Ctrl + J	Save joined junctions of network
Load additional and shapes	Ctrl + A	Load a a file with additional
Save additional and shapes	Ctrl + Shift + A	Save additional in a file
Load demand elements	Ctrl + D	Load a file with shapes
Save demand elements	Ctrl + Shift + D	Save demand elements in a file
Load TLS Programs	Ctrl + K	Load a file with shapes
Save TLS Programs	Ctrl + Shift + K	Save Point Of Interest in a file
Close	Ctrl + W	Close network

TABLE 2.1 – Tableau de raccourcis [39]

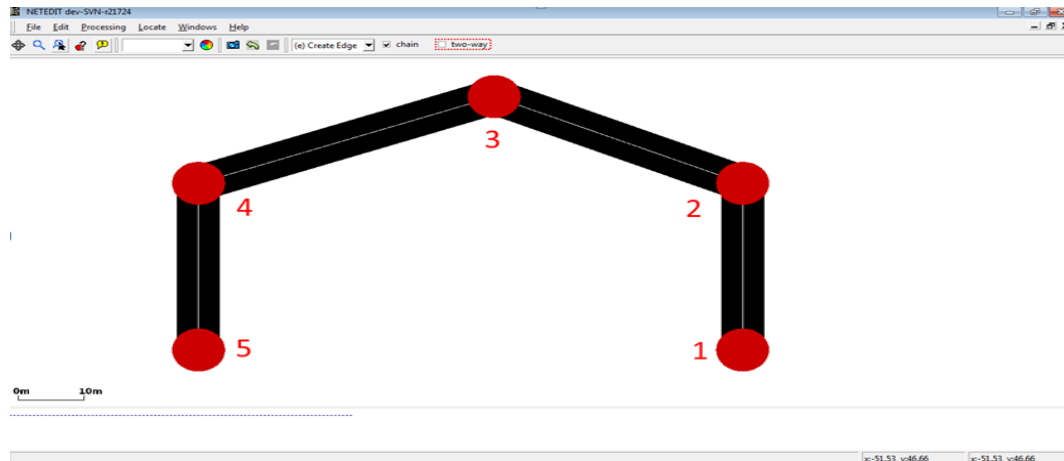


FIGURE 2.3 – La création de plusieurs intersections liées [39]

2.6.6.2 Génération aléatoire

Stochastique est un aspect important pour reproduire la réalité et ajouter plus de crédibilité aux scénarios de simulation. Pour cela DUAROUTER⁷ et JTRROUTER⁸ sont utilisés pour générer des routes aléatoires pour un réseau routier donné avec l'option `-random per-second < FLOAT >`. Ce comportement a été remplacé par un script de génération de trajet aléatoire écrit en python en raison d'un certain nombre de bogues. L'aspect de stochastique ne concerne pas que les routes mais aussi la répartition des types de véhicules, la vitesse et la suivi de véhicules[40].

● Génération en utilisant une forme géométrique donnée :

NETGENERATE permet de créer trois types de routes : grille, araignée et aléatoire. On va présenter deux formes géométriques [41] :

1-Réseaux de type grille :

Dans ce type on peut définir le nombre de jonctions dans les directions x et y, on peut aussi préciser la distance entre eux.

2-Réseaux de type araignée :

Les réseaux d'araignées sont définis par le nombre d'axes qui les divisent, le nombre de cercles dont ils sont constitués et la distance entre ces cercles.

7. <https://sumo.dlr.de/docs/duarouter.html>

8. <https://sumo.dlr.de/docs/jtrrouter.html>

- **Génération à partir d'une carte (map) pour une ville donnée :**

Parmi les solutions très utiles la génération de scénarios de simulation des villes en important une feuille de route numérique. L'importateur de réseau routier «netconvert» permet de lire les réseaux à partir d'autres applications de simulation VISUM, Vissim ou MATsim, et aussi des fichiers OSM (Open Street Map). OSM permet à partir de quelques clics de générer une simulation de scénario en utilisant une interface basée sur un browser. L'utilisateur sélectionne une zone d'affichage de carte avec un ensemble du mode de trafic paramétrés[42].

2.7 Conclusion

La simulation et la modélisation sont parmi les étapes essentielles qui contribuent à la réalisation et à la gestion des projets d'ingénierie. Malgré les avantages que ces techniques procurent, ça reste difficile de créer un modèle ou une simulation entièrement réaliste car il est fondé sur des recherches théoriques et des événements passés. Le principal inconvénient des simulations est qu'elles ne sont pas réelles et que les résultats peuvent être complètement différents de ceux prévus. Les gens peuvent entreprendre des actions inattendues quand ils ont fait face à des situations réelles. Par exemple, ils sont plus susceptibles de paniquer lorsqu'ils sont en danger et cela peut toujours être mal modélisé et simulé.

Un système intelligent de contrôle des feux des signalisation

3.1 Introduction

L'application du contrôle adaptatif au domaine des transports est aujourd'hui nécessaire pour une variété de services de transport intelligents, y compris le processus de contrôle des feux de signalisation. L'utilisation d'agents intelligents et l'exploitation de grands volumes de données environnementales ont permis une gestion active de trafic en augmentant le flux aux intersections, ils ont prouvé aussi leur adéquation aux problèmes marqués. Dans ce chapitre, nous allons présenter en détail notre approche qui est un système intelligent de contrôle des feux de signalisation basé sur l'apprentissage par renforcement.

3.2 Formulation du problème

Afin de résoudre le problème de contrôle des feux de circulation, nous l'avons formulé comme une tâche d'apprentissage par renforcement multi-agents en décrivant les actions les états et la fonction de récompense.

3.2.1 Les états

Les états dans ce cas représentent l'état du trafic aux intersections, ils doivent contenir suffisamment d'informations sur la situation actuel de trafic. Chaque état doit être caractérisé pour décrire précisément l'environnement. Dans les cas réels ces informations

sont récupérées grâce à des capteurs et caméras placés à proximité des intersections mais puisque nous utilisons un environnement virtuel simulé nous capturons ces informations directement à partir de SUMO, nous parlerons à propos de ces informations dans la section (3.4).

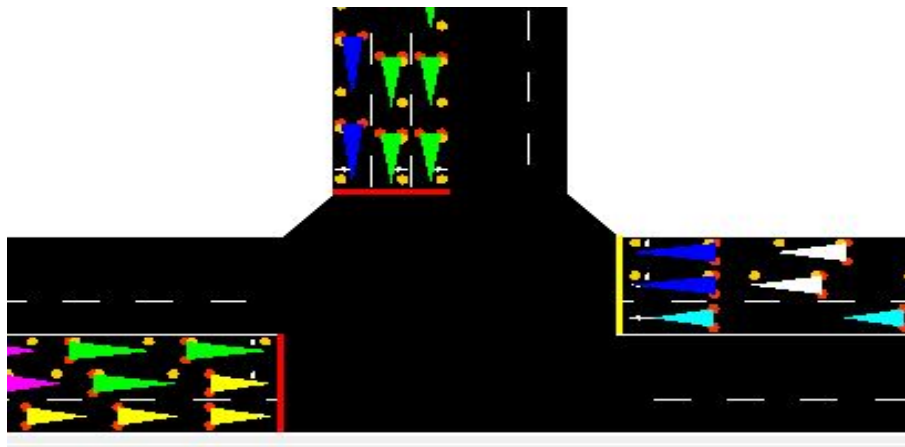


FIGURE 3.1 – L'état de trafic

3.2.2 Les actions

Les actions dans le cas de contrôle des feux de circulation représentent un actionnement sur le système des feux de signalisation en changeant les phases. Puisque nous utilisons SUMO une action sur les feux est formalisée par la fonction préexistante `setRedYellowGreenState(phase :rrrGGGGGrrrrrr)` de Framework TraCI¹. Cette fonction permet de changer la phase des feux d'où chaque lettre du paramètre phase représente la couleur de feu attribué à l'un des chemins possibles pour chaque véhicule situé dans l'une des voies de différents bords comme la figure suivante montre :

1. Traffic control interface

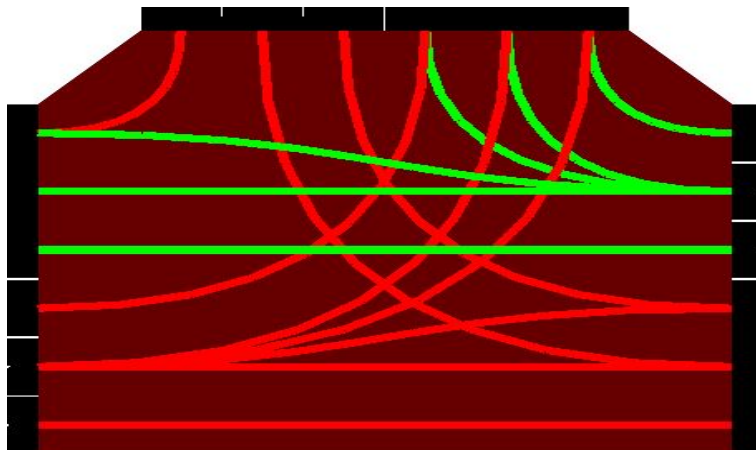


FIGURE 3.2 – Les différents chemins d'intersection

3.2.3 La fonction de récompense

Après la perception de l'état de trafic l'agent exécute une action sur les feux. L'environnement répond à l'agent RL pour décrire comment il a fait en choisissant une certaine action pour un certain état et en fonction de la valeur de cette réponse (reward), l'agent ajuste sa performance pour obtenir des récompenses cumulatives plus élevées qui représentent son utilité (Q-Value). Une description plus détaillée sur la fonction de récompense est présentée dans la section 3.5.

3.3 Les défis de l'application de l'apprentissage par renforcement au contrôle des feux de signalisation

Le problème de contrôle des feux de circulation est considéré comme l'un des cas les plus difficiles, en particulier en ce qui concerne la représentation d'états. Dans un environnement de trafic, l'état actuel pourrait être complètement différent des états suivants et complètement stochastiques, nous ne pouvons jamais prédire exactement le comportement du trafic, ce genre de situation est généralement difficile à traiter. À côté de cela, l'environnement est dynamique, il peut changer pendant que l'agent applique sa politique et se demande continuellement quoi faire ensuite, l'agent peut ne pas répondre à la demande continue de l'environnement. Un autre défi est la façon dont le temps est géré, le

cas de trafic est un problème de temps continu, par exemple les informations de trafic tel que le temps d'attente, la vitesse et la position du véhicule peuvent changer dans une gamme de valeurs continues qui doivent être discrétisées avant de les stocker. L'espace de connaissances de notre agent s'agrandit à mesure qu'il reçoit plus de paires d'état/action et de récompenses, ici le problème de stockage entre en jeu, dans ces circonstances l'espace de connaissances peut être extrêmement énorme.

3.4 Un Système Intelligent de Contrôle des Feux de Signalisation SICoFS

SICoFS est un système intelligent du contrôle des feux de signalisation basé sur l'apprentissage par renforcement. Il s'adapte en temps réel à l'évolution de l'état du trafic d'une intersection en optimisant le flux chaque seconde d'une manière efficace et équilibrée. Cette approche donne des résultats très favorables, tel qu'une diminution perceptible du temps d'attente, temps de voyage et moins de pollution.

Dans le SICoFS proposé, un agent est déployé dans une intersection dotée d'un système des feux tricolores (TLS) pour percevoir l'état de trafic, décider l'action et agir sur les feux (voir la figure 3.3).

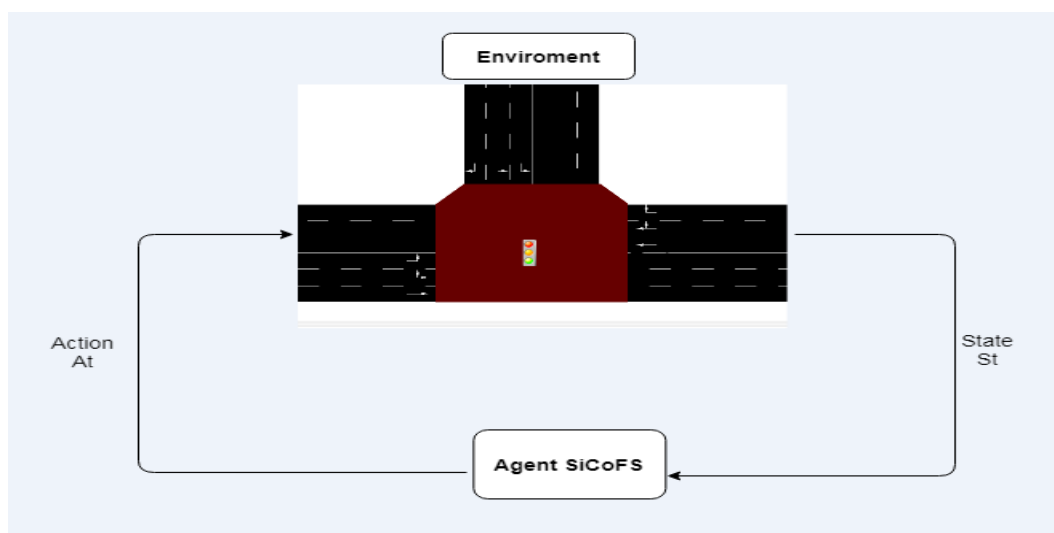


FIGURE 3.3 – Architecture de SiCoFS

Pendant la perception, l'agent rassemble les informations liées au trafic à chaque pas de temps. Ces données collectées décrivent explicitement l'état du trafic et fournissent les entrées nécessaire au traitement incluent nombre de véhicules de dernière étape, le temps d'attente, le temps de voyage et la vitesse moyenne et d'autres informations. Les valeurs sont récupérées par le simulateur SUMO grâce à son interface TraCI. En utilisant ces données, l'agent calcule l'utilité (Q-Value) avec une fonction (Q-fonction) proposée. Grâce à cette fonction l'agent génère une séquence d'actions selon les percepts qu'il reçoit. Cette séquence d'actions fait passer l'environnement par une séquence d'états et aide l'agent à atteindre ses objectifs et optimiser sa performance. Dans ce sens les actions représentent un changement du feu lié à l'un des bords de l'intersection, en donnant le feu vert au bord sur lequel la décision prise par l'agent a été approuvée.

Ce mécanisme de perception et de traitement des données suivi d'une prise des décisions et d'exécution d'actions est un processus adaptatif et actif. Cette politique donne à notre agent la possibilité de gérer les flux de trafic d'une manière flexible et précise en temps réel contrairement à d'autres systèmes qui ne répondent pas aux changements de trafic.

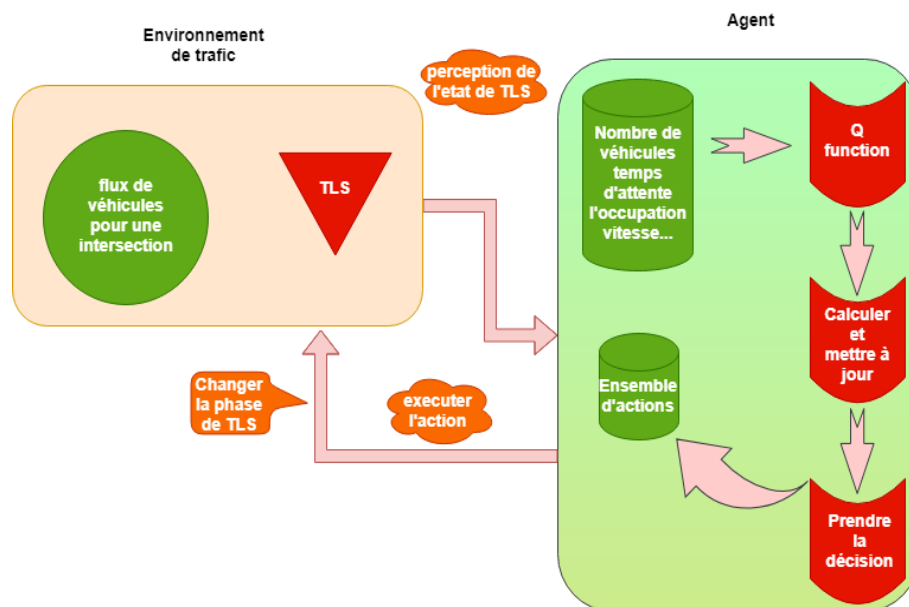


FIGURE 3.4 – Schéma fonctionnel du système proposé.

Les composants principaux de notre système sont :

L'environnement : une intersection avec un flux de véhicules, et les feux de signalisation (ensemble des feux colorés généralement rouge, jaune et vert) utilisés pour contrôler

le trafic dans les intersections routières.

L'agent : après la perception des données, l'agent dispose de toutes les informations nécessaires pour motiver notre fonction Q . Sur la base du résultat de la fonction, l'agent prendra une décision qui conduit à une action sur le TLS² (changement de lumières).

3.5 Mesure de la récompense (reward) en utilisant une Q-function

Tout d'abord, la fonction de mesure de récompense (Q-function) a besoin des données sur l'état de trafic. À chaque instant, sa valeur change en fonction de nouvelles entrées, ce qui a permis à l'agent d'interagir avec l'environnement en temps réel. Au cours de la simulation l'agent doit apprendre la politique optimale pour le contrôle des feux qui mènent à une amélioration du flux de trafic.

Pour surpasser les défis rencontrés, on a utilisé l'expérimentation pour proposer la fonction d'utilité (Q-value). On a essayé plusieurs versions de fonctions en utilisant d'autres variables de trafic afin d'obtenir la formulation qui conduit à une gestion plus efficace pour surmonter le problème des embouteillages et le retard sur les routes. Dans chaque version on a essayé de fonctionner les variables de trafic les plus pertinentes au cas après on a tenu les résultats obtenus (discutés dans le chapitre 4) comme un critère de sélection. Parmi les variables de trafic disponibles on a choisi le temps d'attente, le temps de voyage, l'occupation de la route et la vitesse moyenne comme membres pour stimuler notre fonction, nous voyons que ces variables sont les plus descriptives de l'état de trafic et leurs valeurs peuvent être interprétées directement (figure 3.5).

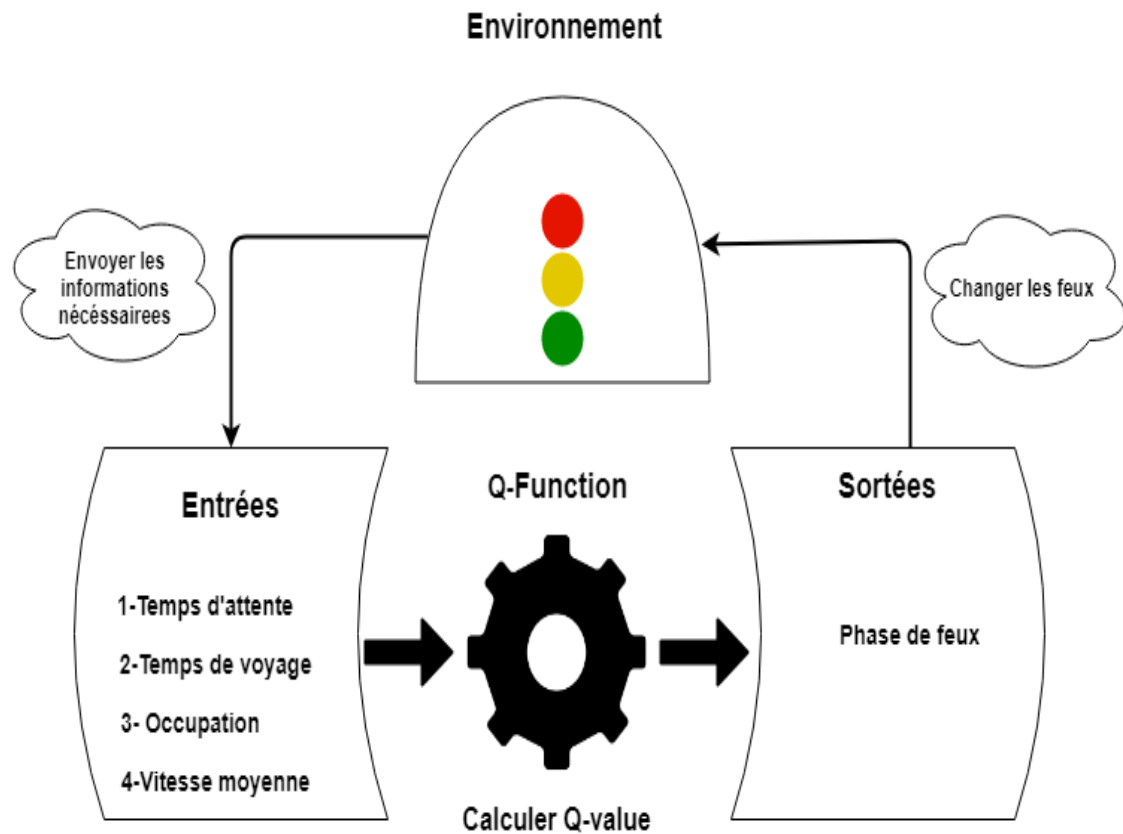


FIGURE 3.5 – La fonction de mesure de récompense

L'agent récupère les valeurs de ces variables sachant qu'elles correspondent au dernier pas de temps et sont mises à jour à chaque instant. Ensuite, il calcule la formule proposée de notre Q-fonction :

$$Q - Value = (tps_{attente} * Occ * tps_{voyage}) / V_m$$

tell que :

$tps_{attente}$ c'est le temps d'attente.

Occ c'est l' Occupation.

tps_{voyage} c'est le temps de voyage .

V_m c'est la vitesse moyenne .

En fonction de cette formulation mathématique l'agent prend la décision et exécute une action sur les feux de signalisation en donnant le feu vert à l'un des bords.

```

Run: Boot x
agent created successfully
-----Edge-Step:1.0-----
ID      VehNbr   MeanV   Occupancy  WaitingT  TravelT  HaltingNbr
L14     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
L15     0        36,10   0,00       0,00      26,95    0
L17     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
Current phase of TLS 3 based on current step:1.0 is :rrrGGGGGGrrrrrr Grr
-----Edge-Step:2.0-----
ID      VehNbr   MeanV   Occupancy  WaitingT  TravelT  HaltingNbr
L14     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
L15     0        36,10   0,00       0,00      26,95    0
L17     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
Current phase of TLS 3 based on current step:2.0 is :rrrGGGGGGrrrrrr Grr
-----Edge-Step:3.0-----
ID      VehNbr   MeanV   Occupancy  WaitingT  TravelT  HaltingNbr
L14     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
L15     0        36,10   0,00       0,00      26,95    0
L17     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
Current phase of TLS 3 based on current step:3.0 is :rrrGGGGGGrrrrrr Grr
-----Edge-Step:4.0-----
ID      VehNbr   MeanV   Occupancy  WaitingT  TravelT  HaltingNbr
L14     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
L15     0        36,10   0,00       0,00      26,95    0
L17     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0
Current phase of TLS 3 based on current step:4.0 is :rrrGGGGGGrrrrrr Grr
-----Edge-Step:5.0-----
ID      VehNbr   MeanV   Occupancy  WaitingT  TravelT  HaltingNbr
L14     0        36,10   0,00       0,00      27,21    0

```

FIGURE 3.6 – Les résultats d'exécution

3.5.1 L'influence de Q-fonction sur la performance de l'agent RL

Comme il est indiqué précédemment, Q-fonction calcule l'utilité (Q-value) de l'agent. Cette fonction est considérée comme la mesure de performance et la critique du fonctionnement de l'agent, et grâce à elle l'agent sait s'il doit changer son comportement à l'avenir ou non. Les percepts rassemblés ne peuvent pas dire avec certitude si l'agent a réussi à gérer le trafic contrairement à Q-fonction. Elle vise à maximiser la réduction du temps d'attente et du temps de voyage ainsi que l'occupation de la route. En fonction de Q-value, elle indique à l'agent s'il y a une congestion du trafic sur l'un des bords et lui demande directement de donner le feu vert à ce dernier en appliquant la fonction `setRedYellowGreenState()`.



```
Run: Boot x
Based on the current Q-Value :850.2546485611075 for the current STEP: 366.0
Green light Must be given immediately to EDGE L15 !!!
Based on the current Q-Value :790.6733965612868 for the current STEP: 367.0
Green light Must be given immediately to EDGE L14 !!!
Based on the current Q-Value :923.2011900517424 for the current STEP: 368.0
Green light Must be given immediately to EDGE L17 !!!
Based on the current Q-Value :772.2455213331369 for the current STEP: 369.0
Green light Must be given immediately to EDGE L17 !!!
Based on the current Q-Value :738.1624656556799 for the current STEP: 370.0
Green light Must be given immediately to EDGE L17 !!!
Based on the current Q-Value :712.2653822424451 for the current STEP: 371.0
Green light Must be given immediately to EDGE L17 !!!
Based on the current Q-Value :712.780299248911 for the current STEP: 372.0
Green light Must be given immediately to EDGE L17 !!!
Based on the current Q-Value :856.3802540320443 for the current STEP: 373.0
Green light Must be given immediately to EDGE L17 !!!
Based on the current Q-Value :829.5041667283169 for the current STEP: 374.0
Green light Must be given immediately to EDGE L17 !!!
Based on the current Q-Value :920.8383668497808 for the current STEP: 375.0
Green light Must be given immediately to EDGE L15 !!!
Based on the current Q-Value :896.2919995260237 for the current STEP: 376.0
Green light Must be given immediately to EDGE L14 !!!
Simulation paused.
```

FIGURE 3.7 – Le contrôle du comportement de l’agent par Q-fonction

3.6 Architecture du SICoFS

Notre système fait partie d’une plateforme développée en java³ qui combine une abstraction de Framework (TraCi) pour l’interaction avec le simulateur microscopique et un environnement de multi-agents géré par JADE. Les agents communiquent entre eux et contribuent à achever une supervision totale du trafic sur les réseaux. Cette plateforme fournit un support solide pour le développement et l’expérimentation sur les systèmes de transport intelligents. La plateforme proposée contient deux acteurs principaux, le premier est SUMO et le deuxième est SiMMU. Ce dernier est une plateforme réalisée par **Dr. Oussama MESSAOUDI** dans le but de faciliter l’exploitation du SUMO⁴, et aussi l’expérimentation et le développement des systèmes liés à la mobilité urbaine. SiMMU a été réalisé sur la base de l’architecture d’un système utilisé dans [35, 23] pour

3. Un langage de programmation orienté objet

4. un simulateur de la mobilité urbaine développé par le centre aérospatial Allemand

le développement d'un modèle de suivi de véhicules capable de fournir une conduite autonome sûre sous l'incertain.

Actuellement, SiMMU offre plusieurs fonctionnalités, notamment :

- Une manière plus rapide et plus facile pour la définition du type ainsi que le suivi et l'enregistrement des résultats des simulations effectuées sur SUMO. Parmi ces différents types de résultats, nous citons les changements des états de :
 - Un véhicule (ex : la vitesse, l'accélération appliquée, la distance entre les véhicules, les émissions, la consommation de l'énergie, etc).
 - Une voie ou bien un groupe de voies (ex : les émissions, la consommation de l'énergie, le nombre de véhicules, la vitesse moyenne, la durée moyenne de voyage, l'occupation, etc.)
 - Les feux tricolores (ex : les différentes phases plus la durée de chacune, la phase du système à un instant donné).
- L'actionnement sur les nombreuses entités de la simulation, précisément les véhicules et les systèmes de contrôle des feux tricolores.
- Un moyen plus facile pour l'implémentation et le déploiement de nouveaux modèles de suivi de véhicules, des modèles chargés du contrôle de la vitesse des véhicules et de l'évitement des collisions.

Grâce à ces nombreuses fonctionnalités, et sa capacité de capturer les émissions et la consommation du carburant, nous avons utilisé SiMMU afin de réaliser SICoFS.

3.6.1 Le comportement des agents dans le SICoFS

Le concept de multiagent est la reproduction du fonctionnement de la programmation orientée objet. L'agent a un comportement similaire vis-à-vis d'un objet, il a de nombreux attributs, il peut invoquer plusieurs méthodes. Cet agent est autonome et a la capacité de percevoir et d'interagir avec son environnement. Il peut également interagir et communiquer avec d'autres agents pour prendre des décisions et finalement agir sur l'environnement.

La configuration de l'environnement approprié pour les agents se fait en implémentant JADE⁵

Au début notre système multiagent n'a qu'un seul agent, le `SimControlAgent` créé lors d'exécution de l'application java. Cet agent appelle la première fonction `Setup ()`, qui est responsable de la réalisation de l'interface graphique afin d'interagir avec l'utilisateur et deux comportements :

- Le premier est de type **tickerbehaviour** : c'est un comportement acyclique (chaque seconde).
- Le deuxième comportement est de type **reciever** : celui-ci est responsable de la réception des messages de la part des autres agents.

La communication entre deux agents se fait en ouvrant un canal de message identifié par un message clé spécifié par l'agent émetteur et donné à l'agent récepteur. La réception du message pourrait être effectuée par plus d'un agent, et conduit à une action par la suite.

Le `SimControlAgent` est le seul agent autorisé à interagir avec SUMO, il joue le rôle d'intermédiaire entre SUMO et les autres agents, et à partir de cet agent le fichier de configuration de la simulation sera choisi, et la simulation sera lancée et arrêtée.

Pour notre approche proposée le `SimControlAgent` gère la simulation et fournit les informations de dernière étape sur l'état du trafic en interagissant avec SUMO. Les informations seront envoyées à un autre agent (créé par `SimControlAgent`) qui est déjà entraine d'écouter un message de `SimControlAgent`(par exemple : le pas du temps de simulation qui peut être récupérée en utilisant la fonction `getStep()` de SUMO et la même chose pour les autres données).

5. Java Agent Development Framework

L'agent récepteur reçoit les informations de trafic (temps d'attente et temps de voyage...). Il calcule ensuite l'utilité (Q-Value), prend la décision et envoie l'action appropriée (dans ce cas la phase des feux de signalisation appropriée) à SimControlAgent. Ce dernier interagit directement avec SUMO et change la phase en fonction du message reçu en appliquant la fonction implémentée `setRedYellowGreenState()`. Ce processus se poursuit au fur et à mesure que la simulation avance.

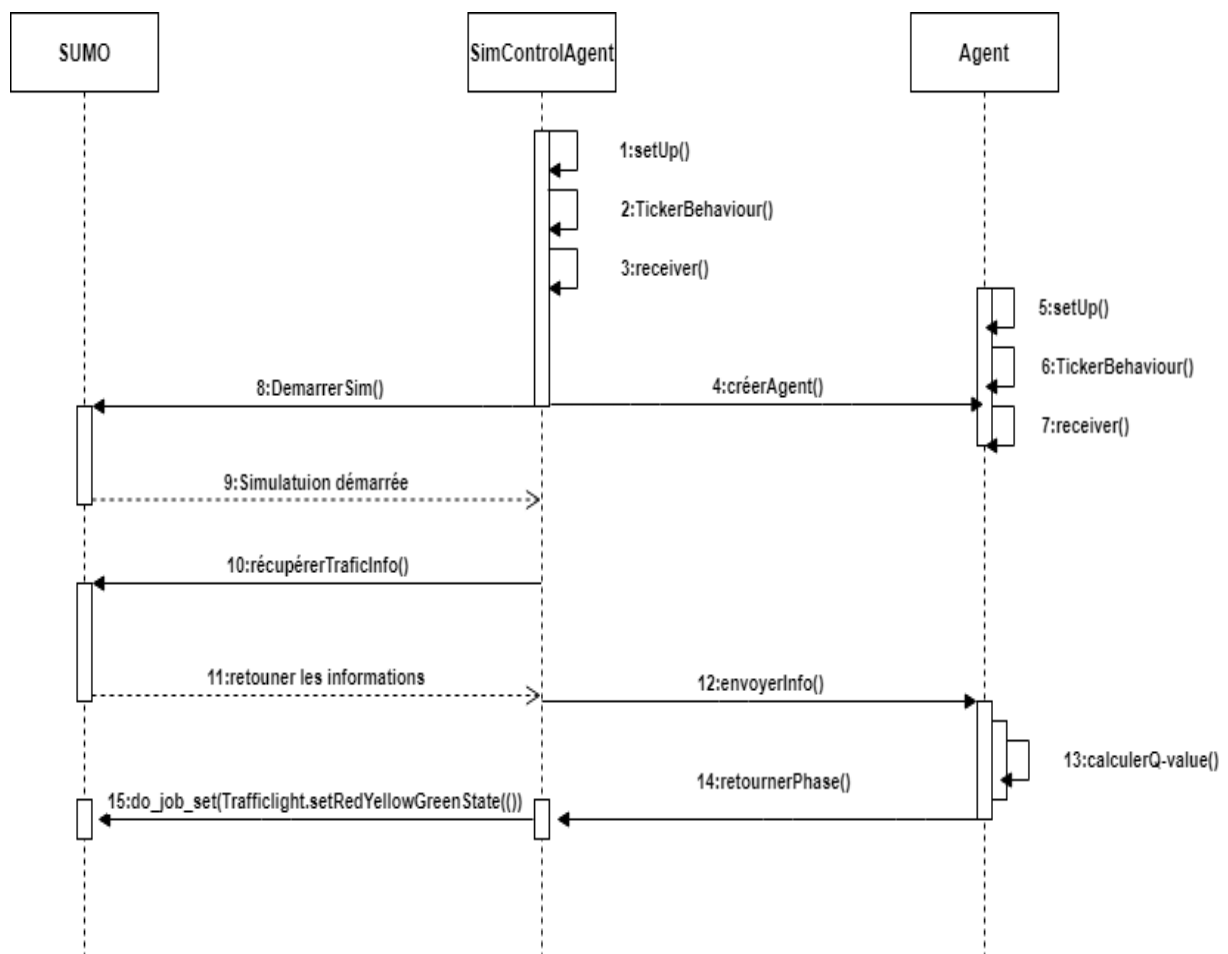


FIGURE 3.8 – Comportement des agents dans SiCoFS

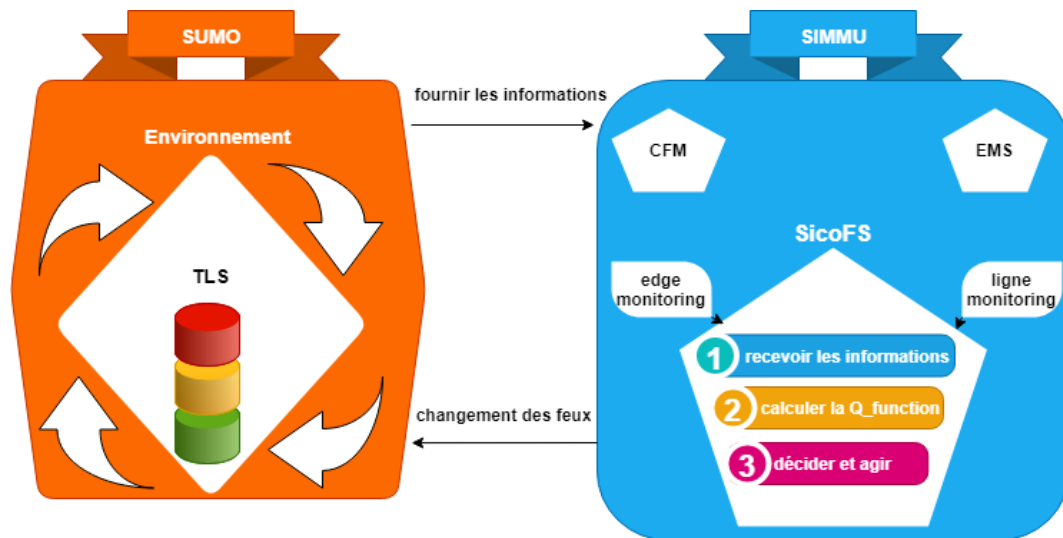


FIGURE 3.9 – La relation entre SUMO et SiMMU et SiCoFS

3.7 Conclusion

Après avoir exploité la technologie des agents combinée avec l'apprentissage par renforcement pour réaliser ce système (SiCoFS), nous avons mis en main un système robuste et pratique pour la gestion du trafic. SiCoFS gère le trafic et contrôle les feux de signalisation dans les intersections en commutant entre les lumières de différents bords et en interagissant avec l'environnement en temps réel avec un temps de réponse assez court. L'efficacité et les résultats de cette approche seront présentés et discutés en détail dans le chapitre suivant.

Expérimentations et résultats

4.1 Introduction

Fournir un contrôle optimal des feux de signalisation est un défi majeur. Un bon système peut offrir plusieurs avantages à la fois, aux usagers de la route à mesure que le flux de trafic augmente, et également à l'environnement en raison de la réduction possible des émissions. À ce stade, il est important de noter qu'un système statique de contrôle des feux de signalisation est loin d'être optimal. Il pourrait avoir des impacts négatifs sur la fluidité du trafic et sur l'environnement. Afin de souligner les impacts de l'utilisation d'un tel système, et de montrer la pertinence de notre approche en comparaison avec le système statique, nous avons mené une étude microscopique basée sur la simulation. Dans ce chapitre nous allons discuter ces résultats en détail.

4.2 Conception de scénario pour l'expérimentation

Afin de capturer les différentes évolutions de l'état du trafic et de mettre en place l'étude réalisée, nous avons utilisé un scénario proposé de flux de trafic sur un réseau routier construit avec l'outil netedit. Ce réseau contient deux intersections, nous concentrerons sur une seule, celle du bas.

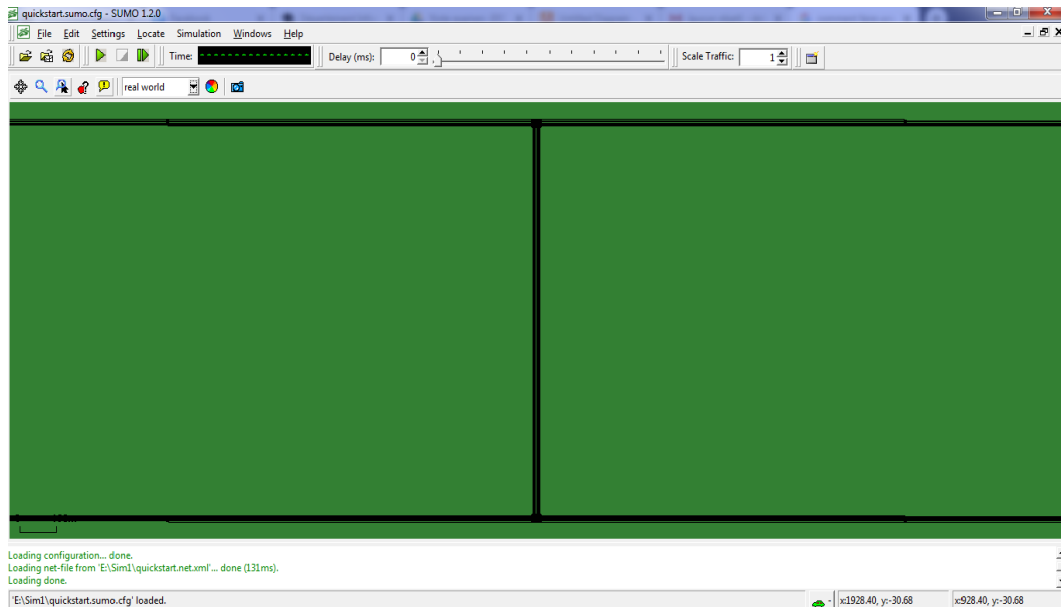


FIGURE 4.1 – Le réseau

Dans notre scénario, la route du réseau est de type double bords et contient 10 bords de 1000 mètres chacun a trois voies. Dans chaque intersection un système des feux de signalisation est placé pour contrôler le flux de trafic, un aperçu de l'apparence de l'intersection dans la figure 4.2.

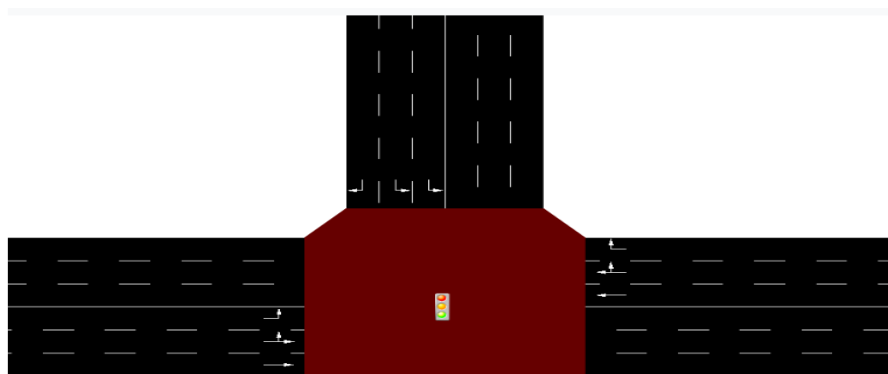


FIGURE 4.2 – L'intersection

Dans netedit, chaque objet du réseau routier est désigné par un identifiant et d'autres attributs associés pour décrire son état et son comportement. Tous ces attributs sont utilisés pour suivre les changements et les interactions entre les objets dans le scénario. Pour chaque bord/voie on connaît l'identifiant, le nombre de véhicules, la vitesse autorisée, ainsi que le système des feux de signalisation responsable du contrôle (pour notre cas on

a concentré sur le TLS qui a l'identifiant 3) et d'autres informations qui seront utilisées par la suite.

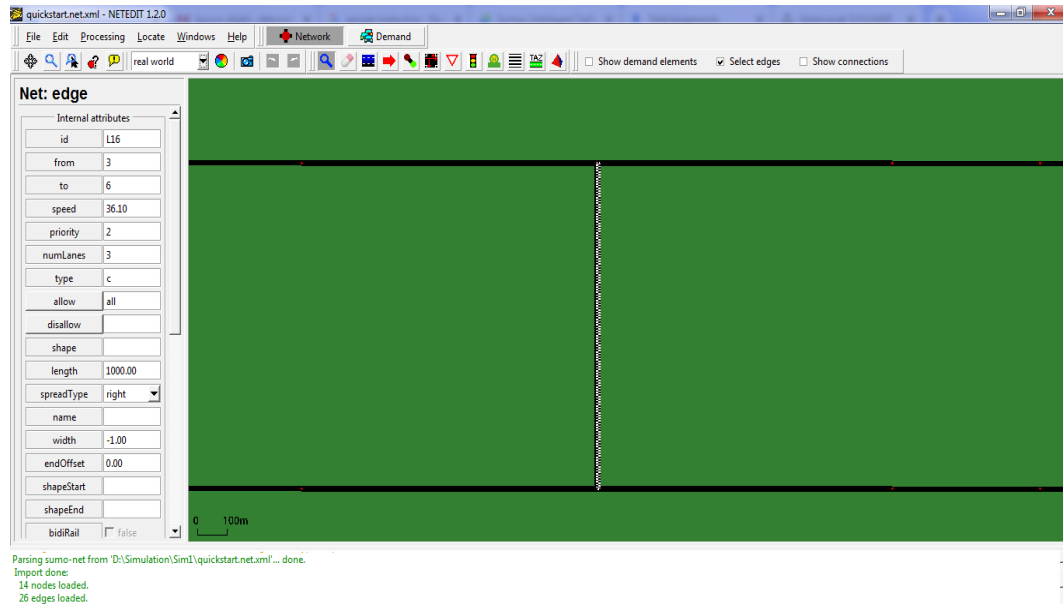


FIGURE 4.3 – netedit

4.3 TLS statique

Pour configurer le système des feux de signalisation (TLS), il faut d'abord extraire toutes les voies et les classer dans des groupes (des groupes de voies qui n'ont pas des conflits entre eux).

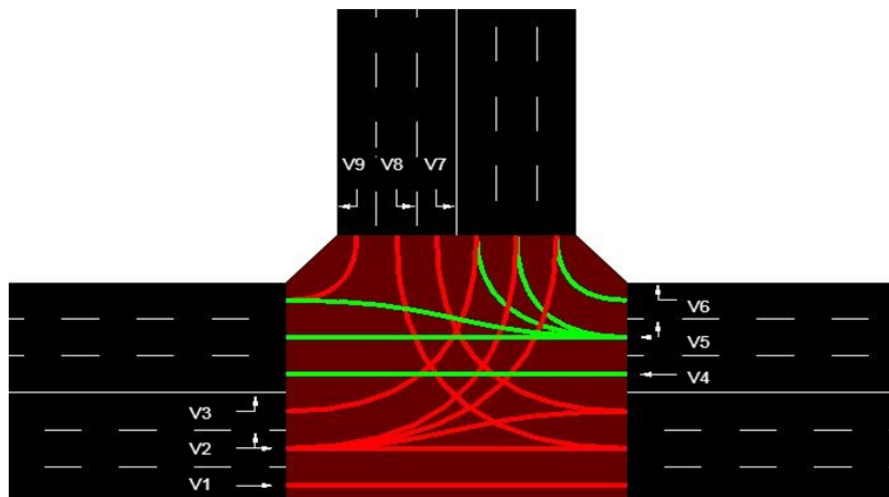


FIGURE 4.4 – L'intersection avec les voies

4.3.1 Les conflits possibles entre les voies

Puisque nous pointons sur le TLS de l'identifiant 3, on a défini tous les conflits possibles entre les voies de l'intersection. Le fait que deux voies puissent se croiser est considéré comme un conflit, et dans ce cas ce n'est pas possible d'attribuer le feu vert aux deux voies sans causer un encombrement (tableau 4.2).

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
V1									
V2				x	x	x	x	x	
V3				x	x		x	x	
V4		x	x				x	x	
V5		x	x				x	x	x
V6		x							
V7		x	x	x	x				
V8		x	x	x	x				
V9					x				

TABLE 4.1 – Les conflits entre les voies

4.3.2 Les groupes des voies qui peuvent circuler ensemble

Sur la base de la liste des conflits entre les voies présentées ci-dessus, on a réussi à tirer ces groupes qui peuvent circuler convenablement sans se croiser (tableau 4.2).

G1	G2	G3
V1, V2, V3	V4, V5, V6	V7, V8, V9

TABLE 4.2 – La liste des groupes

Nos groupes représentent les trois bords L14, L15, L17 respectivement. Pour chaque bord on a affecté une phase des feux (ex :rrrGGGGGrrrrrr). L'opération d'affectation des phases consiste à donner le feu vert à l'un des bords et le feu rouge pour les deux autres bords en laissant un seul groupe de véhicules appartenant à un seul bord traverser l'intersection. Davantage, on a donné pour chaque groupe de voie (bord) un cycle de : 32 secondes de feu vert et 7 secondes de feu jaune, puis passez le feu vert au bord suivant. Donc les véhicules qui circulent dans chaque bord de ces trois doivent attendre derrière le feu rouge pendant 78 secondes (32+7 pour le première bord plus 32+7 pour le deuxième bord) et puis bénéficier de 32 secondes de feu vert. Les trois bords continuent à prendre et passer le feu vert au suivant tant que la simulation se poursuit.

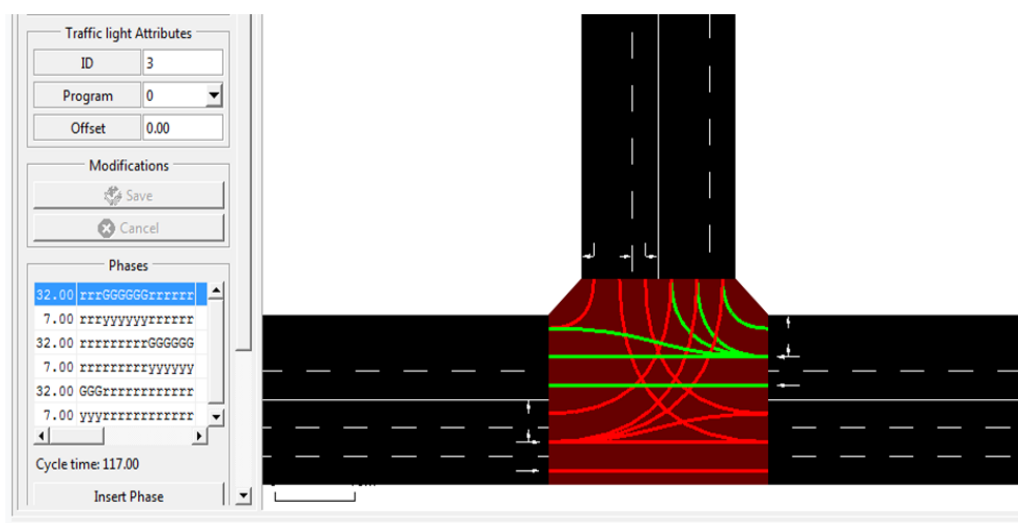


FIGURE 4.5 – Les phases des feux dans l'intersection

4.4 Étude comparative

Les données détaillées ci-dessous présentent les résultats capturés à partir de la surveillance d'un système statique de contrôle des feux de signalisation avec trois groupes de voies, qui forme les trois bords suivis (L14, L15, L17). Tant qu'ils se relaient pour exploiter le feu vert, on capture toutes les données nécessaires à l'analyse de notre étude. Spécifiquement, pour chaque groupe, nous capturons le changement de :

- Nombre total de véhicules.
- Le nombre total de véhicules arrêtés derrière un feu rouge.
- Le temps d'attente moyen.
- L'occupation.
- La vitesse moyenne.
- Temps de voyage.
- Émissions.

Nous nous présentons les résultats obtenus de système statique dans les figures suivantes :

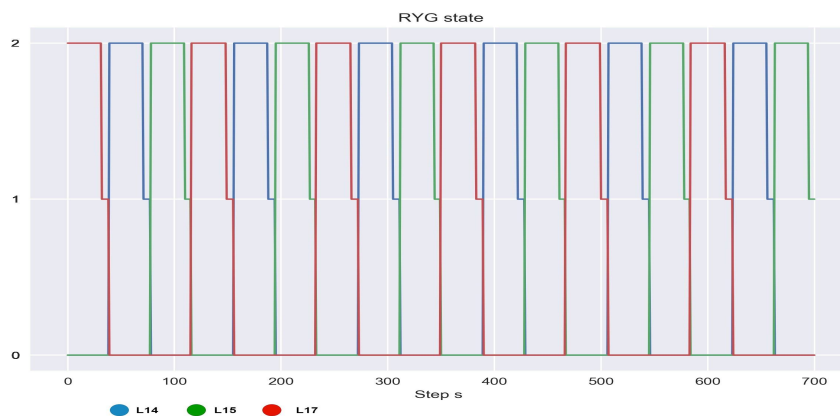


FIGURE 4.7 – État actuel (rouge-jaune-vert) du système des feux de signalisation (0 : indique un feu rouge, 1 : indique un feu jaune, 2 : indique un feu vert)

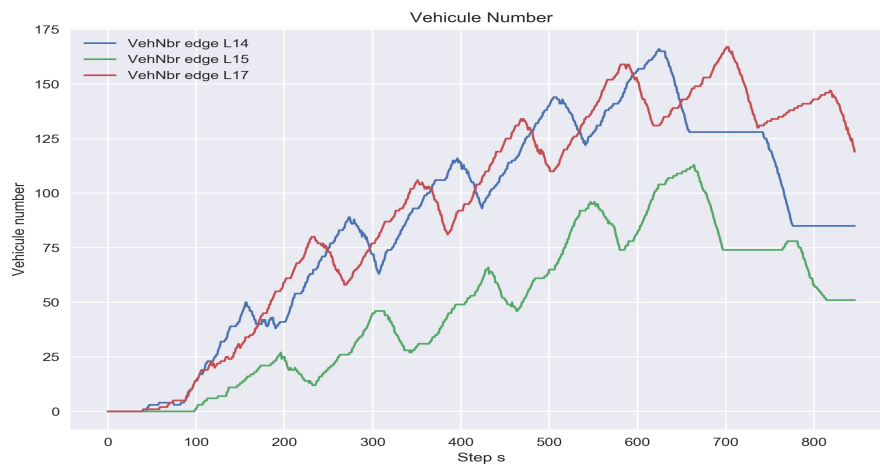


FIGURE 4.8 – Le nombre total de véhicules sur chaque bord

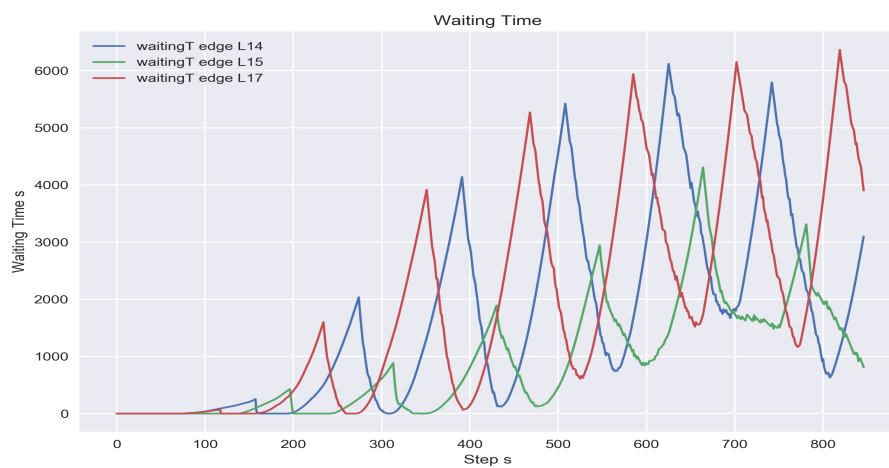


FIGURE 4.9 – Le temps d'attente moyen de chaque bord.

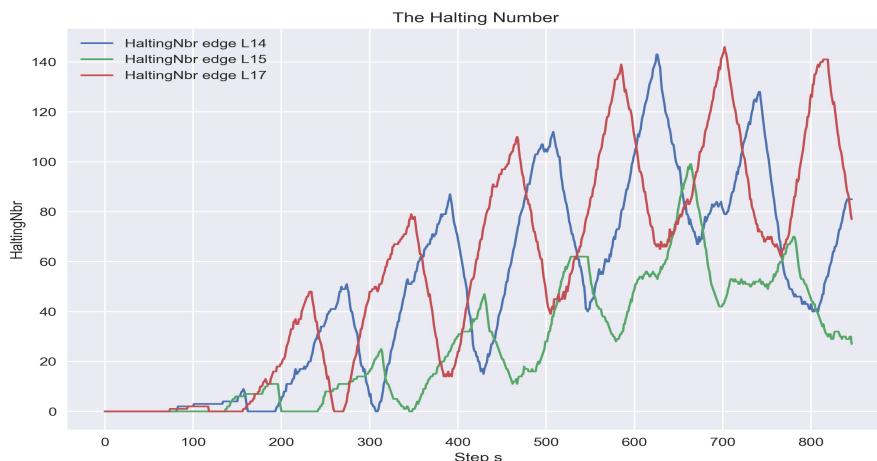


FIGURE 4.10 – Le nombre totale de véhicules arrêtés derrière le feu rouge.

Après avoir présenté les résultats, on conclut que le système statique de contrôle des feux de signalisation est loin d'être optimal et ne répond pas aux exigences de trafic (augmentation de flux de trafic). Ce système donne des phases prédéfinies avec des durées fixes et égales au système des feux de signalisation, sans se soucier de l'état de chaque bord individuellement et les traiter de la même manière. À vrai dire ce système ne prend pas en considération les différences entre les bords ni en terme de nombre de véhicules ni de l'occupation de la route et ne suit pas le changement d'état du trafic en temps réel. Il gère le flux de trafic de manière statique. Donc cette politique ne peut pas convenir à tous les bords, certains bords peuvent profiter de la même durée de feu vert même s'ils n'en ont pas besoin (moins de véhicules sur la route), tandis que d'autres ont besoin du feu vert en raison du grand nombre de véhicules s'arrêtant derrière le feu rouge.

Comme on le voit dans la figure 4.8, le bord L15 a moins de véhicules tout au long de la simulation, malgré cela il a continué à prendre le feu vert équitablement avec les autres bords. Dans des situations réelles avec moins de véhicules les bords prennent le feu vert même s'il n'y avait aucun véhicule sur la route et cela est dû à la nature du programme statique du TLS. Une meilleure approche exclut partiellement le bord (L15) d'avoir le feu vert et partage sa part de cycle avec les deux autres bords, en permettant les de bénéficier d'une période supplémentaire et prolongée de feu vert. Cela pourrait augmenter considérablement le flux de trafic, ce qui est l'objectif principal du système de contrôle des feux de signalisation. La même conclusion pour L14 après le pas de temps $t = 659$ secondes, il y a eu une diminution du nombre de véhicules par rapport à L17.

4.4.1 SICoFS vs Système Statique

En vue de montrer la rentabilité de notre système proposé SICoFS, on a fait une comparaison étroite entre les deux systèmes, en comparant leur temps d'attente (figure 4.11). La nouvelle approche montre des excellents résultats, une diminution remarquable de temps d'attente et une diminution des émissions atmosphériques (figure 4.12).

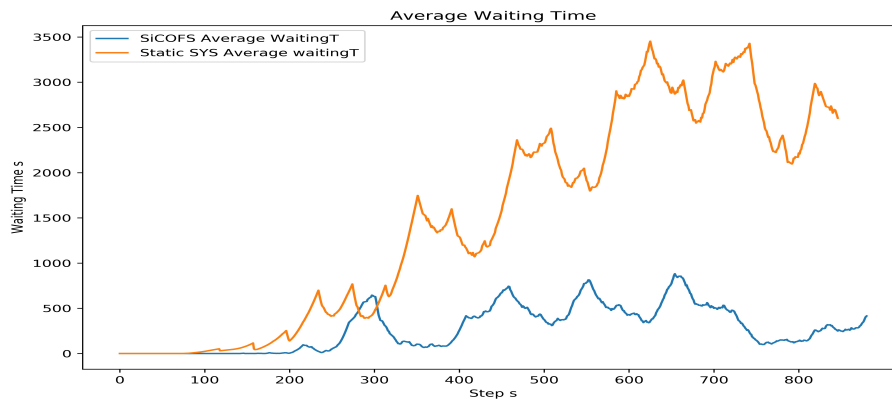


FIGURE 4.11 – Le temps d'attente moyen

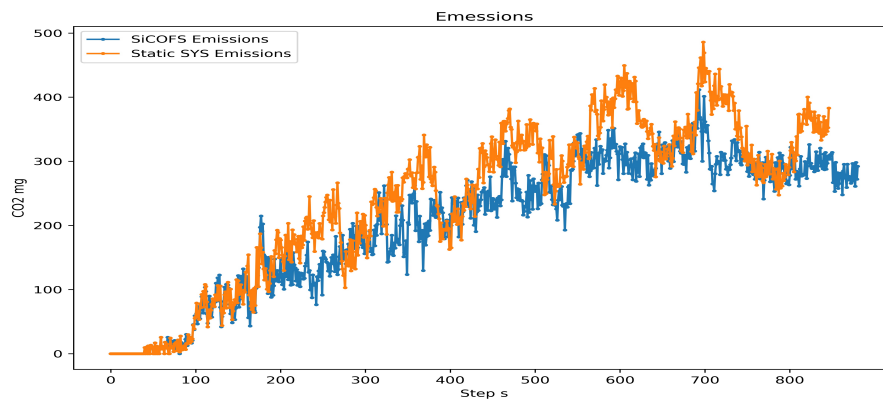


FIGURE 4.12 – Les émissions co2

À l'intention d'approuver l'affirmation selon laquelle le système proposé équilibre le flux de trafic pour les trois bords de façon que les trois bénéficient d'une même gestion de trafic, nous montrons les figures ci-dessous. Celles-ci représentent la convergence entre le temps d'attente de chaque bord et le temps d'attente moyen pour les deux systèmes en calculant Delta. Ici nous notons clairement que le temps d'attente pour SICoFS dans tous les bords est presque similaire au temps d'attente moyen (la différence converge vers 0), alors que ce n'est pas le cas pour le système statique. Le temps d'attente pour le bord L15 est inférieur à la moyenne en raison du petit nombre de véhicules et plus grand pour les deux autres bords. Par exemple, la différence de temps d'attente pour le bord L14 atteint une valeur maximale presque 3000 seconds (la figure 4.13) et une valeur minimale moins de -2000 pour L15 (la figure 4.14). On remarque aussi beaucoup d'oscillations pour les trois bords par rapport à la moyenne et une stabilité approximative pour les bords de SICoFS.

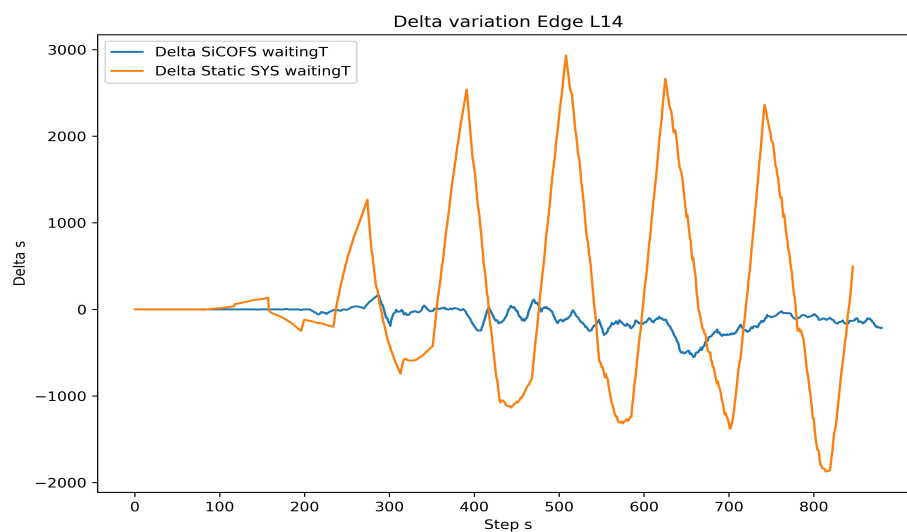


FIGURE 4.13 – Variation de Delta de bord L14

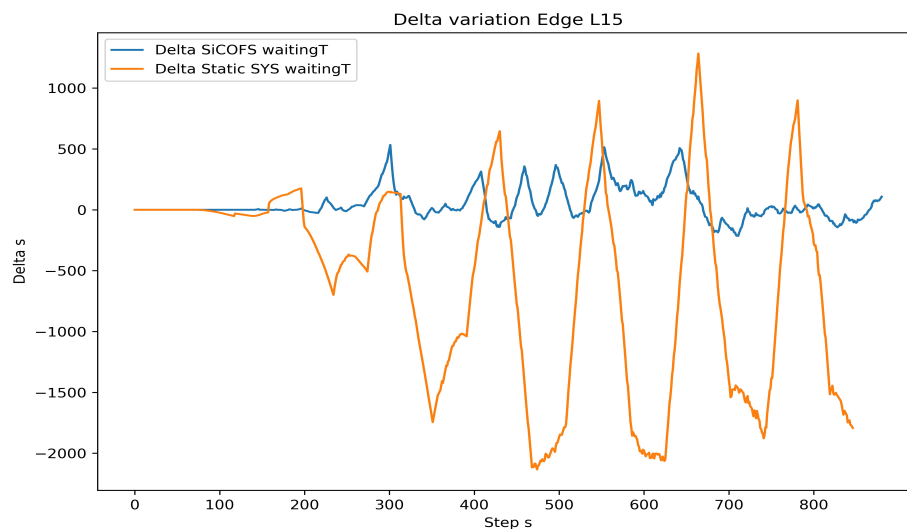


FIGURE 4.14 – Variation de Delta de bord L15

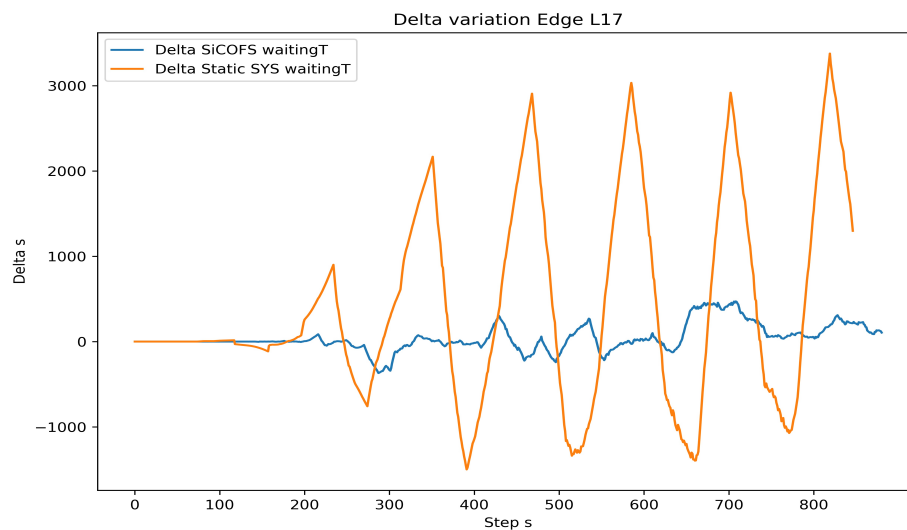


FIGURE 4.15 – Variation de Delta de bord L17

4.4.2 L'impact de trafic sur les valeurs négatives et positives

Après avoir regardé les figures précédemment montrées (variation de Delta), on a remarqué la présence de plusieurs points d'inflexion et certains résultats sont des valeurs négatives et d'autres sont positives. Pour cette raison, nous expliquons davantage, l'impact de flux de trafic sur ces valeurs. Dans ce sens les valeurs négatives du Delta qui représente

la différence entre le temps d'attente des bords et le temps d'attente moyen signifie que le flux de trafic sur ce bord est plus grand que les autres bords, pratiquement ce bord reçoit un feu vert tandis que les deux autres bords ont un feu rouge. Pour les valeurs positives, l'interprétation est que le bord a une congestion du trafic et a évidemment un feu rouge.

Pour supporter notre explication, on a montré cette figure ci-dessous. Cette figure représente le temps d'attente du bord L14 coloré avec l'état actuel de TLS (la couleur de feu) et le temps d'attente moyen ainsi que la différence entre eux (Delta).

De puis l'étape 0 s à 200 s on voit que le temps d'attente est presque 0 (les deux le temps d'attente moyen et le le temps d'attente du bord L14), avec des valeurs négatives de Delta dans les dernières 30 étapes en raison de feu vert.

De 200 s à 290 s Delta à des valeurs positives et le temps d'attente de bord L14 commence à dépasser le temps d'attente moyen, le bord commence à avoir une certaine congestion et comme la figure a montré, la couleur de feu est rouge.

De 290 s à 355 s Delta a des valeurs négatives le temps d'attente de L14 est inférieur à la moyenne, cela signifie que le flux de trafic est élevé à cause du feu vert.

On marque aussi à partir **de 356 s à 416 s** des valeurs positives pour Delta le temps d'attente de L14 est supérieur à la moyenne accompagné d'une diminution de flux de trafic et un feu rouge.

La suite des étapes est comme suite :

417 s - 476 s des valeurs négatives pour Delta, temps d'attente(L14) inférieur à la moyenne, un flux de trafic élevé et un feu vert.

477 s - 542 s des valeurs positives pour Delta, temps d'attente supérieur à la moyenne, un flux de trafic décroissant et un feu rouge.

543 s - 598 s des valeurs négatives pour Delta, temps d'attente inférieur à la moyenne, un flux de trafic élevé et un feu vert.

598 s - 664 s des valeurs positives pour Delta, temps d'attente supérieur à la moyenne, un flux de trafic décroissant et un feu rouge.

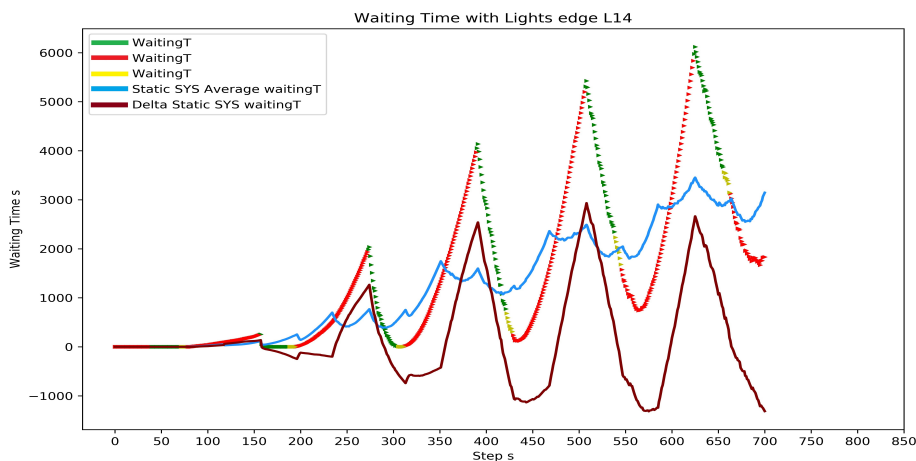


FIGURE 4.16 – Corrélation entre le flux et les valeurs Delta

4.5 Conclusion

Sur la base des résultats liés aux deux systèmes, il est devenu clair et évident que les programmes statiques pour le contrôle des feux de signalisation ne sont pas appropriés, et leur dépréciation est une question de temps. D'autre part, les systèmes intelligents ont montré des potentiels prometteurs pour la gestion et la surveillance des réseaux de trafic avec l'aptitude d'apprendre et d'interagir en temps réel avec l'environnement.

L'approche qu'on a proposée permet de suivre les évolutions de l'état du trafic et d'interférer directement dans l'environnement (intersection) pour gérer le flux avec un temps de réponse très court. Les résultats sont très plaisants, une réduction significative de temps d'attente, temps de voyage et les émissions dans l'air.

Conclusion générale et perspectives

L'augmentation significative de l'urbanisation et de la congestion du trafic sur les routes, ont créé un besoin urgent de développer des nouveaux systèmes de contrôle de trafic, car les systèmes conventionnels n'ont pas réussi à fournir une solution optimale à ce problème. Dans les chapitres précédents, on a décrit notre approche proposée qui est un système intelligent de contrôle des feux de signalisation en exploitant la technologie des agents et l'apprentissage par renforcement pour l'accumulation de connaissances et les expériences en interagissant avec l'environnement en temps réel. Le développement et la validation de l'approche proposée sont faits à base de la simulation microscopique dans un environnement urbain virtuel.

Dans ce travail nous pensons que nous avons esquissé une bonne solution au problème de circulation routière en démontrant la pertinence de l'agent RL pour faire face à la variation de l'état du trafic et la stochastique derrière elle. Notre système a présenté une gestion en ligne et en temps réel. Les résultats sont très positifs, on a pu réduire considérablement le temps d'attente (79%) en améliorant le flux des véhicules. Nous avons aussi optimisé la circulation en ajoutant l'aspect de trafic prioritaire qui permet d'une utilisation plus efficace des routes. La performance de notre système a également laissé un bon impact sur l'environnement en réduisant la pollution de l'air (6 %).

Bien que l'approche présentée ici se soit avérée efficace pour contrôler les feux de signalisation, il y a d'autres améliorations qui pourraient être ajoutées. On a concentré dans notre travail sur les bords en suivant toutes sortes de changements de flux de trafic qui s'y produisent, nous aimerions à un autre moment continuer à travailler en concentrant cette fois sur les voies, ça peut produire des résultats encore mieux. Un autre travail estimé consiste à renforcer le système proposé pour suivre un flux de trafic plus élevé.

Notre système donne directement le feu vert au bord encombré (celui qui a le plus de congestion du trafic) à l'instant $t+1$ un autre bord a plus de congestion que le premier bord donc le feu vert se déplacera vers lui. Ce processus de passage de feu vert a conduit à une sorte de chevauchement entre les véhicules, en raison de la communication rapide du feu vert entre les bords. Les véhicules sortant du premier bord sont encore à l'intérieur de l'intersection, plus les véhicules de deuxième bord, sachant que le passage du feu vert dépend de l'évolution de la situation du trafic cela peut arriver à tout moment. Nous prévoyons d'ajouter un seuil minimal de temps pendant lequel chaque bord doit maintenir le feu vert avant de le passer vers un autre.

Concernant le scénario, on aspire à adopter des flux plus dynamiques ainsi que des intersections plus larges et des chemins plus complexes. Une autre limite remarquée, parfois les bords avec un petit nombre des véhicules peuvent attendre un peu plus long pour avoir le feu vert, et ceci en raison de la priorisation des bords encombrés en essayant de réduire les embouteillages, cette politique pourrait servir les bords encombrés et non pas les bords avec moins de nombre des véhicules, nous prévoyons à l'avenir de résoudre ce problème en ajoutant cette fois un seuil maximal de temps pendant lequel les voitures peuvent rester derrière le feu rouges avant d'obtenir le feu vert , afin d'atteindre plus d'équité entre les usagers des routes.

Bibliographie

- [1] Mathew, T. (2009). Lecture notes in Transportation Systems Engineering. Indian Institute of Technology (Bombay), www.civil.iitb.ac.in/tvm/nptel/576_VAS/web/web.html
- [2] Stevanovic, A. (2010). Adaptive traffic control systems : domestic and foreign state of practice (No. Project 20-5 (Topic 40-03)).
- [3] Mousavi, S. S., Schukat, M., & Howley, E. (2017). Traffic light control using deep policy-gradient and value-function-based reinforcement learning. *IET Intelligent Transport Systems*, 11(7), 417-423.
- [4] Braban, C., & Boillot, F. (2003). Les systemes temps réel de commande de feux en milieu urbain. INRETS.
- [5] Tlig, M. (2015). Coordination locale et optimisation distribuée du trafic de véhicules autonomes dans un réseau routier (Doctoral dissertation).
- [6] Mannion, P., Duggan, J., & Howley, E. (2016). An experimental review of reinforcement learning algorithms for adaptive traffic signal control. In *Autonomic road transport support systems* (pp. 47-66). Birkhäuser, Cham.
- [7] Abdulhai, B., Pringle, R., & Karakoulas, G. J. (2003). Reinforcement learning for true adaptive traffic signal control. *Journal of Transportation Engineering*, 129(3), 278-285.
- [8] Neto, G. (2005). From single-agent to multi-agent reinforcement learning : Foundational concepts and methods. Learning theory course.

- [9] Bakker, B., Whiteson, S., Kester, L., & Groen, F. C. (2010). Traffic light control by multiagent reinforcement learning systems. In *Interactive Collaborative Information Systems* (pp. 475-510). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [10] Hakim, G. P., Firdausi, A., Alaydrus, M., & Budiyanto, S. (2018). Dynamic Traffic Light Timing Control System using Fuzzy TOPSIS Algorithm. *MS&E*, 453(1), 012063.
- [11] Wiering, M. A., Veenen, J. V., Vreeken, J., & Koopman, A. (2004). Intelligent traffic light control.
- [12] youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/
Consulté le :18/03/2020 14:07
- [13] Turnbull, K. F. (Ed.). (2014). *Sustainable Energy and Transportation Strategies, Research, and Data : Summary of a Conference*. Transportation Research Board of the National Academies.
- [14] Jiménez Herrero, L. M. (2011). *Transport and mobility : the keys to sustainability*. Fund. Gen. CSIC. Lychnos, (4).
- [15] Hillebrink, A. (2018). *Optimal traffic light control : performance evaluation applying a general evaluation methodology*. page20
- [16] Ghazal, B., ElKhatib, K., Chahine, K., & Kherfan, M. (2016, April). Smart traffic light control system. In *2016 third international conference on electrical, electronics, computer engineering and their applications (EECEA)* (pp. 140-145). IEEE.
- [17] Hamilton, A., Waterson, B., Cherrett, T., Robinson, A., & Snell, I. (2013). The evolution of urban traffic control : changing policy and technology. *Transportation planning and technology*, 36(1), 24-43.
- [18] www.analyticsvidhya.com/blog/2018/09/reinforcement-learning-model-based-planning-dynamic-programming/im_6/
Consulté le : 05/04/2020-21:42
- [19] www.onnyxelectronic.wordpress.com/2018/08/28/why-a-smart-city-needs-an-adaptive-traffic-control-system/
Consulté le : 05/04/2020-21:40
- [20] www.indiamart.com/proddetail/vehicle-actuated-signal-18477376812.html
Consulté le : 05/04/2020-21:28

- [21] <https://slideplayer.com/slide/9771014/>
Consulté le : 05/04/2020-21:00
- [22] www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions
Consulté le :05/04/2020-12:17
- [23] Messaoudi, O. and A. Lahlouhi, An agent-based inter-vehicle cooperative robust car-following model for longitudinal control under uncertainty. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 2018. 58(2) : p. 150-164.
- [24] www2.ift.ulaval.ca/dupuis/Simulation/Principes%20de%20base%20de%20la%20simulation/Principes%20de%20base.pdf
- [25] Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2012). Emerging Techniques for Enhancing the Practical Application of City Logistics Models. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 39, pp. 3-18.
- [26] Costeseque, G. (2011). Analyse et modélisation du trafic routier : Passage du microscopique au macroscopique. Mém. Maitrise À L'Université Lyon–2011.
- [27] van Wageningen-Kessels, F., Hoogendoorn, S. P., Vuik, K., & van Lint, H. (2015). Traffic Flow Modeling : a Genealogy. *Transportation Research Circular. N E-C195*. April, 1.
- [28] Combemale, B. (2008). Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM)–État de l'art.
- [29] Halati, A., Lieu, H., & Walker, S. (1997). CORSIM-corridor traffic simulation model. In *Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century : Challenges, Innovations, and Opportunities* Urban Transportation Division, ASCE; Highway Division, ASCE; Federal Highway Administration, USDOT; and National Highway Traffic Safety Administration, USDOT..
- [30] Bonte, L., Espié, S., & Mathieu, P. (2006). Modélisation et simulation des usagers deux-roues motorisés dans ARCHISIM. *JFSMA*, 6, 17.
- [31] Saidallah, M., El Fergougui, A., & Elalaoui, A. E. (2016). A comparative study of urban road traffic simulators. In *MATEC Web of Conferences (Vol. 81, p. 05002)*. EDP Sciences.
- [32] Halbwachs, M. DES OUTILS DE GESTION DU TRAFIC ET DES FEUX DE SIGNALISATION EN PARTICULIER.

- [33] Carrière, A. (2005). La gestion en temps réel d'un feu de circulation dans le contexte des systèmes de transport intelligents (Doctoral dissertation, École des hautes études commerciales).
- [34] Bretherton, R. D. (1990). SCOOT Urban Traffic Control System—Philosophy and Evaluation. In *Control, Computers, Communications in Transportation* (pp. 237-239). Pergamon.
- [35] Messaoudi, O. An optimal velocity robust car-following model with consideration of control uncertainty. in *2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS)*. 2018. IEEE.
- [36] sumo.dlr.de/docs/SUMO_User_Documentation.html
Consulté le : 19/04/2020-15:25
- [37] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., & Bieker, L. (2012). Recent development and applications of SUMO-Simulation of Urban MObility. *International journal on advances in systems and measurements*, 5(3&4).
- [38] Développement et applications récentes de SUMO - Simulation de la mobilité urbaine, Michael Behrisch, Laura Bieker, Jakob Erdmann, Daniel Krajzewicz, Institute of Transportation Systems German Aerospace Center
- [39] sumo.dlr.de/docs/NETEDIT.html
Consulté le :19/04/2020-15:52
- [40] sumo.dlr.de/docs/Demand/Random_Routes.html
Consulté le:19/04/2020-16:03
- [41] sumo.dlr.de/docs/Networks/Abstract_Network_Generation.html
Consulté le :20/04/2020-08:52
- [42] Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y. P., Hilbrich, R., ... & WieBner, E. (2018, November). Microscopic traffic simulation using sumo. In *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 2575-2582). IEEE.
- [43] www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zyqfr82/revision/3
Consulté le :18/04/2020-14:55
- [44] sumo.dlr.de/docs/Sumo_at_a_Glance.html
Consulté le : 19/04/2020-15:30

- [45] Raphaël Duboz – Frédérick Garcia – Gauthier Quesnel – Éric Ramat Théorie de la Modélisation et de la Simulation Fondements formels et opérationnels de Record/VLE
- [46] Damien Foures. Validation de modèles de simulation. Automatique. Université Toulouse III Paul Sabatier, 2015. Français.