



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université AMO de Bouira

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département d'Informatique

Mémoire de Master en Informatique

Spécialité : Génie des Systèmes Informatiques

Thème

Agent-based intelligent traffic signal control at urban
intersections

Encadré par

— DR OUSSAMA MESSAOUDI

Réalisé par

— MERROUCHE SARA

— CHERIFI ASMA

2020/2021

Remerciements

Nous remercions notre Dieu, le maître des temps et des circonstances, le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de faire ce travail, et nous à éclairé le chemin.

Un grand merci à l'ensemble de notre familles et plus particulièrement nos parents ; ils sont la raison pour laquelle nous existons dans ce monde.

Nous voudrions tout d'abord adresser notre gratitude à notre encadreur **Dr. Messaoudi Oussama** pour son engagement, son aide, sa gentillesse et ses précieux conseils qu'il a sus nous les transmettrons. Nous tenons à le remercier tout particulièrement pour son soutien tout au long de ce projet.

Nos vifs remerciements aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail. Ainsi que toute l'équipe pédagogique de l'université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, plus précisément les enseignants du département d'informatique pour leur travail et leur appui .

Nos remerciements les plus chaleureux vont à tous nos camarades du Master 2 (GSI) et surtout nos amis .

On tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre mémoire et qui nous ont aidé.

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail :

A mes parents pour le mérite d'être venu au monde, leurs soins et leurs instructions si précieux, leur amour et leur soutien .

-Mon respect à l'homme le plus précieux de ma vie, mon cher papa que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

-la femme qui a souffert sans me laisser souffrir qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui m'épargne tout effort pour me rendre heureuse, mon adorable maman.

A ma très chère grande mère Mlaid qui a été toujours là pour moi comme une deuxième maman.

A mes chères sœurs Safia , Mélissa, Chahira et Son Mari.

A mes chers frères, Fouad,Lyes,Hocine,Karim ,Lounes ,Hamou .

A toute la famille Hamichi.

A ma très chère binôme Asma et ça famille.

A mon aimable promoteur,que ce travail soit l'accomplissement de vos voeux tant allégués,et le fruit de votre soutien inestimable.

A tous mes amis sans exception, Imane ,Sarah,Fatima,Soraya ,et bien sûr Rabah.
Merci d'être toujours là pour moi.

MERROUCHE SARA.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude :

A mes très chers parents qui m'ont fourni au quotidien, amour, soutien et confiance.

A mes précieuses sœurs Basmala et Hafsa.

A ma tante Houria et mon oncle Omar pour leurs fidélité et encouragements.

A mes aimables cousines, surtout : Abir, Rihab, Tina et Ahlem.

A mes chères amies : Sara, Lydia et Riheb.

A tous mes enseignants pour leurs appuis et leurs conseils tout au long de mon parcours éducatif, en leurs têtes notre promoteur, que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infailible.

Merci et grand merci à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin même avec une prière.

CHERIFI ASMA.

Résumé

L'augmentation du stress, la pollution atmosphérique ainsi que les retards sont parmi les effets des embouteillages dans le trafic urbain. Pour cela, l'objectif de notre travail est de minimiser le temps d'attente, les émissions de CO₂ ainsi que la consommation de carburant, dans le but de fluidifier le trafic.

Ce travail se situe dans le cadre de la gestion de trafic et de transport intelligent. Basé sur l'apprentissage par renforcement, nous avons réalisé un système intelligent de contrôle de feux de signalisation dans les intersections urbaines (SICoFSv2), appuyé sur l'approche multi-agents en utilisant JADE (Java Agent Development Framework) comme outil pour faciliter l'implémentation, et SUMO (Simulation of Urban Mobility) comme simulateur pour notre système. Nous avons procédé à l'expérimentation afin de comparer notre système à d'autres, pour une bonne amélioration de la performance.

À la fin, nous avons réussi à réduire le temps d'attente des véhicules, les émissions de CO₂ ainsi que la consommation de carburant avec un taux très élevé.

Mot Clés : apprentissage par renforcement, approche multi-agents, Framework...

Abstract

Increased stress, air pollution and delays are among the effects of traffic jams in urban areas. Therefore, the objective of our work is to minimize vehicle's waiting time, CO₂ emissions and fuel consumption, in order to improve traffic flow.

This work is situated in the context of traffic management and intelligent transportation. Based on reinforcement learning, we have realized an intelligent traffic signal control system for urban intersections (SICoFSv2), built on the multi-agent approach using JADE (Java Agent Development Framework) as a tool to facilitate the implementation, and SUMO (Simulation of Urban Mobility) as a simulator for our system. We proceeded with the experimentation in order to compare our system with others, for a good improvement of the performance.

In the end, we succeeded in reducing vehicle waiting times, CO2 emissions and fuel consumption by a very high rate.

Key Words : reinforcement learning, multi-agent, Framework...

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iv
Liste des abréviations	1
Introduction générale	2
1 Généralités sur l'internet des objets et les villes intelligentes	4
1.1 Introduction	4
1.2 Internet des objets	5
1.2.1 Définition	5
1.2.2 Origine de l'internet des Objets	6
1.2.3 L'architecture de l'internet des objets	8
1.2.4 Les avantages de l'internet des objets	9
1.2.5 Les défis	9
1.2.6 Domaines d'application	10
1.3 Ville intelligente	12
1.3.1 Définition	12
1.3.2 L'enjeu d'une Ville intelligente	13
1.3.3 Les caractéristiques de la ville intelligente	13
1.3.4 Les avantages de la Ville intelligente	16
1.3.5 Obstacles pour une ville intelligente	16
1.3.6 Exemples des Villes intelligentes	17
1.4 Avantages et applications de l'internet des objets aux villes intelligentes . .	19

1.5	Conclusion	20
2	Etat de l'art sur les feux tricolores	21
2.1	Introduction	21
2.2	Définition des feux tricolores	22
2.3	Terminologie	22
2.3.1	Trafic routier	22
2.3.2	Intersection	22
2.3.3	Phase d'un feu	22
2.3.4	Cycle d'un feu	23
2.3.5	Plan de feu	23
2.3.6	Systèmes de contrôle intelligents	23
2.4	Histoire de l'évolution des systèmes	24
2.5	Systèmes existants	25
2.5.1	Première génération	26
2.5.2	Deuxième génération	27
2.5.3	Troisième génération	29
2.5.4	Quatrième génération	30
2.5.5	Cinquième génération	30
2.6	Limite des approches traditionnelles	31
2.7	Conclusion	32
3	Un système intelligent de contrôle de feux de signalisation (version2)	33
3.1	Introduction	33
3.2	Description du problème	33
3.2.1	L'environnement	33
3.2.2	État	34
3.2.3	Action	34
3.2.4	La récompense (reward)	35
3.3	Un système intelligent de contrôle de feux de signalisation SICoFSv2	35
3.3.1	La fonction de récompense	38
3.3.2	Chaine d'outils utilisée pour la simulation de SICoFSv2 :	39
3.4	Comportement des agents dans SICoFSv2	42

3.5	Conclusion	43
4	Expérimentations et Résultats	44
4.1	Introduction	44
4.2	Configuration expérimentale	44
4.2.1	Paramètres de la simulation	44
4.2.2	Métriques d'évaluation	47
4.3	Résultats expérimentaux	49
4.3.1	Comparaison globale	49
4.3.2	Comparaison avec le TLS statique	54
4.4	Conclusion	56
	Conclusion générale et perspectives	57
	Bibliographie	58

Table des figures

1.1	internet des objets [34].	6
1.2	Evolution de nombre d'Objet connectés de IoT [36].	7
1.3	Architecture d'IdO [37].	8
1.4	Domaines d'application.	10
1.5	caractéristique des villes intelligentes [14].	15
2.1	Processus de développement des systèmes de contrôle auto-adaptatif du trafic urbain [25].	25
2.2	Architecture de TRANSYT [26].	27
2.3	Principes généraux de SCATS [26].	29
3.1	schéma fonctionnel d'un agent TLS	36
3.2	exemple de données capturées à partir de SUMO lors de la simulation	36
3.3	Interface graphique de SUMO	40
4.1	le réseau routier	45
4.2	L'intersection	46
4.3	Répartition des voies	46
4.4	La moyenne des émissions moyennes du CO2	49
4.5	la moyenne de la consommation moyenne du carburant	50
4.6	La moyenne du nombre totale moyen des véhicules arrêtés derrière le feu rouge	50
4.7	La moyenne de temps d'attente moyen	51
4.8	le temps d'attente moyen	52

4.9	les émissions CO2 moyennes	53
4.10	le nombre total moyen de véhicules arrêtés derrière le feu rouge	53
4.11	la consommation moyenne du carburant	54
4.12	le temps d'attente moyen	55
4.13	les émissions CO2 moyennes	55
4.14	la consommation moyenne du carburant	56
4.15	le nombre total moyen de véhicules arrêtés derrière le feu rouge moyen . . .	56

Liste des abréviations

ASC	Smart City d'Amsterdam ASC.
CO2	Carbone Dioxyde.
IdO	Internet Des Objets.
IoT	Internet of Things.
IUT	Union Internationale des Télécommunications.
JADE	Java agent développement Framework.
MIT	Massachusetts Institute of Technology.
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program.
OPAC-RT	Real Time Optimization Policies for Adaptative Control.
RFID	Radio Frequency Identification.
RHODES	Real- Time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System.
SCATS	Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System.
SCOOT	Split Cycle and offset Optimisation Technique.
SICoFSv2	Système intelligent de Contrôle feux de signalisation version 2.
STI	Systèmes de Transport Intelligents.
SUMO	Simulation Of Urban Mobilité.
TIC	Technologie de l'information et de la communication.
TLS	Traffic Light System.
TRANSYT	Traffic Network Study Tool
TRRL	Transportation and Road Research Laboratory.
VUCA	Volatilité, incertitude, complexité , ambiguïté.
WiFi	Wireless Fidelity.
XML	eXtensible Markup Language.

Introduction générale

De nos jours la congestion du trafic devient l'un des problèmes critiques Avec l'augmentation de la population et des automobiles dans les villes et aussi les embouteillages qui entraînent non seulement des retards mais augmentent également la consommation de carburant, les émissions CO₂ ainsi que la pollution atmosphérique, Ces problèmes sont liés aux systèmes de contrôle statique qui utilisent un feu de circulation avec des minuteries fixes, ils répètent la même séquence de phases et sa durée sans aucun changement et ne s'adapte pas au trafic en temps réel.

Par conséquent, il est nécessaire de trouver un meilleur système de contrôle du trafic plus précisément dans le domaine des systèmes de transport intelligents (STI) , qui a le potentiel de réduire d'une manière significative les longues files d'attente et les embouteillages, ce qui peut non seulement améliorer la sécurité et l'efficacité du trafic et des déplacements, mais aussi réduire la pollution de l'environnement, ce qui permet aux gens d'accélérer leur transit. Avec l'augmentation du nombre de véhicules dans les zones urbaines.

Dans ce travail, notre objectif ultime est de proposer un système intelligent de contrôle des feux de signalisation basé sur les facteurs suivants :

- L'apprentissage par renforcement (RL), dont le principal avantage est la capacité d'apprendre et d'améliorer les services au fil du temps.
- La technologie de contrôleurs décentralisés multi-agents (MARL), qui est une extension de la technologie RL, peut utiliser l'autonomie, la mobilité et l'adaptabilité des agents mobiles pour gérer l'environnement de trafic dynamique.

Cette proposition sera vérifiée et validée par la simulation microscopique à l'aide du simulateur SUMO.

Ce mémoire se décompose comme suit :

- Le chapitre 1 : Est consacré pour des généralités sur l'internet des objets et les villes intelligentes.
- Le chapitre 2 : Abord l'état de l'art sur les feux tricolore en parlant de leur histoire, quelques systèmes existants ainsi que la limite des approches traditionnelles.
- Le chapitre 3 : On présente le système de contrôle intelligent proposé basé sur les agents, son comportement, la fonction de récompense.
- Le chapitre 4 : On montre des expérimentations et des résultats obtenus par notre approche comparée à des systèmes ultérieurs.

S'achève par une conclusion générale, qui résume le système réalisé et des perspectives pouvant être développées par la suite, ouvrant ainsi de nouvelles voies à envisager pour des recherches futures.

Généralités sur l'internet des objets et les villes intelligentes

1.1 Introduction

L'internet des objets est une vague économique dans l'industrie mondiale de l'information après internet, et elle peut répondre à des besoins et usages très divers selon les choix des collectivités. Elle est à la base du développement des villes intelligentes qui utilisent les technologies de l'information pour transformer de manière bénéfique les opérations, le travail et la vie des citoyens.

Ce chapitre est consacré pour la généralité d'internet des objets, nous allons d'abord définir le concept d'idO ses origines, ses avantages, son architecture, le défi et quelques domaines d'application.

Ensuite nous parlons sur les villes intelligentes ainsi que ses caractéristiques, ses enjeux et les obstacles avec quelques exemples des villes intelligentes dans le monde.

Enfin, nous concluons ce chapitre avec les avantages et l'application d'internet des objets sur les villes intelligentes.

1.2 Internet des objets

1.2.1 Définition

Avant de définir la Notion "internet des objets", il est important de définir l'objet connecté.

Un objet connecté à Internet doit être adopté à un usage. Il possède une certaine forme d'intelligence. La capacité de recevoir et de transmettre des données via des logiciels grâce aux capteurs embarqués [2].

Un objet connecté repose sur trois choses essentielles :

- La capacité de capturer des données grâce à différents types de capteurs : vitesse, température, force, pression, énergie, etc.
- La possibilité de récupérer des données pour la visualisation des informations via des tableaux de bord dédiés.
- Il peut s'interconnecter et interagir avec d'autres objets (qu'ils soient connectés ou non) à un degré plus ou moins élevé.

Un objet connecté à deux fonctions principales :

- D'une part, recueillir des informations sur son environnement.
- D'autre part, déclencher des actions en fonction des informations capturées et transmises.

Par exemple, utilisez un capteur d'intrusion situé sur une caméra connectée pour déclencher une alarme lorsqu'une intrusion se produit [3].

Internet des Objets (IdO)

"Internet of things", est une technologie qui donne vie aux objets du monde réel, et un réseau intelligent qui relie les objets (voitures, maisons, téléviseurs, etc.) avec internet, pour que les utilisateurs peuvent accéder et collecter des informations sur les appareils connectés afin d'identifier, localiser, surveiller et gérer intelligemment les choses [4]. (Figure 1.1)

Autrement dit, c'est une infrastructure de réseau mondiale dynamique dotée de capacités d'auto-configuration basées sur des protocoles de communication standard et interopérables, dans laquelle les "objets" physiques et virtuels possèdent des identités,



FIGURE 1.1 – internet des objets [34].

des attributs physiques et des personnalités virtuelles utilisant des interfaces intelligentes intégrées de manière transparente au réseau d'information [5].

1.2.2 Origine de l'internet des Objets

En 1989, Tim Berners-Lee a inventé le World Wide Web. Au milieu des années 1990, des grille-pain et d'autres machines à café connectés ont été créés. Le concept de l'Internet des objets est apparu pour la première fois dans le livre « The Road Ahead » du fondateur de Microsoft, Bill Gates, en 1995, en évoquant ce nouveau concept, sans attirer l'attention du public car le développement d'internet était trop limité.

En 1998, à l'institut de technologie de Massachusetts (MIT), Kevin Ashton a proposé le concept d'Internet des Objets. Puis en 1999, le MIT a fondé Auto-ID. Selon l'institut : « Tout peut être connecté via Internet. » Le laboratoire Auto-ID du MIT est également spécialisé dans l'utilisation de l'identification par radiofréquence, des réseaux radio et des capteurs sans fil pour créer des objets connectés.

En 2005, l'Union Internationale des Télécommunications a publié le « IUT Internet Report 2005 : Internet of Things », qui a donné naissance à un nouveau concept « Internet of Things » qui traite de la connexion entre le monde réel et le monde virtuel. Il a

également envisagé l'application de technologies telles que RFID , capteurs sans fil et nanotechnologie, Internet peut s'étendre à des objets très réels.

En 2009, la Commission européenne a publié l'« Internet des objets : plan d'action européen », qui exposait ses perspectives de développement et ses enjeux sur ce thème, et proposait un plan de développement et d'action autour des objets de l'Internet des objets.

En 2012, il y avait environ 8,2 milliards d'objets connectés dans le monde [6].

Selon une équipe de l'ETH Zurich, en raison de l'augmentation du nombre de smartphones et d'objets connectés, 150 milliards d'objets seront connectés à des milliards de personnes via Internet au cours de la décennie 2015-2025 [7].

L'accroissement de nombres des objets connectés depuis l'année 2003 jusqu'à 2020 est illustrée dans la figure suivante (Figure1.2).

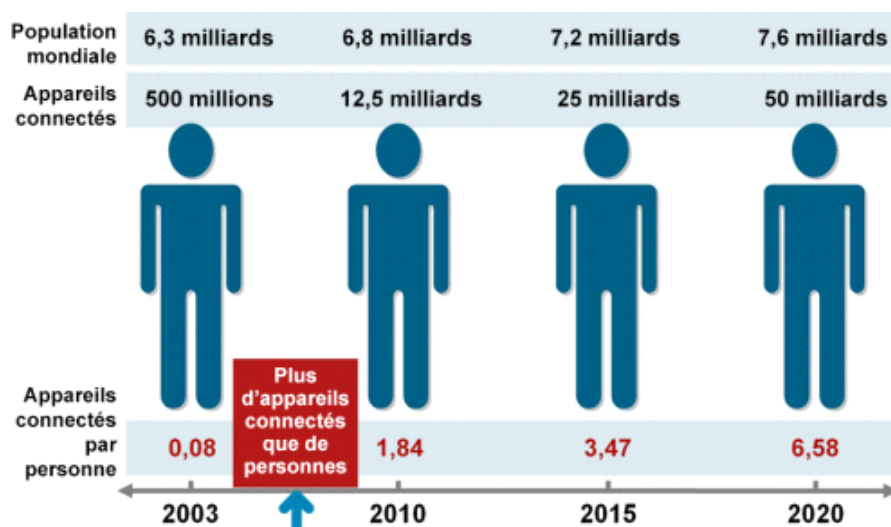


FIGURE 1.2 – Evolution de nombre d'Objet connectés de IoT [36].

1.2.3 L'architecture de l'internet des objets

L'internet des objets est encore en développement, il n'y a donc pas de structure universelle pour l'Internet des objets. Cependant, sur la base des points de vue de différents chercheurs sur sa véritable signification, des modèles d'architectures différentes ont été proposés [8].

L'architecture actuelle et couramment utilisée est généralement divisée en trois couches. Les couches et leurs fonctionnalités sont résumées comme suit :

1. Couche de perception :

Sa fonction principale est d'identifier les objets et de collecter les informations. Il est principalement composé de capteurs et d'actionneurs, et de stations de surveillance (telles que les téléphones portables, les tablettes, les téléphones intelligents, les PDA, etc.), Nano nœuds, étiquettes RFID.

2. Couche réseau :

Réseau convergé composé d'un réseau filaire/sans fil dédié (WIFI), Internet, système de gestion de réseau, etc. Sa fonction principale est de transmettre les informations obtenues à partir de la couche de perception.

3. Couche application :

Il s'agit d'un ensemble de solutions intelligentes qui appliquent la technologie de l'Internet des objets pour répondre aux besoins des utilisateurs [9].

La figure 1.3 ci-dessous montre l'architecture de IOT .

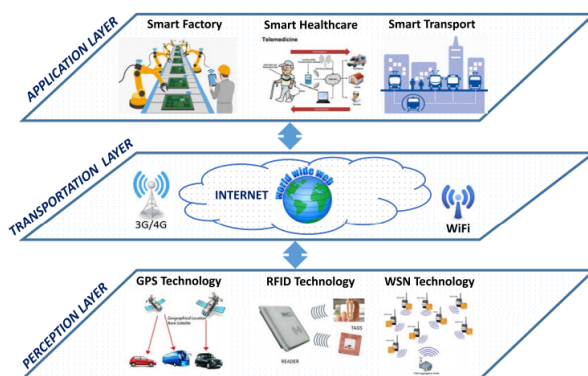


FIGURE 1.3 – Architecture d'IdO [37].

1.2.4 Les avantages de l'internet des objets

L'Internet des objets deviendra la principale technologie affectant la vie quotidienne. En effet, il faut dire que tous les consommateurs sont désormais connectés via les smartphones. Ce dernier a trouvé de nombreux avantages, tels que [8] :

- L'Internet des objets permet la surveillance à distance de nombreuses applications
- Le fonctionnement ultérieur du moniteur est généralement contrôlé.
- Grâce à Internet, vous pourrez à tout moment connaître de nombreuses informations sur tout ce qui vous entoure,.
- Internet peut transformer tout ce qui vous entoure en un environnement interactif dans les jeux.

1.2.5 Les défis

L'internet des objets est une incroyable évolution technologique, mais il existe toujours des défis qui en découlent.

- Big Data.
- Sécurité : manque de prise en compte des problèmes de sécurité possibles et des changements réglementaires.
- Confidentialité : Les chercheurs ont identifié des défis en matière de confidentialité pour toutes les parties prenantes de l'IoT.
- Consentement de l'utilisateur : Dans une certaine mesure, les rapports indiquent que les utilisateurs doivent être en mesure d'autoriser la collecte de données.

Cependant, ils n'ont ni le temps ni les connaissances techniques nécessaires.

- Liberté de choix : la protection de la vie privée et les normes de pratique doivent promouvoir la liberté de choix.
- Anonymat : les chercheurs ont souligné que la plateforme connectée ne tenait pas compte de l'anonymat lors de la transmission des données [10].

1.2.6 Domaines d'application

Plusieurs domaines d'application sont touchés par l'IoT.

Quelques exemples courants sont présentés dans la figure suivante :

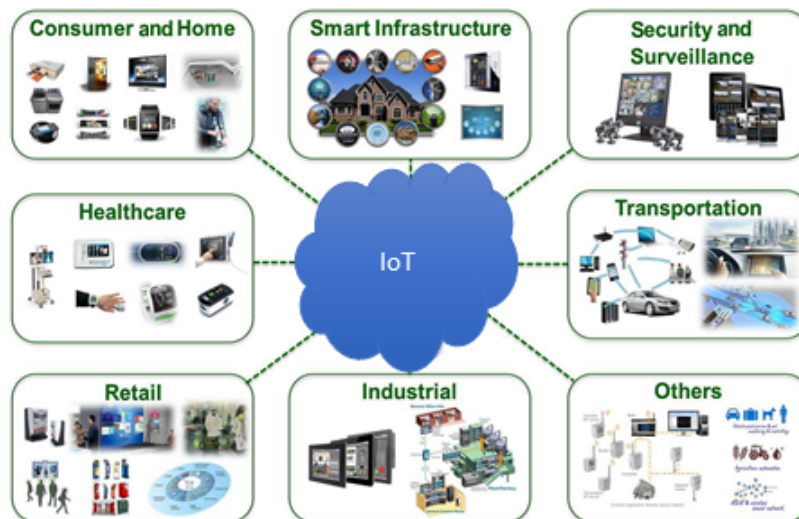


FIGURE 1.4 – Domaines d'application.

Parmi ces principaux domaines nous citons :

1- Le transport

Depuis la création de l'Internet des Objets en 1999, le nombre de voitures intelligentes ne cesse de croître. Presque tous les véhicules vendus dans le monde aujourd'hui contiennent déjà des capteurs et des moyens de communication pour faire face à la congestion du trafic, à la sécurité, à la pollution et au transport efficace des marchandises.

L'objectif est de permettre aux voitures de communiquer de manière autonome avec d'autres véhicules ou stations de surveillance pour prévenir les accidents et réduire les coûts d'assurance [11].

2- L'agriculture

La croissance rapide de la population mondiale, les changements dans les habitudes alimentaires et le dérèglement climatique sont les trois facteurs majeurs, qui font de l'agriculture moderne un défi quotidien.

D'ici 2050, la productivité agricole doit augmenter de 70 % pour répondre à la demande mondiale.

Il ne s'agit pas seulement d'un défi technique, mais aussi d'un problème humanitaire. Les producteurs vivriers et les maraîchers ont utilisé des drones pour collecter en temps réel des informations vitales pour la gestion des exploitations :

- L'humidité de la terre
- État des plantations .
- Climat...etc.

Les données collectées sont transmises au tracteur connecté (parfois de manière autonome). Cela permet de répartir finement les niveaux d'engrais et d'arrosage sur une parcelle donnée, et de réduire les coûts financiers et énergétiques [12].

3- La domotique / la maison connectée

Les maisons intelligentes deviennent normales. Une étude de Juniper Research prévoit également que d'ici la fin de 2021, le nombre d'appareils connectés dans la maison augmentera de 200 %. Outre les objets de divertissement tels que les smart TV ou les enceintes connectées, la domotique prend également en compte la sécurité et les économies d'énergie de la maison [12] :

- **Poste domotique** : contrôler et programmer diverses interventions au sein de la maison.
- **Capteur d'informations** : (système d'alarme, changement de température, etc.).
- **Actionneur** : permettant la programmation et le contrôle à distance de divers appareils électroniques dans la maison.

4- La santé

Appareils de radiographie(Rayons X) et d'imagerie, moniteurs connectés, compteurs d'énergie... 60 % des hôpitaux dans le monde utilisent déjà l'Internet des objets pour augmenter leur productivité et améliorer la prise en charge des patients .

Les objets connectés sont utilisés au quotidien :

- Surveillance et maintenance dans les établissements médicaux .
- Chirurgie et contrôle à distance.
- Service de géolocalisation.

La standardisation de l'Internet des objets dans le secteur de la santé permettra la création de nouveaux modèles de fonctionnement pour augmenter la productivité des employés, tout en favorisant la collaboration entre les soignants et la communication avec les patients [12].

1.3 Ville intelligente

1.3.1 Définition

La Ville intelligente, ou encore Smart-City , est une ville qui utilise les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer la qualité des services urbains ou réduire les coûts. Les autres termes sont Utilisés pour des concepts similaires : ville connectée, ville réseau, ville numérique, e-communauté.

Une ville est une zone urbaine utilisant différents capteurs pour collecte de données électroniques et fournir des informations de gestion des ressources et des actifs efficaces. Cette inclure les données recueillies auprès de traiter et analyser les citoyens, les machines et les actifs pour surveiller et gérer plusieurs systèmes intégration des concepts de ville intelligente.

Les TIC et divers appareils physiques connectés au réseau constituent l'internet des objets pour optimiser l'efficacité des opérations et des services urbains et se connecter aux citoyens. [13].

Il y a deux parties principales dans les villes intelligentes [14] :

- Collecte et traitement des données : infrastructure sous-jacente, monde des capteurs, réseau intelligent, eau intelligente, bâtiments intelligents et surtout, big data.
- Interface intelligente avec les utilisateurs (citoyens, visiteurs, touristes) : Le but est de doter la ville d'une intelligence cognitive pour que l'utilisateur puisse interagir facilement avec son environnement.

La ville dite intelligente est une ville durable est innovante qui utilise les technologies de l'information et de la communication pour améliorer la qualité de vie, l'efficacité et la compétitivité de la gestion urbaine et des services urbains, tout en respectant les besoins des générations présentes et futures de la région. Domaines économique, social, environnemental et culturel [15].

1.3.2 L'enjeu d'une Ville intelligente

Il y en a plusieurs ! L'enjeu principal est d'améliorer la qualité de vie des résidents tout en respectant l'environnement. La technologie est omniprésente dans notre vie quotidienne, il s'agit d'en récolter les bénéfices et de les utiliser pour établir des relations entre les villes et les habitants.

Des transports plus fluides et plus pratiques, une meilleure gestion des déchets, l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication, et la volonté d'inscrire les habitants au cœur de sa stratégie.

Les villes intelligentes espèrent également augmenter le nombre d'espaces verts pour améliorer la biodiversité et reconnecter les gens et la nature [16].

1.3.3 Les caractéristiques de la ville intelligente

L'Union européenne s'inspire de la vision de Rudolf GIF Finger, expert en recherche analytique sur le développement urbain et régional à l'université technologique de Vienne, que les villes intelligentes peuvent être classées d'après six critères principaux [14] :

Une économie intelligente

L'économie intelligente est un autre domaine de service important des villes intelligentes. L'objectif commun des composantes impliquées dans cette dimension est d'améliorer la compétitivité de la ville.

De nombreuses villes tentent actuellement de mettre en place un écosystème d'innovation, permettant aux start-ups, aux entreprises établies et à d'autres groupes d'intérêt de coopérer ou de se concurrencer pour développer des solutions et des modèles commerciaux innovants. L'économie intelligente comprend l'application de solutions innovantes pour améliorer les facteurs suivants [19] :

- Esprit d'innovation.
- Entrepreneuriat.
- Productivité.
- Réseaux locaux et mondiaux.
- La flexibilité du marché du travail.

Des citoyens intelligents

Intégrer les TIC pour promouvoir l'ouverture, la créativité, l'innovation ouverte et la participation à la vie publique [18].

Une gouvernance intelligente

Gouvernance partagée se débarrasser de la politique de silo dans la vraie horizontale les citoyens sont retournés au centre-ville. Récemment, la stratégie d'accès à l'open data et citoyenneté favorise le développement d'internet[33].

- TIC ET E-GOUVERNEMENT.
- TRANSPARENCE.
- OPEN DATA.

Mobilité (ou transport) intelligente

Avoir un réseau de transmission qui permet le contrôle et la surveillance en temps réel du système [18].

Un environnement intelligent

Les villes intelligentes doivent promouvoir des environnements de qualité (espaces verts, qualité de l'air), gérer durablement leurs ressources et s'efforcer de protéger l'environnement. Les communautés écologiques sont des exemples localisés d'environnements de gestion intelligente. Il s'agit d'utiliser les TIC pour la gestion des déchets, le recyclage, le contrôle de la pollution et les émissions de gaz [32].

Un mode de vie intelligent

Le périmètre des services classés sous la rubrique « Smart Lifestyle » comprend principalement des facteurs qui contribuent à améliorer la qualité de la vie urbaine [19] :

- établissements culturels.
- soins de santé.
- Sécurité.
- Matériel de logement .
- La cohésion sociale
- Attraction du tourisme et de l'éducation.



FIGURE 1.5 – caractéristique des villes intelligentes [14].

1.3.4 Les avantages de la Ville intelligente

De multiples avantages permettront aux villes de demain de simplifier la vie de leurs habitants. On distingue quelques exemples[35] :

- Accélérez les services d'administration en ligne pour avoir des implications pour la société.
- Créer un meilleur aménagement et un meilleur développement de la ville habitable future.
- Rendre le système de transport plus efficace et intégré afin d'augmenter la mobilité de ses habitants.
- Créer des maisons et des bâtiments écoénergétiques.
- L'environnement peut également devenir plus durable en raison du concept de déchets et de la réglementation.

1.3.5 Obstacles pour une ville intelligente

La numérisation annonce la révolution économique et sociale. Le développement numérique est en harmonie avec la nature historique de la ville en tant que lieu d'innovation.

Cependant, alors que les villes cherchent à suivre le potentiel de la technologie numérique, le fardeau qui pèse sur les villes devient de plus en plus lourd. Avec le développement rapide des technologies innovantes, les conditions-cadres évoluent rapidement et l'incertitude est élevée [19].

Nous vivons dans un monde appelé VUCA (Volatilité, incertitude, complexité et ambiguïté), qui est typique de presque tous les domaines touchés par la numérisation. Ce monde rend impossible une planification stable et à long terme. Ces attributs remettent en cause toute prise de décision et la recherche de consensus entre les parties prenantes. Cette situation s'applique à la réalisation de villes intelligentes. Examinons chaque aspect du monde VUCA séparément [19].

1.3.6 Exemples des Villes intelligentes

Singapour "la reine des Smart Cities"

A remporté la première place pour être la ville intelligente la plus innovante au monde. Bien que la ville soit confrontée à une population vieillissante, son gouvernement continue de chercher des moyens d'intégrer les avancées de la technologie numérique pour augmenter la productivité.

Le pays intelligent de Singapour collecte numériquement des informations autour de la ville, ce qui est vital pour la gestion de la ville. De plus, 95 % des foyers disposent d'un accès haut débit, qui peut fournir des informations nécessaires à des fins personnelles ou professionnelles.

Le développement de Singapour virtuel a conduit à un modèle de ville 3D dynamique agissant comme une plate-forme de données collaborative. Les entreprises publiques et privées sont ouvertes au développement d'outils qui peuvent être testés plus avant pour améliorer les plans de technologie intelligente de la ville. Les logements sociaux peuvent accueillir 80 % des habitants de la ville et sont constamment testés pour des innovations de pointe, telles que des systèmes de gestion de l'eau et des systèmes de suivi pour toutes les personnes âgées.

D'ici 2022, le gouvernement de la ville prévoit d'introduire un éclairage intelligent et économe en énergie dans toutes les rues de la ville et d'installer 6 000 panneaux solaires sur les toits des bâtiments de la ville.

Oslo

C'est la capitale de la Norvège. Elle est devenue une ville intelligente unique en raison de son accent sur le développement d'une atmosphère durable et respectueuse de l'environnement. Bien que les villes intelligentes et les lieux durables soient légèrement différents, Oslo peut être considéré comme les deux.

Il y a 650 000 lumières LED dans cette ville, toutes connectées à un centre de surveillance. Ces lumières intelligentes changeront automatiquement la quantité d'éclairage nécessaire pour répondre aux besoins actuels.

Oslo permet également à des détecteurs de plaques d'immatriculation sophistiquées de créer un moyen basé sur les données pour éviter les embouteillages. La ville espère restaurer complètement son système de transport dans les prochaines années.

Dubaï

La ville est connue pour son plan Smart Dubai 2021, qui prévoit de numériser tous les services gouvernementaux. Le plan comprend une centaine de projets couvrant les transports, les communications, les télécommunications, l'énergie, les services financiers et l'urbanisme.

Environ 90 installations gouvernementales sont actuellement en cours de Numérisation et mises à disposition via l'application DubaiNow.

Les responsables de la ville estiment qu'ils économiseront aux EAU 900 millions de dirhams, soit 245 millions de dollars US. Ils prévoient également d'annuler les transferts papier après la fin du programme.

Selon la « Road and Traffic Administration », un appareil qui utilise l'intelligence artificielle pour suivre les chauffeurs de bus a considérablement réduit les accidents de la route causés par la fatigue.

Hong Kong

Hong Kong est l'une des villes les plus influentes d'Asie du Sud-est. Elle se vante de son principal port et d'être un centre financier mondial qui a acquis les points technologiques les plus élevés, ce qui en fait le premier au monde dans ce domaine de la technologie.

La ville a de nombreuses initiatives intelligentes comme le « Smart City Hong Kong blueprint », avec des initiatives dans six domaines :

- Mobilité.
- Vie.
- Environnement.
- Personnes.
- Gouvernement et économie.

Amsterdam

La Smart City d'Amsterdam (ASC) a reçu de nombreuses reconnaissances pour ses initiatives intelligentes sur la scène européenne et mondiale. Elle a beaucoup attiré l'attention en raison de ses progrès technologiques, de son rayonnement international et de son urbanisme. L'initiative a déjà été couronnée de succès.

Dans le cadre de la coopération, la ville a collaboré avec des entreprises et des organisations locales pour évaluer des alternatives durables pour le plus grand quartier commerçant de la ville, „ Utrechtsestraat ” Le projet « **Climate Street** » implique un éclairage économe en énergie, une réduction de la pollution et des arrêts de tramway.

New York

Les autorités locales de New York travaillent ensemble pour faire de la Big Apple l'une des villes intelligentes. Ils croient qu'ils sont une ville durable et qu'ils continueront à créer une vie meilleure pour tous les New-Yorkais.

Avec l'aide d'initiatives des secteurs public et privé, la ville de New York subit une transformation numérique pour permettre au public d'atteindre plus facilement le gouvernement, de réduire les coûts, d'améliorer les performances et de comprendre ce qui se passe à New York.

Le bureau du maire et les gouvernements locaux combinent des technologies de pointe pour tirer pleinement parti des possibilités de l'Internet des objets et des appareils mobiles [20].

1.4 Avantages et applications de l'internet des objets aux villes intelligentes

Il existe plusieurs avantages et applications d'internet des objets aux villes intelligentes, nous citons :

- Amélioration de la performance des bâtiments.

- Les consommations d'énergie.
- La gestion du mobilier urbain.
- L'élimination des déchets.
- Gestion du trafic, du transport, facilite la mobilité.

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exprimé d'une façon générale la technologie IdO et les villes intelligentes. D'abord, nous avons défini le concept, l'origine, les avantages et l'architecture de l'Internet des objets, puis nous avons exposé les défis avec quelques domaines d'application.

Ensuite nous avons défini les villes intelligentes et leurs caractéristiques, enjeux et obstacles, et nous avons proposé quelques exemples des villes intelligentes dans le monde .

Enfin, nous avons conclu ce chapitre avec les avantages et l'application d'internet des objets sur les villes intelligentes. Dans le deuxième chapitre, nous allons exposer l'état de l'art de la gestion des feux tricolores .

Etat de l'art sur les feux tricolores

2.1 Introduction

Le problème de la circulation augmente progressivement dans le monde à cause de la multiplication du nombre de véhicules, ceci est l'un des facteurs qui rendent la vie très difficile, surtout dans les villes métropolitaines.

Ce problème entraîne également des troubles écologiques. L'augmentation du nombre de véhicules en attente dans le trafic augmente le taux de gaz dégagé (CO₂, CH₄...), ce qui provoque le réchauffement planétaire. Les régions où les embouteillages sont les plus importants sont généralement les intersections. Pour gérer le trafic routier, on fait appel aux systèmes de contrôle de feux de signalisation.

Dans ce chapitre, nous allons donner une idée générale sur les feux tricolores, leur histoire, quelques systèmes de contrôle existants ainsi que la limite des approches traditionnelles.

2.2 Définition des feux tricolores

Les feux de signalisation, développés depuis 1912, sont des dispositifs de signalisation conçus pour contrôler les flux de circulation aux intersections routières, aux passages pour piétons, aux trains et à d'autres endroits.

Les feux de signalisation se composent de trois feux de couleur universels : le feu vert permet au trafic de suivre la direction indiquée, le feu jaune avertit les véhicules de se préparer à un arrêt court et le feu rouge interdit tout trafic de se poursuivre[21].

2.3 Terminologie

Afin de découvrir le système de contrôle de trafic, il faut d'abord introduire des notions sur ce système.

2.3.1 Trafic routier

Le trafic routier représente l'ensemble des comportements complexes issus de la circulation des usagers sur un réseau routier d'une capacité restreinte [30].

2.3.2 Intersection

Une intersection est située à la rencontre de plusieurs rues, déterminant des couloirs d'entrée et de sortie. Le couloir est caractérisé par sa largeur et le nombre de voies, certaines de ces voies peuvent être affectées par un trafic particulier. Le flux de véhicules est un flux direct, un flux de virage à gauche ou un flux de virage à droite [31].

2.3.3 Phase d'un feu

Une phase représente un intervalle durant lequel une combinaison de feux verts autorisés par l'unité de gestion des conflits sera activée. La phase est déterminée par le mouvement qui peut être effectué dans chaque direction [29].

2.3.4 Cycle d'un feu

Un cycle est la séquence d'un ensemble de phases. Ce cycle est généralement fixé à un minimum de 45 secondes et ne dépasse pas 90 secondes pour éviter de perdre du temps à arrêter et à relancer le trafic. En général, un cycle passe par toutes les phases et mouvements possibles, de sorte que toutes les voies ont au moins un feu vert. Lorsque l'intersection est assez équipée, cette règle n'est pas nécessairement applicable (par exemple, les voies sans véhicules peuvent ne pas être sélectionnées) [29].

2.3.5 Plan de feu

Un plan de feu représente la description d'un cycle donné, et définit les différentes phases par lesquelles le cycle va passer et leur durée [29].

2.3.6 Systèmes de contrôle intelligents

Les systèmes de transport intelligents (STI) sont des systèmes automatiques qui gèrent le trafic routier dans le but d'améliorer la sécurité routière, d'optimiser la vitesse de circulation et de minimiser la consommation d'énergie des véhicules circulant sur les routes [28].

Avec le développement de la technologie, les données sur les flux de trafic peuvent être collectées plus facilement. Les données peuvent être récupérées à l'aide de caméras et de détecteurs dans la structure des STI [27].

Un STI se compose de quatre sous-systèmes, un système de surveillance, un système de communication, un système d'efficacité énergétique et un système de contrôle des feux de circulation [28].

2.4 Histoire de l'évolution des systèmes

Tout le monde semble penser qu'il est évident que les feux de signalisation ont dû apparaître après les voitures, mais pas si vite... Allons découvrir leur histoire.

En 1868 à Londres : Dix-huit ans avant que Benz ne lance sa première voiture, un feu de circulation a été installé sur la place du Parlement à Londres pour aider les membres de la Chambre des Lords à traverser la route. Il consistait alors un fanal rotatif, qui fonctionnait au gaz et qui nécessitait la présence d'un agent de police pour le manœuvrer afin de dire aux calèches de s'arrêter.

Cependant, cette idée a été abandonnée après qu'une explosion se soit produite un mois seulement après la mise en œuvre du système [22].

En 1912 à Salt Lake City : Les Américains ont installé le premier feu électrique bicolore de l'histoire à Salt Lake City. Il s'agit d'une création d'un policier de la ville 'Lester Wire'. Il était jaune et composé de lentilles rouges et vertes inspirées des couleurs utilisées dans la marine et les chemins de fer [23].

En 1914 à Cleveland : James Loge, responsable de la société américaine de signalisation routière, a adopté cette idée et a installé un feu de circulation bicolore à faces multiples à Cleveland [23].

En 1920 aux Etats Unis : Dès 1920, la couleur jaune était introduite entre le rouge et le vert, à Détroit et New York. Le feu de signalisation est apparu et deviendra une norme mondiale [24].

1920 – 1930 : Europe En 1923, le premier feu de signalisation mécanique à énergie électrique est mis en place à Paris, à l'intersection du boulevard de Strasbourg et des Grands Boulevards.

La majorité des grandes villes européennes lui succèdent : Berlin en 1924, Milan en 1925, Rome en 1926, Londres en 1927, Prague en 1928, Barcelone en 1930... Ainsi que Tokyo en 1931 [24].

Les années 1930 : Harmonisation et législation Le 30 mars 1931, la première Convention sur l'unification de la signalisation routière a été signée à Genève, elle avait pour but : accroître la sécurité du trafic routier, ainsi que de fluidifier la circulation routière internationale à l'aide d'un système uniforme de signalisation routière. Les feux tricolores se répandent de plus en plus [24].

Un Développement exponentiel à partir de 1950 : Le trafic routier a augmenté de façon spectaculaire entre 1950 et 1980, ce qui a nécessité une maîtrise de plus en plus sévère des flux et conduit à un développement considérable des feux de circulation [24].

En 1974 : Des signaux spécifiques pour les piétons Introduction des feux pour piétons avec pictogramme et élimination de ceux avec inscription dans la réglementation française. Ainsi que la mise en place de la ligne d'effet et du signal de désignation de voie [23].

2.5 Systèmes existants

Selon le *NCHRP*, plus de 20 systèmes auto-adaptatifs de contrôle de trafic ont été développés par des instituts de recherche sur les transports et des entreprises du monde entier, mais moins de la moitié de ces systèmes ont été mis en service.

Selon la capacité du système à s'adapter à l'environnement et du niveau de prise de décision intelligente, Gartner et al. ont proposé en 1995 l'évolution des niveaux de développement des systèmes de contrôle du transport urbain, comme le montre la figure suivante :[25]

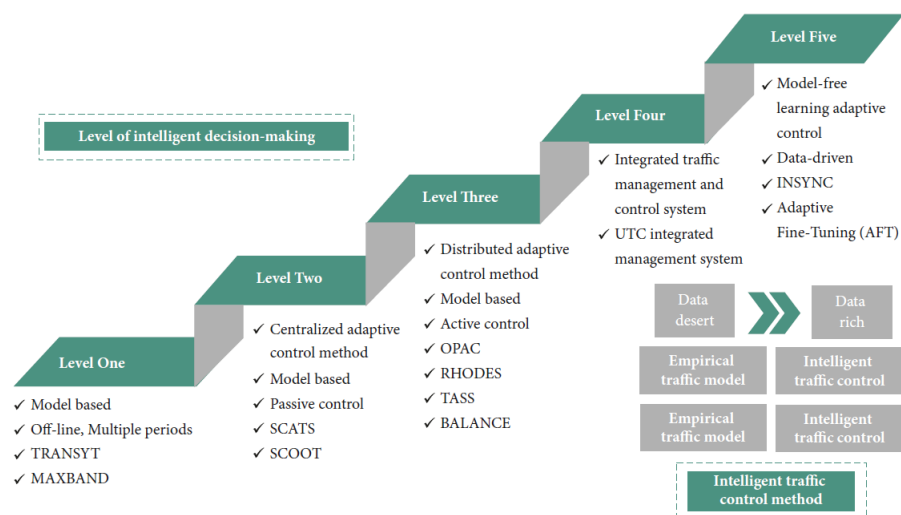


FIGURE 2.1 – Processus de développement des systèmes de contrôle auto-adaptatif du trafic urbain [25].

2.5.1 Première génération

Le système de contrôle auto-adaptatif de la première génération adopte la synchronisation multi temporelle de division fine de la période, ou un contrôle auto-adaptatif complètement isolé, pour réaliser un règlement simple du flux de trafic.

Prenons l'exemple du système de contrôle de temporisation multi-période, qui divise le flux de trafic arrivant dans une journée en plusieurs périodes (telles que les heures de pointe, les heures creuses), en tenant compte des changements dans la demande de trafic quotidienne pour optimiser le schéma de temporisation des signaux dans différentes périodes de temps chaque jour, en utilisant la méthode '*comprehensive performance index*' ou la méthode '*green wave band timing*' pour optimiser et générer une bibliothèque de schéma de temporisation des signaux .

En fonction du nombre de semaines et de la période de contrôle, le contrôleur du trafic peut sélectionner directement le schéma hors ligne approprié dans la bibliothèque de schémas [25].

TRANSYT : *Traffic Network Study Tool*

C'est un programme qui optimise le contrôle de l'éclairage à « temps fixe ». Pour un réseau constitué d'un certain nombre de tronçons routiers et d'intersections, le programme détermine le plan des feux de circulation - répartitions optimales de durées de vert entre les différentes branches de toutes les intersections et décalages optimums entre eux, ceci dans une période caractéristique au cours de laquelle les débits entrants dans le réseau sont considérés constants- ce qui mène à un fonctionnement optimal du réseau.

Tous les feux du réseau fonctionnent sur la même période de cycle[26].

La première version de TRANSYT remonte à 1967 et a été développée par le TRRL (Transportation and Road Research Laboratory) du Royaume-Uni. Il continue d'être amélioré, sa dernière version était à 1996 [26].

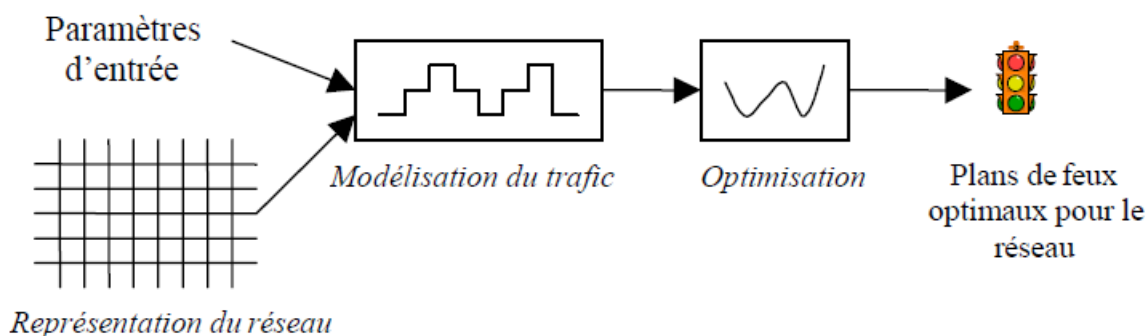


FIGURE 2.2 – Architecture de TRANSYT [26].

2.5.2 Deuxième génération

Le système de contrôle des feux de circulation de deuxième génération ajuste dynamiquement les paramètres du schéma de synchronisation des feux (période de signal, rapport de signal vert et différence de phase).

Par rapport au système de contrôle de la synchronisation et de la coordination de l'induction, le système de deuxième génération a considérablement amélioré la flexibilité et la capacité d'ajustement adaptatif du système de contrôle.

Les systèmes de cette génération typiquement comprennent SCATS et SCOOT [25].

SCOOT : *Split Cycle and offset Optimisation Technique*

Développé entre 1972 et 1980 par le TRRL (Traffic and Road Research Laboratory), Grande Bretagne [26].

SCOOT modifie progressivement le plan des feux de circulation en cours pour s'adapter à l'évolution des conditions de circulation.

La modification du plan du feu comprend des variations mineures du temps de cycle, du temps de feu vert et des décalages ; les réglages appliqués aux intersections sont tels qu'ils optimisent les indicateurs de performance du réseau.

La plupart des décisions sont prises sur la base des descriptions actuelles des conditions de circulation. Il n'est pas nécessaire de faire des prévisions à long terme, car il s'agit d'accumulation de petites variations à très court terme, permettant aux plans de feux de s'adapter à l'évolution du trafic sur le long terme.

Le système est initialisé par le plan de feux fixe calculé par TRANSYT. Ce choix permet de bien faire coïncider le plan de feux et les conditions de circulation dès la mise en œuvre de SCOOT [26].

Le principe de SCOOT est simple et classique pour les systèmes adaptatifs : SCOOT reçoit les données de mesure de trafic en temps réel de la scène.

Sur la base de ces informations et de la représentation du réseau urbain, le module de flux de trafic prédit le retard et l'arrêt du véhicule correspondant à l'état spécifique du feu de circulation.

Le module d'optimisation détermine les réglages les plus adaptés aux conditions de circulation actuelles [26].

SCATS : Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System

Développé dans les années 1980 par le ministère des Transports de la Nouvelle-Galles du Sud, en Australie, en réponse à la demande de Sydney pour de nouveaux algorithmes de gestion dynamique du trafic [26].

La stratégie est basée sur des bibliothèques distinctes de durées de cycle, de décalages et de durées de vert, ainsi qu'un algorithme en temps réel utilisé pour reconstruire le plan de feux. Le plan de feux a ainsi été réorganisé au lieu d'être conservé à la bibliothèque tel qu'il est [26].

Le système de contrôle ne comprend pas de module de flux de trafic : son fonctionnement repose uniquement sur la disponibilité de données explicites décrivant le trafic.

L'objectif global est de minimiser les retards et les arrêts en sélectionnant les paramètres de base du système de contrôle de la circulation (tels que la durée du feu vert, les décalages et la durée du cycle).

La supervision est divisée en deux niveaux :

- la supervision stratégique du groupe d'intersection.
- la supervision tactique de chaque niveau d'intersection [26].

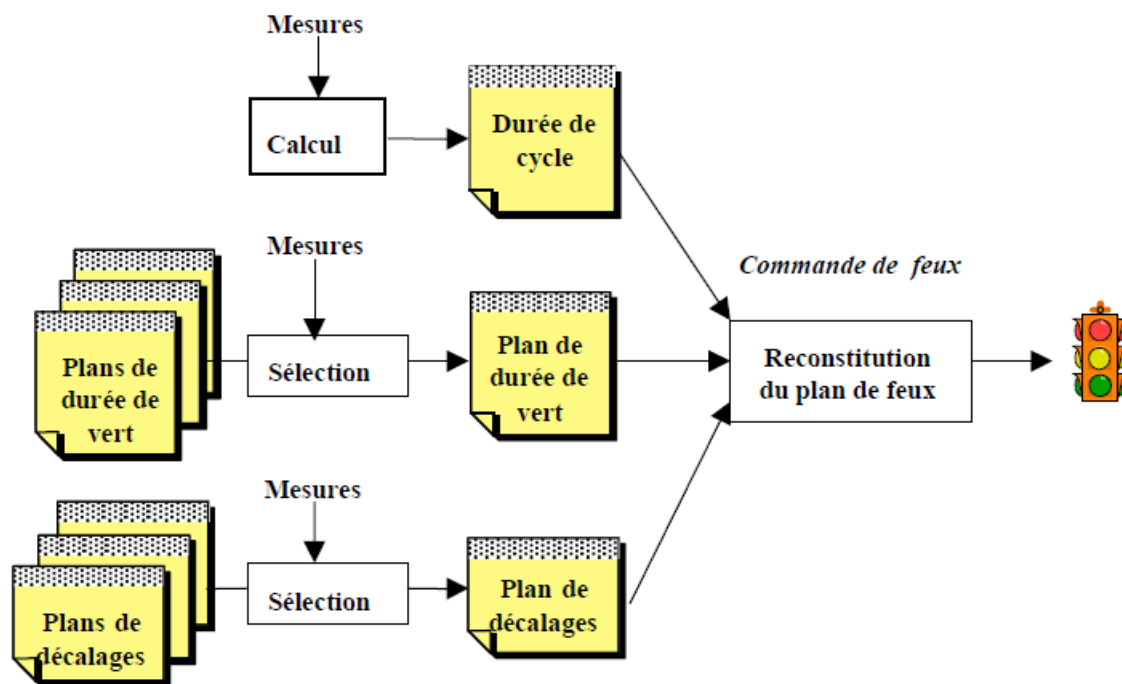


FIGURE 2.3 – Principes généraux de SCATS [26].

2.5.3 Troisième génération

Le système de contrôle de troisième génération utilise l'idée similaire à celle de la deuxième génération pour ajuster dynamiquement le paramètre de synchronisation du signal en réponse à la variation du flux de trafic dans le temps à l'intersection.

Typiquement cette génération comprend les systèmes OPAC et RHODES [25].

OPAC-RT : Real Time Optimization Policies for Adaptive Control

Il a été élaboré en 1982 dans le cadre d'une coopération entre l'université de Massachusetts Lowell, et le ministère américain des transports [26].

La stratégie de contrôle mise en place consiste à nous demander à chaque instant si nous modifions l'état du feu. C'est-à-dire si le feu passe de l'état vert à l'état rouge, et vice-versa, et non pas de prétendre d'optimiser séparément les paramètres caractéristiques des plans de feux.

Cette stratégie fonctionne dans un laps de temps limité et prédit les transactions futurs dans cette plage.

Les concepts classiques liés aux plans feux ne sont plus utilisés[26].

2.5.4 Quatrième génération

Le système de contrôle des feux de circulation auto-adaptatif de quatrième génération est un système intégré de gestion et de contrôle du trafic, qui peut réaliser la gestion intégrée du trafic du réseau et maximiser les avantages techniques et performants de plusieurs sous-systèmes.

Il intègre un système de contrôle des feux de circulation auto-adaptatif et d'autres systèmes de gestion du trafic ITS avec une technologie d'intégration du matériel et des logiciels du système, comme les modèles de processus dynamiques de l'affectation et la régulation du trafic avec différentes stratégies de mise à jour des signaux [25].

2.5.5 Cinquième génération

Le système de contrôle des feux de circulation auto-adaptatif de cinquième génération est basé sur les capacités d'auto-apprentissage et de calcul à haute efficacité dans l'environnement des véhicules automatisés et des véhicules ordinaires.

En se basant sur des informations empiriques et l'état du trafic en temps réel, le système de contrôle adaptatif de la cinquième génération apprend les connaissances de contrôle du trafic indépendamment et réduit la charge de calcul de l'optimisation des décisions de manière intelligente [25].

-En juin 2014, le système InSync a été appliqué à 1350 intersections dans plus de 100 villes des États-Unis et est devenu le système de contrôle du trafic auto-adaptatif qui connaît la croissance la plus rapide aux États-Unis [25].

2.6 Limite des approches traditionnelles

Le système de chaque génération n'a pas seulement hérité des excellentes caractéristiques de la génération précédente, mais progresse également de manière continue pour améliorer l'évolution de la technologie de contrôle du trafic sous le soutien de la technologie de base clé et le guide de la nouvelle stratégie de contrôle du trafic. Cependant, la technologie et la méthode existantes de contrôle auto-adaptatif du trafic à période fixe présentent certaines déficiences [25],

Comme suit :

- Le modèle existant de prédiction statique du trafic et de synchronisation n'a pas de capacité d'apprentissage. Par conséquent, les services concernés ne recalculent les paramètres du modèle que lorsque les schémas de trafic du réseau ont considérablement changé.
- Avec l'expansion du réseau de circulation, le réseau routier régional à grande échelle utilisant un contrôle centralisé est difficile de garantir la qualité de la transmission des données
- Le système existant ne convient qu'au trafic régional avec un effet de couloir important (en raison de la séquence de phase fixe, il ne peut réaliser qu'une onde verte à sens unique), et la capacité de contrôle du flux de trafic du réseau typique dans la grande majorité des villes est limitée.
- Le réseau routier régional ne réagit pas en temps utile aux changements actuels du trafic, ce qui rend difficile le contrôle en temps réel.
- Les méthodes existantes de contrôle du trafic simplifient généralement les contraintes de contrôle pour établir un modèle mathématique précis, mais ces méthodes sont différentes des conditions actuelles de circulation et l'effet de contrôle est faible.
- Le système nécessite beaucoup d'intervention humaine, et le personnel professionnel et technique est nécessaire pour optimiser et maintenir le système en raison du problème de processus de transfert localisé [25].

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons définis quelques notions sur la route et les feux tricolores, nous avons discuter brièvement l'histoire des feux ainsi que les systèmes de contrôle de trafic existants.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter en détails notre système intelligent de contrôle de feux de signalisation.

Chapitre 3

Un système intelligent de contrôle de feux de signalisation (version2)

3.1 Introduction

Aujourd'hui, les centres urbains confrontent le problème de congestions qui provoquent plusieurs conséquences défavorables sur l'environnement, comme sur l'humain. Le contrôle de feux de circulation traditionnelle ne suffit pas pour résoudre ce problème.

De ce fait, nous allons présenter dans ce chapitre, un système intelligent de contrôle de feux de signalisation basé sur l'apprentissage par renforcement, dans le but de fluidifier le trafic et diminuer le temps d'attente, les émissions CO2 ainsi que la consommation de carburant.

3.2 Description du problème

Nous allons d'abord introduire quelques notions liées aux agents intelligents, puis nous allons définir explicitement notre problème.

3.2.1 L'environnement

L'environnement représente l'ensemble des objets externes à l'agent, avec lesquels il interagit pour accomplir sa tâche. Dans notre cas, nous trouvons par exemple : la route, le trafic, les véhicules ...

Caractéristiques de l'environnement

Caractéristique	Description
Dynamique	L'environnement évolue pendant que l'agent décide l'action à accomplir
Accessible	Perception de l'état complet de l'environnement, les détecteurs captent tous les aspects qui interviennent dans le choix d'une action
Continu	Les éléments perçus (vitesse, temps d'attente ...) appartiennent à des intervalles continus.
Non déterministe	L'état du monde à l'instant suivant est complètement indépendant de l'état courant.

TABLE 3.1 – Caractéristiques de l'environnement d'agent

3.2.2 État

L'état de l'environnement est défini par l'ensemble des informations décrivant le trafic (par exemple le nombre de véhicules, la vitesse moyenne, le temps de voyage. . .) récupérées à l'aide des capteurs et des caméras. Dans notre cas, ces données sont capturées au niveau du simulateur SUMO.

L'ensemble de ces informations est nécessaire pour que l'agent intelligent accomplisse sa tâche, en effet, en se basant sur ces données il prend sa décision de changement des phases du feu de circulation.

3.2.3 Action

Après avoir observé l'état de l'environnement, l'agent doit choisir une action parmi l'ensemble des actions disponibles. Dans notre cas, les actions possibles de l'agent sont les configurations de la phase des feux de circulation (c'est-à-dire la combinaison de feux de circulation qui contrôlent les voies individuelles pour toute une intersection). Dans le monde virtuel (SUMO), cet actionnement se fait par la fonction prédéfinie `setRedYellowGreenState(phase)` dans laquelle le paramètre `phase` est une suite de

caractères qui prennent leurs valeurs dans l'ensemble r, G, y afin de désigner la couleur du feu affecte à chaque voie.

3.2.4 La récompense (reward)

Après que l'agent ait observé l'état de l'environnement, choisi une action, et l'a exécutée, il reçoit la récompense de l'environnement. Cette dernière est l'une des éléments qui distingue l'apprentissage par renforcement des autres types d'apprentissage automatique, l'agent tente de développer une politique d'état-action qui maximise la récompense cumulative à long terme.

Basé sur la formulation ci-dessus, nous pouvons définir formellement le problème de contrôle de feux de signalisation comme suit :

Définition du problème

Étant donné un état s du trafic à un instant t , et la récompense d'exécuter toute action possible à l'instant t , nous visons à prendre la bonne décision de sorte que la récompense accumulée soit maximisée.

3.3 Un système intelligent de contrôle de feux de signalisation SICoFSv2

Dans cette section, nous allons introduire notre système SICoFSv2 en détails, pour un contrôle de feux de circulation dans une intersection urbaine.

SICoFSv2 est un système intelligent basé-agents de contrôle de feux de signalisation dans une intersection urbaine, basé sur l'apprentissage par renforcement. Il représente une deuxième version du SICoFS [38], conçue dans le but d'améliorer l'ancienne version, c'est à dire de maximiser le flux du trafic, avec une minimisation considérable de temps d'attente des véhicules ainsi que les émissions CO2 et la consommation du carburant.

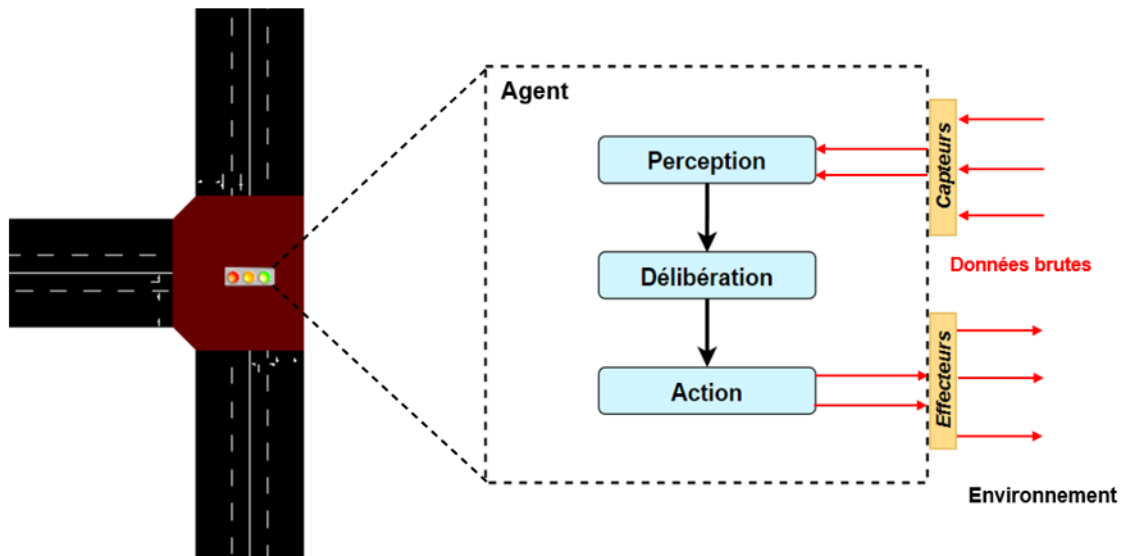


FIGURE 3.1 – schéma fonctionnel d'un agent TLS

La perception

L'agent reçoit les informations liées au trafic à chaque étape de temps, désignant l'état du trafic. Ces données sont nommées les percepts, et sont nécessaires soit pour la prise de décision ou bien pour la mesure de performance du système.

Dans notre système, nous aurons besoin de quelques données que nous puissions les classifier selon deux ensembles, comme suit :

Percepts pour la prise de décision = {WaitingT, HaltingNbr, TravelT, Occupancy, MeanV}

Percepts pour la mesure de performance = {CO2, Fuel.c, WaitingT, HaltingNbr}

STEP	CO2	CO	HCE	PMx	NOx	Fuel.C	Elect.C	Noise	VehNbr	MeanV	Occupancy	WaitingT	TravelT	HaltingNbr
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.1	0	0	2.77	0
68	1.32	0	0.04	0.02	0.44	0.57	0	22.91	0	30.67	0.02	0	3.53	0
69	0	0	0	0	0	0	0	22.64	0	30.59	0.02	0	3.55	0
70	1.18	0	0.02	0.01	0.38	0.51	0	23.83	0	30.66	0.04	0	3.53	0
71	1.14	0	0.02	0.01	0.36	0.49	0	23.72	0	30.62	0.04	0	3.54	0
72	2.89	0.01	0.11	0.04	1	1.24	0	23.99	0	30.69	0.04	0	3.52	0

FIGURE 3.2 – exemple de données capturées à partir de SUMO lors de la simulation

Attribut	Définition
Step	Etape de temps équivalent à 1 seconde.
CO2	Les émissions de CO2 des véhicules mesurées en g/s durant une étape de temps.
CO	Les émissions de monoxyde de carbone (CO) des véhicules mesurées en g/s durant une étape de temps .
HCE	Les émissions d'hydroxyde de carbone (HC) des véhicules mesurés en mg/s durant une étape de temps .
PMx	Les émissions PMx du véhicule dans un pas de temps, en mg/s.
Nox	Les émissions d'oxyde d'azote (NOx) des véhicules mesurés en [mg/s] durant une étape de temps .
Fuel.C	La quantité du carburant consommé par les véhicules en ml/s durant une étape de temps .
Elect.C	La quantité de l'électricité consommée par les véhicules en ml/s durant une étape de temps .
Noise	Les bruits générés par les véhicules mesures en dBA .
VehNbr	Le nombre de véhicules d'une voie donnée durant une étape de temps .
MeanV	La Vitesse Moyenne des véhicules d'une voie donnée lors de la dernière étape de temps, mesurée en [m/s] .
Occupancy	L'occupation de la route est désignée par la longueur totale des véhicules de la voie divisée par la longueur de la voie.
WaitingT	le temps consécutif où ce véhicule était arrêté.
TravelT	Le temps de voyage moyen actuel des véhicules de la même voie (longueur/vitesse moyenne) .
HaltingNbr	Le nombre de véhicules arrêtés sur la voie dans la dernière étape de temps, avec une vitesse moins de 0.1 m/s .

TABLE 3.2 – explication des informations capturées à partir de SUMO

La délibération

Afin de prendre une décision, l'agent calcule l'utilité 'Q-Value' à l'aide de la fonction 'Q-Function' (à détailler dans la section 1.3.2) en utilisant les percepts (informations citées avant) nécessaires. L'agent génère une suite d'actions. L'environnement évalue chaque action en lui affectant une valeur de récompense. La décision finale de l'action à exécuter est choisi en maximisant sa récompense.

Ce processus est un scénario cyclique qui se répète à chaque état du trafic.

3.3.1 La fonction de récompense

C'est une formule mathématique qui prend en entrée les variables reçues du simulateur, et elle donne comme sortie la valeur de l'utilité 'Q-Value' pour chaque état donné. En fonction de cette valeur, l'agent prend sa décision en donnant le feu vert pour le groupe avec la valeur maximum.

Dans l'intérêt de réaliser un système plus performant que le SICoFS [38] et bien évidemment meilleure que le système statique, nous avons procédé d'abord à implémenter le système statique et le SICoFS, afin de collecter les résultats de simulation, puis passer aux expérimentations pour les analyser et les comparer avec ceux de notre système en termes de temps d'attente, des émissions CO₂, de la consommation du carburant ainsi que le nombre de véhicules arrêtés derrière le feu rouge.

Pour trouver la formule la plus appropriée pour notre système, on manipulait à chaque fois différentes variables (temps d'attente, occupation...) de façons distinctes. Après plusieurs tentatives échouées, on est arrivé à définir 3 formules dont leur performance sera discutée dans le quatrième chapitre.

Formules :

Dans ce qui suit, 4 formules seront présentées, mais d'abord c'est quoi le SICoFS ? SICoFS est un système intelligent et adaptatif de contrôle de feux de circulation basé sur l'apprentissage par renforcement. La prise de décision se fait à la base d'une fonction de récompense défini par la formule ci-dessous, dans le but de maximiser l'objectif de recherche.

$$Q_Value = \frac{(WaitingT \times Occupancy \times TravelT)}{MeanV} \quad (3.1)$$

Cette formule a donné des résultats perceptibles en termes de temps d'attente et d'émissions CO2, par rapport au système statique. Les résultats comparatifs seront présentés dans le chapitre 4.

Après de grands efforts et manipulation de variables pertinentes dans le contrôle de trafic, nous sommes arrivées à définir les formules suivantes :

$$Q_value = \frac{(WaitingT \times HaltingNbr)}{MeanV} \quad (3.2)$$

$$Q_Value = \frac{(WaitingT \times (HaltingNbr + Occupancy))}{MeanV} \quad (3.3)$$

$$Q_Value = \frac{(WaitingT + TravelT + Occupancy + HaltingNbr)}{MeanV} \quad (3.4)$$

En fonction de cette valeur (Q-value), l'agent donne le feu vert pour le groupe avec la valeur maximum.

La phase de l'expérimentation se consiste à effectuer cinq simulations : SICoFS [38], le système statique et 3 autres modèles dont Eq.1.2, Eq.1.3 et Eq.1.4

3.3.2 Chaîne d'outils utilisée pour la simulation de SICoFSv2 :

Afin de représenter, tester et analyser de manière appropriée notre système SICoFSv2, nous avons opté à utiliser l'approche de modélisation et simulation .

Le travail proposé s'appuie sur deux outils populaires dans les solutions basées sur l'approche multi-agent, particulièrement, dans le contrôle de feux de circulation. Le premier est le Framework JADE pour l'implémentation des systèmes multi-agent, le deuxième est le simulateur SUMO pour une simulation microscopique du trafic routier. Ainsi qu'une plateforme SiMMU supplémentaire afin de faciliter l'exploitation de SUMO.

JADE : (Java Agent DEvelopment Framework)

Est un Framework logiciel utilisé pour simplifier l'implémentation des systèmes multi-agent grâce à un middleware qui compile conformément aux spécifications de la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) et à travers un ensemble d'outils graphiques qui contribuent aux phases de débogage et de déploiement. Un système basé sur JADE peut être distribué sur plusieurs machines (pas obligatoirement le même SE) et la configuration peut être contrôlée via une interface graphique distante. [39]

SUMO : (Simulation of Urban Mobility)

Est un outil très populaire dans la communauté de recherche sur le trafic et les transports grâce au fait qu'il est open source et offre une simulation microscopique et multi modèles.

Il représente l'infrastructure du réseau routier ainsi que la densité du trafic, ainsi, il permet l'existence de différents types de véhicules, de routes à plusieurs voies, de feux de circulation, d'une interface graphique pour visualiser le réseau et les entités qui sont simulées, et l'interopérabilité avec d'autres applications au moment de l'exécution grâce à une API appelée TraCI.[40] [41]

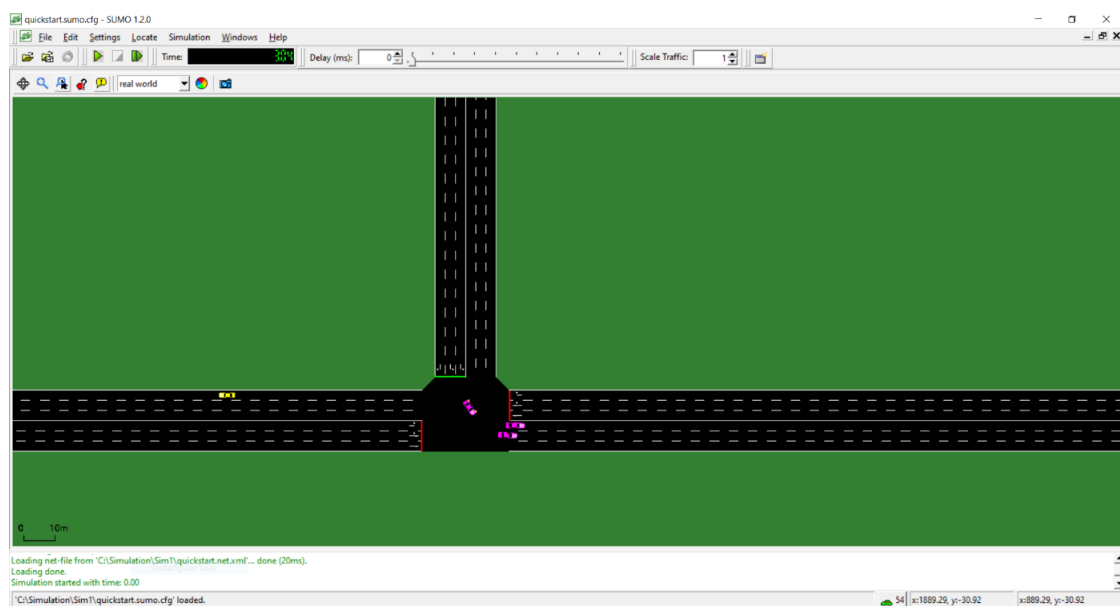


FIGURE 3.3 – Interface graphique de SUMO

SIMMU

C'est une plate-forme réalisée par le Dr Oussama MESSAOUDI pour faciliter le fonctionnement de SUMO , ainsi que l'expérimentation et le développement de systèmes liés au transport urbain. SiMMU est implémenté sur la base de l'architecture système utilisée dans [[42], [43]] pour Développer un modèle de suivi de véhicule qui peut fournir une conduite autonome sûre dans l'incertitude.

Actuellement, SiMMU fournit plusieurs fonctions, telque :

-Une méthode plus rapide et plus simple de définition de type et de surveillance et enregistrez les résultats de la simulation effectuée sur SUMO.

Parmi ceux-ci Pour différents types de résultats, nous énumérons les changements d'état suivants :

- Véhicules (vitesse, accélération appliquée, distance entre les véhicules, émissions, consommation d'énergie, etc.).
- Une chaîne ou un groupe de chaînes (émission, consommation Énergie, nombre de véhicules, vitesse moyenne, temps de trajet moyen, profession, etc.)
- Feux de circulation (différentes phases plus la durée de chaque phase, phase système à un instant donné)

-Contrôler de nombreuses entités simulées, en particulier des véhicules Et système de contrôle des feux de circulation.

-Un moyen plus facile de mettre en œuvre et de déployer de nouveaux modèles Suivi de véhicule, le modèle chargé de contrôler la vitesse du véhicule Et éviter les collisions.

Grâce à ces nombreuses fonctionnalités, et il capture la diffusion et la consommation de carburant, nous avons utilisé SiMMU pour implémenter SICOFSv2.

3.4 Comportement des agents dans SICoFSv2

Le système multi-agent est un ensemble d'agent en interaction, il permet de résoudre les problèmes complexes en exploitant l'intelligence communautaire des agents qui le compose.

L'agent est une entité autonome, il peut percevoir l'état de l'environnement ainsi qu'il peut communiquer avec d'autres agents pour prendre une décision et la délibérer.

En exécutant l'application java, le `simControlAgent` est créé, et il est chargé du contrôle de la simulation. Initialement ce dernier fait appel à la méthode `setup()` pour réaliser l'interface graphique. Ainsi que les deux comportements suivants

- **TickerBehaviour** : il exécute sa tâche périodiquement chaque seconde à l'aide de la méthode `onTick()`.
- **Receiver** : il reçoit les messages d'autres agents par la méthode `handle()`.

La communication entre agents est nécessaire pour leur collaboration, chaque agent contient une sorte de boîte de messages où les messages envoyés par d'autres agents sont stockés.

Ces messages sont des instances de la classe `ACLMessage` et sont composés par exemple d'un émetteur, un ensemble de récepteurs, le corps du message...etc.

Le `SimControlAgent` est le seul agent qui peut interagir avec SUMO, il est chargé de :

- Charger le scénario de la simulation (fichier `cfg`).
- Charger la configuration des agents (fichier `xml`).
- Lancer SUMO.
- Récupérer les données à partir de SUMO.
- Créer des agents TLS (de la classe `TLC`).
- Communication entre agents.

Dans notre système, le `simControlAgent` récupère les informations liées à l'état du trafic et les envoie à l'agent TLS (créé par lui) chaque étape de temps. L'agent récepteur reçoit ces informations, calcule l'utilité (Q-value), prend la décision, puis envoie l'action convenable à `simControlAgent`, qui a son tour, exécute la méthode `setRedYellowGreenState()` afin de changer la phase du feu au niveau de SUMO.

3.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour présenter notre système intelligent de contrôle de feux de signalisation version 2, nous avons commencé par quelques notions sur les agents, puis démontré notre système, son comportement, les outils exploités, en plus des formules trouvées.

Expérimentations et Résultats

4.1 Introduction

Les systèmes de contrôle de feux de signalisation statique ne sont plus suffisants pour la gestion du trafic. Les systèmes intelligents s'évaluent toujours pour une contribution meilleure dans la gestion flux routier et la réduction des émissions atmosphériques.

Afin de montrer la relevance de notre système SICoFSv2, nous allons présenter les expérimentations et les résultats de la simulation obtenus, en comparant les différents modèles avec le SICoFS et le système statique pour une mesure de performance meilleure.

4.2 Configuration expérimentale

Afin de mesurer la performance de notre système SICoFSv2, nous optons à une étude comparative avec SICoFS[37] en termes du temps d'attente, de nombre de véhicules arrêtés, des émissions CO2 et de la consommation du carburant. Pour notre système, nous avons 3 modèles définis par les 3 formules présentées dans le chapitre précédent.

4.2.1 Paramètres de la simulation

Le réseau routier nécessaire pour la simulation est édité avec Netedit¹ selon les paramètres de simulation présentés ci-dessous.

1. Editeur de réseau visuel.

Paramètres	Valeurs
Intersection	Id = 3, type = traffic_light
Vitesse max	36.1 m/s
Longueur du bord	1000 m
Etales de temps de simulation	260

TABLE 4.1 – Paramètres de simulation

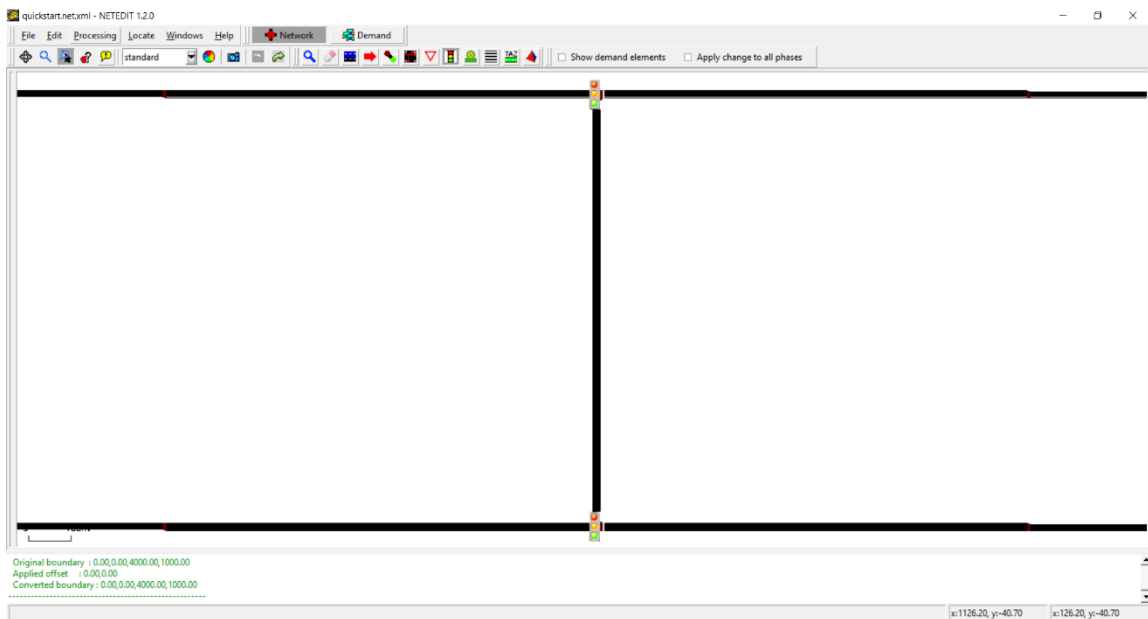


FIGURE 4.1 – le réseau routier

Le réseau se compose de deux intersections, 10 bords chaque bord a 3 voies. Nous nous concentrons sur une seule intersection (Figure 4.2).

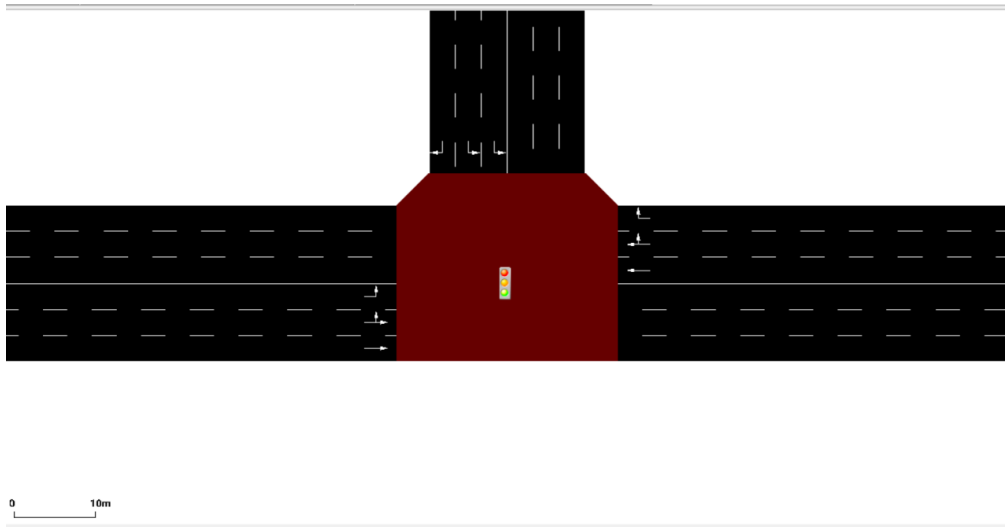


FIGURE 4.2 – L'intersection

Pour faciliter la configuration de notre système, nous allons regrouper les voies selon les conflits entre eux. C'est à dire, les voies qui peuvent avoir le feu vert en même temps sans causer de bouchons routiers, seront regroupées dans le même groupe. La figure ci-dessous montre les voies et les directions de chaque bord.

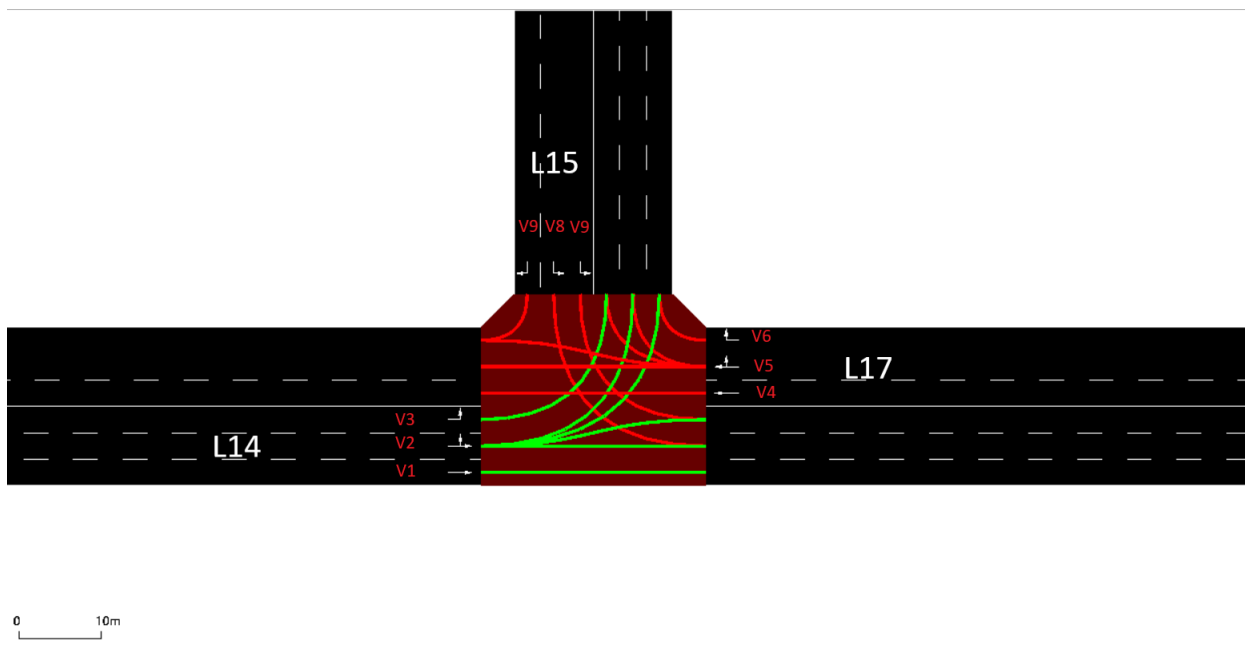


FIGURE 4.3 – Répartition des voies

Nous constatons que les voies qui n'ont pas des conflits sont celles qui appartiennent au même bord (ici on a les bords L14, L15 et L17).

Nous pouvons définir les groupes de voies comme suit :

- Groupe 1 : { V1, V2, V3 }
- Groupe 2 : { V4, V5, V6 }
- Groupe 3 : { V7, V8, V9 }

4.2.2 Métriques d'évaluation

Etant donné que notre objectif est de fluidifier le trafic routier et minimiser les émissions CO₂, nous avons sélectionné le temps d'attente, les émissions CO₂, le nombre de véhicules arrêtés derrière le feu rouge ainsi que la consommation du carburant comme critères d'évaluation de la performance de notre système.

À l'aide de la plateforme de simulation, on perçoit l'état de trafic, précisément les données liées à l'état de chaque groupe de lignes dans l'intersection durant 260 étapes.

On calcule pour chaque modèle, les valeurs moyennes selon l'algorithme ci-après :

- On a un groupe G_i tq $i \in \{0, 1, 2\}$
- On a l'étape de temps s tq $s \in \{1, 2, \dots, 260\}$

Algorithme calcul_moyennes ;

Entrées : s, i : entier

waitingT, Emission, HaltingNbr, FuelC : reel

Sorties : total_moyWaitingT, total_moyEmission, total_moyFuelC,

total_moyHaltingNbr : réel

Initialisation : s=1,

moyWaiting=0

moyEmission=0

moyFuelC=0

moyHaltingNbr=0

total_moyWaitingT=0

total_moyEmission=0

total_moyFuelC=0

total_moyHaltingNbr =0

Début

Tant que s \leq 260 faire

i=0

pour chaque groupe Gi faire

moyWaitingT = moyWaitingT + (1/3)*waitingT

moyEmission = moyEmission + (1/3)*Emission

moyFuelC = moyFuelC + (1/3)* FuelC

moyHaltingNbr = moyHaltingNbr + (1/3)*HaltingNbr

finPour

total_moyWaitingT= moyWaitingT

total_moyEmission= moyEmission

total_moyFuelC= moyFuelC

total_moyHaltingNbr= moyHaltingNbr

finTQ

Fin

Tel que :

total_moyWaitingT : la moyenne de temps d'attente de toute l'intersection.

total_moyEmission : la moyenne des émissions du CO2 de toute l'intersection.

total_moyFuelC : la moyenne de la consommation du carburant de toute l'intersection.

total_moyHaltingNbr : le nombre totale moyen de véhicules arrêtés derrière le feu rouge.

4.3 Résultats expérimentaux

4.3.1 Comparaison globale

Nous avons comparé nos 3 modèles ainsi que le SICoFS selon les 4 métriques citées avant (le temps d'attente, les émissions CO2, la consommation du carburant, le nombre de véhicules arrêtés derrière le feu rouge).

Les modèles 1, 2 et 3 représentent respectivement les equations Eq.1.2, Eq.1.3 et Eq.1.4 présentées dans le chapitre précédent (page 39).

Les figures ci-après représentent des histogrammes présentant quelques résultats de la simulation des différents modèles. Plus précisément, nous avons la moyenne de : temps d'attente moyen, la consommation moyenne du carburant, émissions moyennes du CO2 et le nombre totale moyen des véhicules arrêtés derrière le feu rouge.

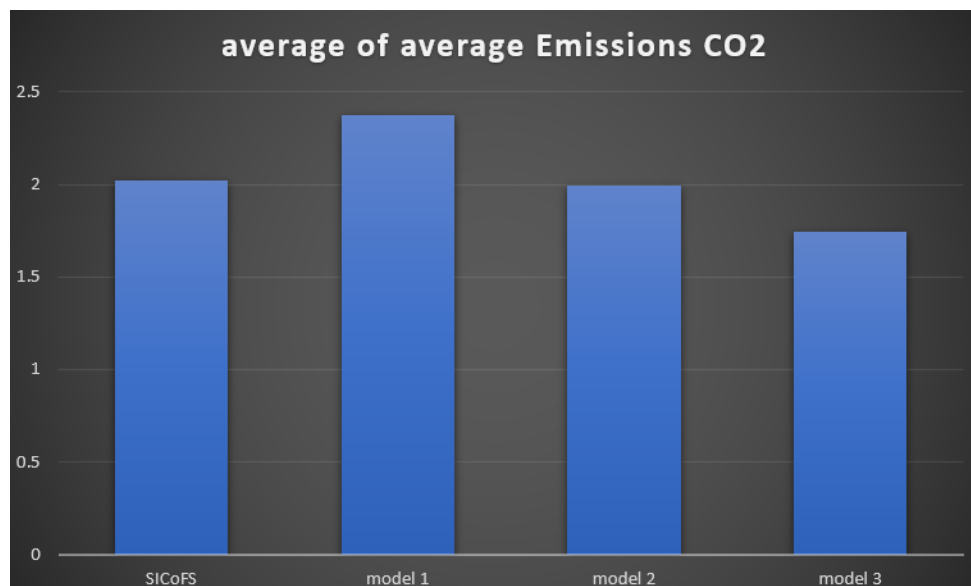


FIGURE 4.4 – La moyenne des émissions moyennes du CO2

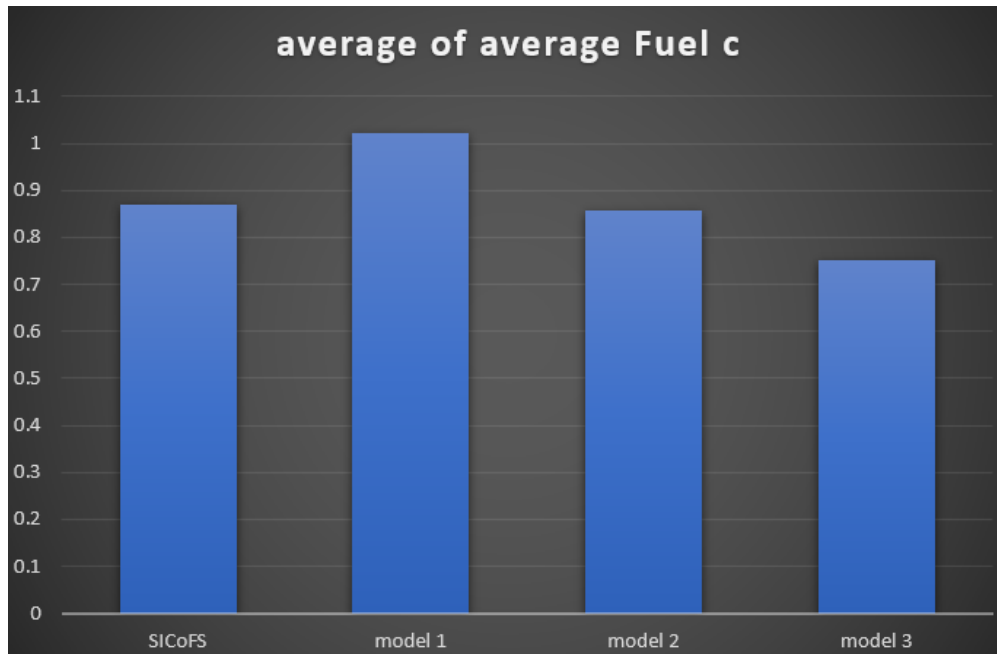


FIGURE 4.5 – la moyenne de la consommation moyenne du carburant

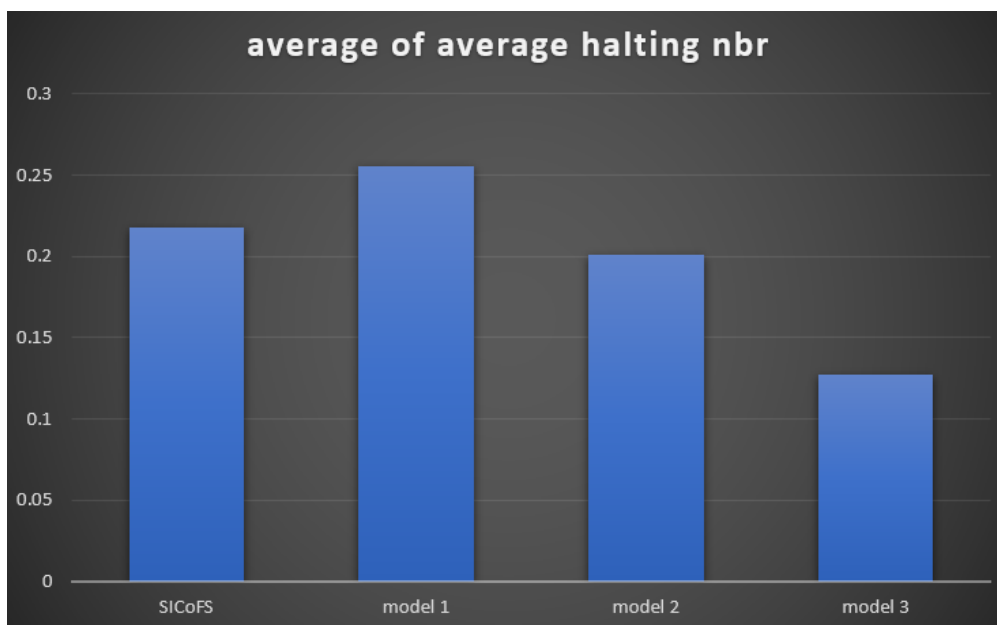


FIGURE 4.6 – La moyenne du nombre totale moyen des véhicules arrêtés derrière le feu rouge

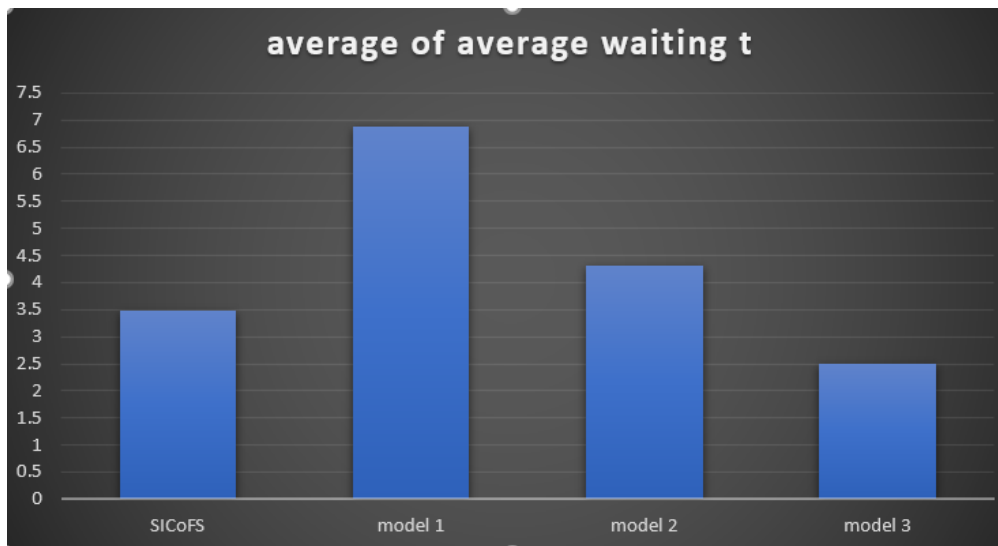


FIGURE 4.7 – La moyenne de temps d’attente moyen

D’après les figures précédentes, nous observons que le modèle 1 est le moins performant en termes de tous les critères. Il a atteint une valeur moyenne de temps d’attente très élevée (6.8 s) par rapport aux autres modèles. Nous remarquons aussi une augmentation dans les émissions CO₂, la consommation du carburant ainsi que le nombre de véhicules arrêtés derrière le feu rouge, par rapport aux autres modèles.

Le modèle 2 est plutôt meilleur que le SICoFS en termes des émissions CO₂, de la consommation du carburant et de nombre de véhicules arrêtés derrière le feu rouge.

Par contre, le SICoFS marque une moyenne de temps d’attente plus basse que celle du modèle 2.

Nous voyons que le modèle 3 marque les valeurs les plus petites pour les quatre histogrammes. Donc, nous pouvons déduire qu’il atteint la meilleure minimisation des émissions CO₂, de consommation du carburant, du nombre de véhicules arrêtés, mais surtout une diminution considérable en temps d’attente.

Comparé au SICoFS, le modèle 3 a réalisé une baisse d’émissions de CO₂ de 13.68%, quant à la consommation de carburant a pu être minimisée de 13.67%, et 41.77% de moins de véhicules arrêtés derrière le feu rouge, et aussi un temps d’attente plus court réduit de 28.2%. On peut conclure que le modèle 3 est le modèle le plus performant sur toutes les métriques.

Donc il désignera notre système SICoFSv2 pour une fluidité meilleure du trafic ainsi qu'une bonne diminution des émissions CO2.

Les figures suivantes représentent le changement des valeurs par chaque étape de la simulation, respectivement le temps d'attente moyen, les émissions CO2, le nombre total moyen des véhicules arrêtés derrière le feu rouge ainsi que la consommation moyenne du carburant.

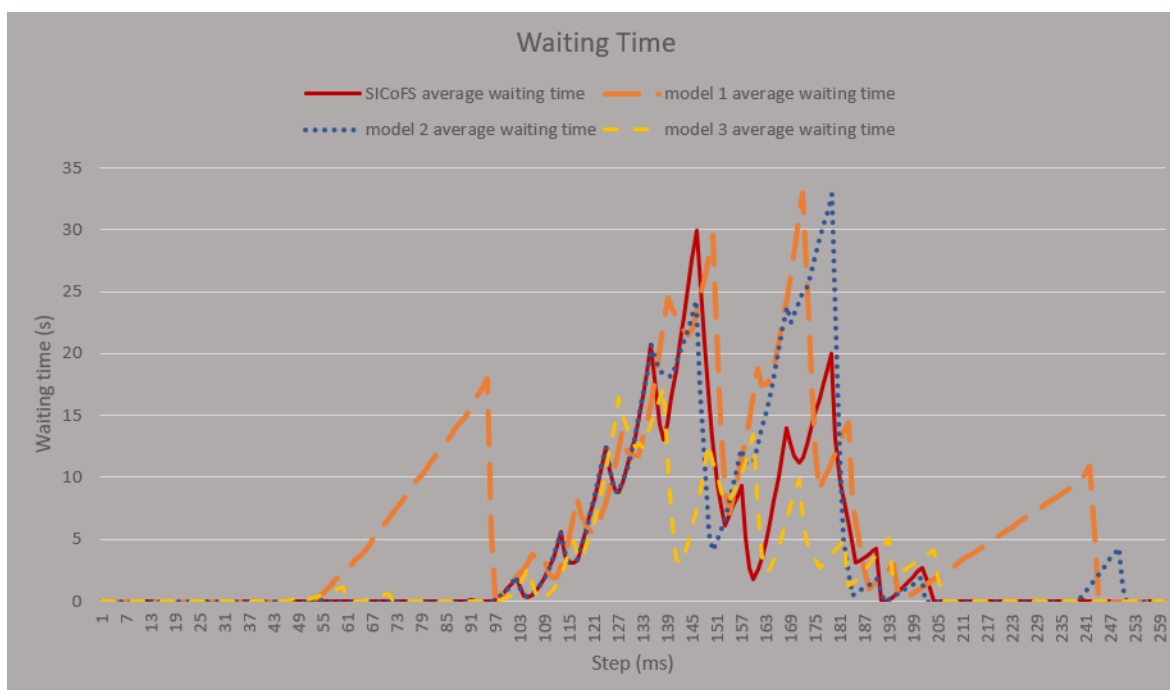


FIGURE 4.8 – le temps d'attente moyen

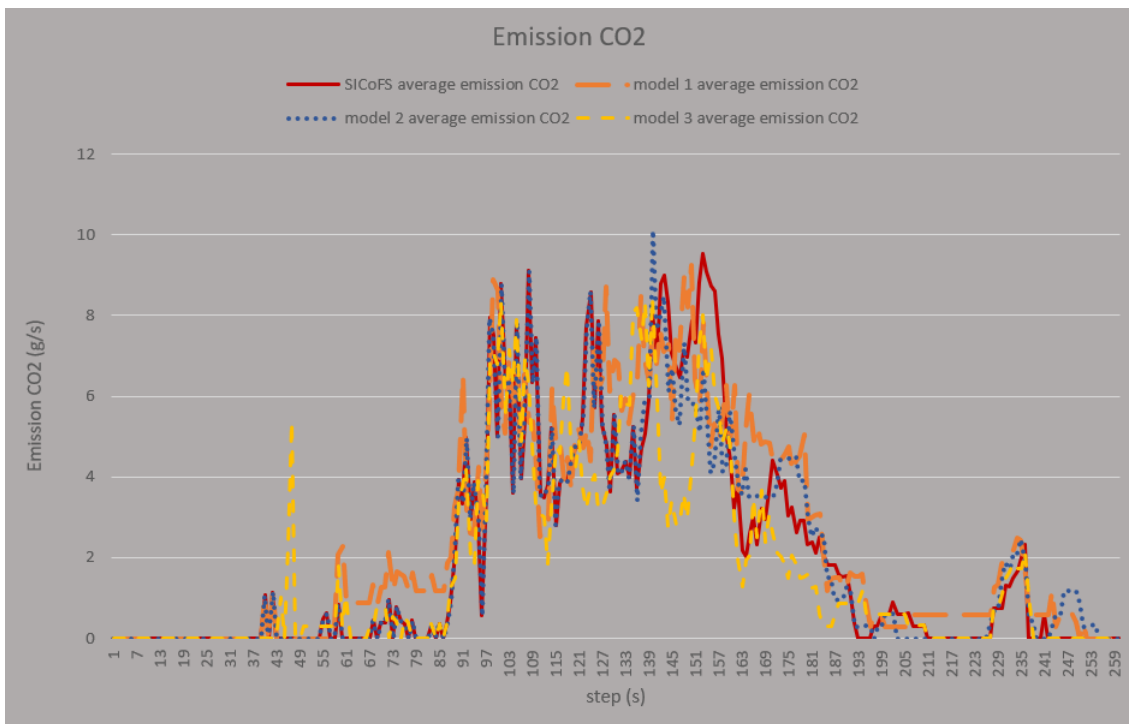


FIGURE 4.9 – les émissions CO2 moyennes

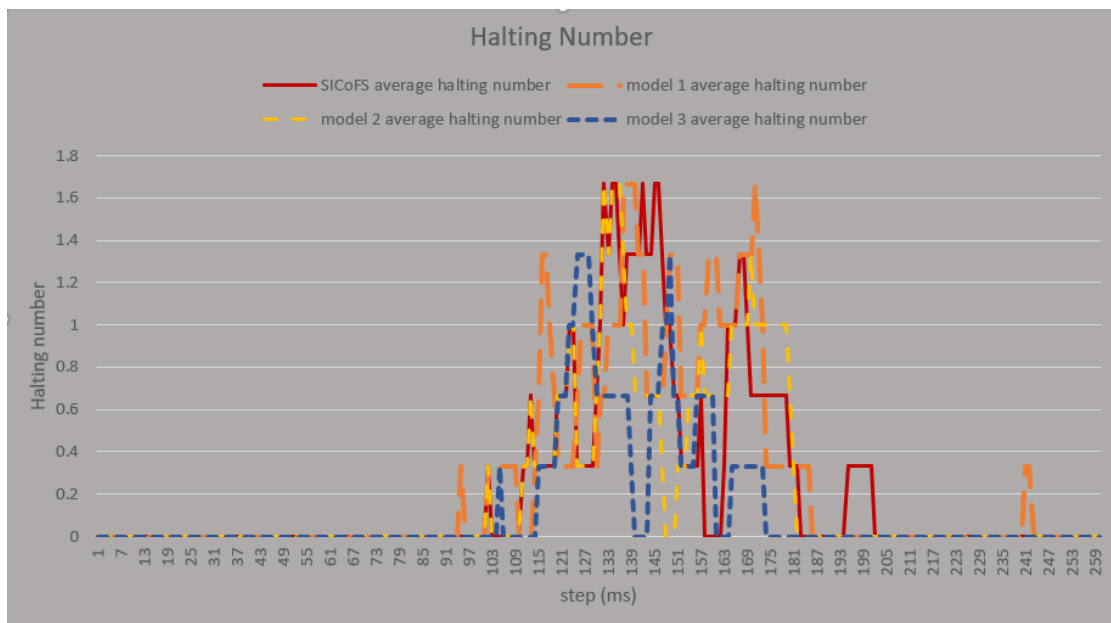


FIGURE 4.10 – le nombre total moyen de véhicules arrêtés derrière le feu rouge

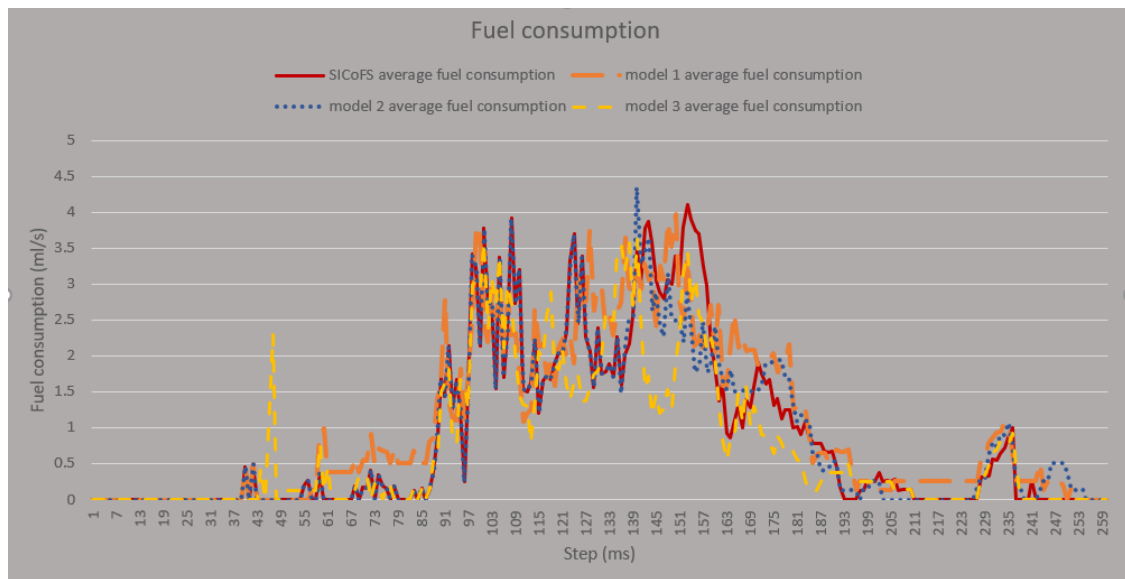


FIGURE 4.11 – la consommation moyenne du carburant

4.3.2 Comparaison avec le TLS statique

Afin de mettre en place le rendement de notre approche, nous optons à comparer notre système au système statique.

Le système de contrôle de feux de signalisation statique ou bien le TLS traditionnelle est un système qui utilise un cycle de feu fixe avec des phases prédéfinis (ici 32s pour le feu rouge et 7s pour le feu vert) et qui ne prend en considération l'état actuel du trafic. En conséquent, il peut y avoir des voies vides avec un feu vert pendant que d'autres voies soient encombrées.

D'après les courbes ci-dessous, nous pouvons remarquer clairement la différence entre le TLS statique et notre système (model 3).

Nous observons un grand écart entre les deux systèmes en termes de metriques . Nous pouvons constater nettement l'amélioration en performance entre les deux systèmes d'après la reduction de : temps d'attente de 93.1%, des émissions CO2 de 64.5%, de consommation du carburant de 63.1% et de 88.7% le nombre de véhicules arrêtés derrière le feu rouge.

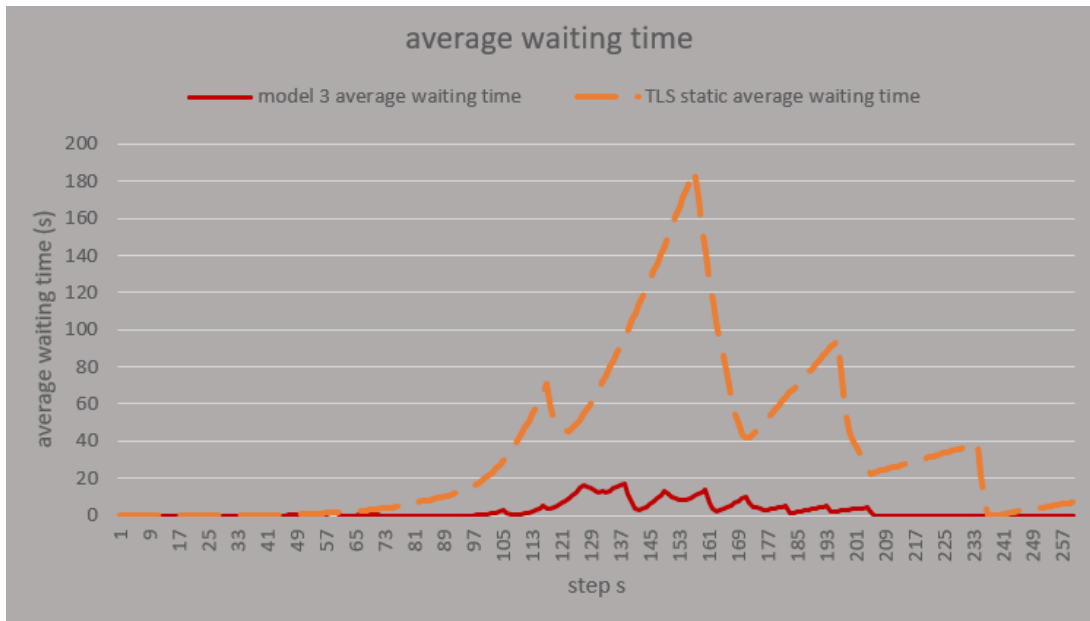


FIGURE 4.12 – le temps d’attente moyen

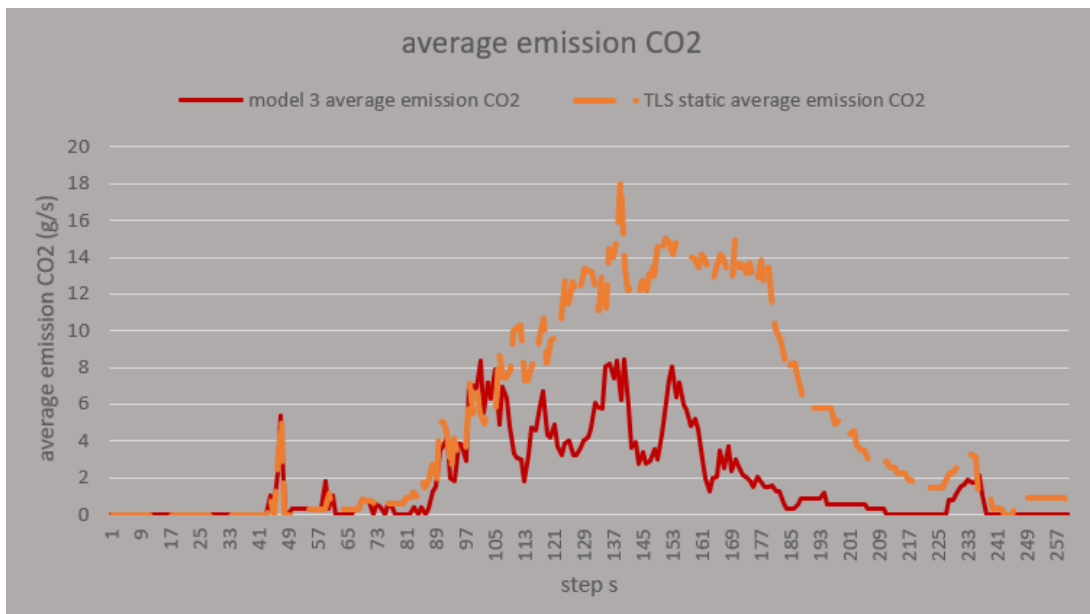


FIGURE 4.13 – les émissions CO2 moyennes

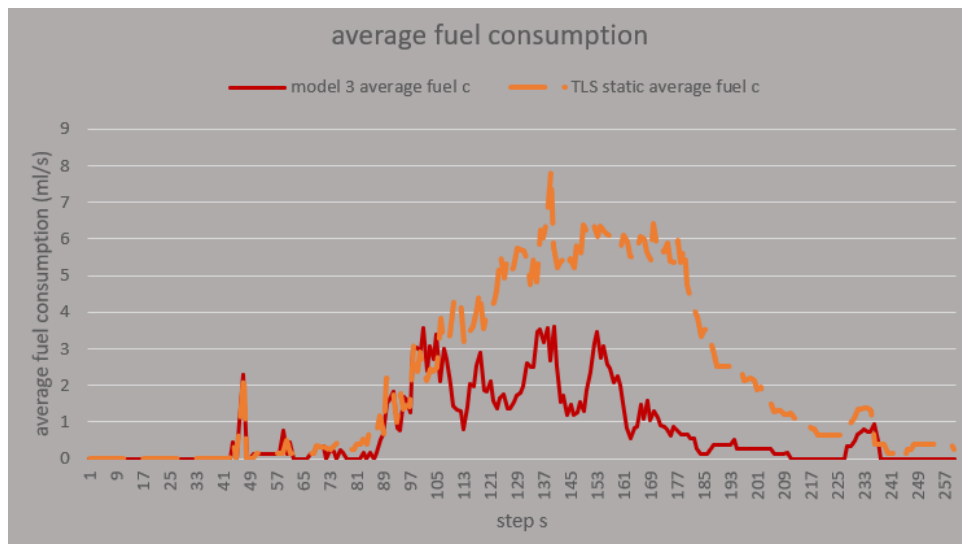


FIGURE 4.14 – la consommation moyenne du carburant

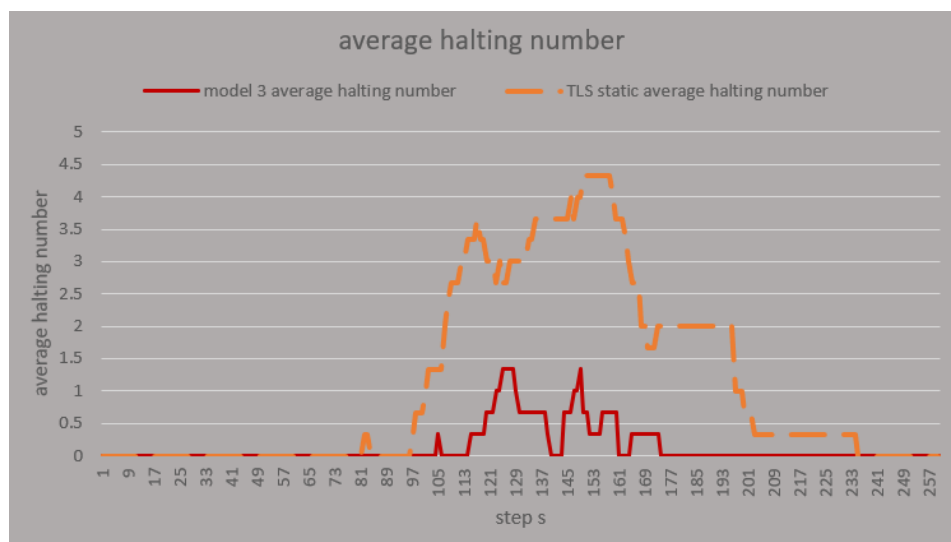


FIGURE 4.15 – le nombre total moyen de véhicules arrêtés derrière le feu rouge moyen

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le scénario suivi pendant la simulation microscopique afin de collecter les données nécessaires pour les expérimentations. Puis, nous avons présenté les résultats obtenus, les analyser et les comparer pour une bonne mesure de performance.

Conclusion générale et perspectives

Les embouteillages sont une réalité que chaque conducteur doit au moins affronter à un instant de sa vie. Cela affecte des millions d'individus à travers le monde et génère des effets indésirables à tous niveaux : personnels, professionnels et social.

La gestion du trafic dans le grand réseau routier reste un défi important dans les systèmes de transport. Dans le monde des affaires, la congestion du trafic a un impact environnemental énorme à cause des émissions supplémentaires de CO₂ et l'augmentation de la consommation de carburant. Avec une expérimentation on est arrivée à explorer un système de contrôle des feux de signalisation intelligent dans une intersection (SICoFSv2) basé sur l'approche des agents et l'apprentissage par renforcement.

L'approche proposée a été validée par des expérimentations mises en œuvre sur une plateforme de simulation (SUMO), qui ont approuvé la validité de la solution développée qui réalise une fluidité du trafic routier par raccourcissement du temps d'attente de 28.2% et une réduction du nombre de véhicules arrêtés au feu rouge de 41.77%, ainsi qu'un impact positif sur l'environnement en minimisant les émissions CO₂ de 13.68%.

Cependant ce travail mérite d'être poursuivi pour son amélioration et traitement des scénarios sur tous types d'intersections, et bien sûr concrétiser nos études sur la vie réel pour bien vérifier la robustesse de nos propositions et comparer le comportement obtenu aux résultats théoriques.

Bibliographie

- [1] Harmon, Robert & Castro-Leon, Enrique & Bhide, Sandhiprakash, "Smart cities and the Internet of Things",2015
- [2] Imad, Saleh, "Les enjeux et les défis de l'Internet des Objets (IdO)", Internet des objets. 17,2017.
- [3] A.DJEGHAIBEL et S.MAARADJI," Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Génie Electrique, Automatisation intelligente d'une serre basée sur un système d'internet des objets en utilisant Arduino", 2019/2020.
- [4] Rahul Vatsa,Data Metica Solutions, "Private Limited,Life-Cycle Tracking System of Home Automation Devices (Led Bulbs)",Internet of Things (IoT).
- [5] Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., & Woelfflé, S, "Vision and challenges for realising the Internet of Things, Cluster of European research projects on the internet of things",2010.
- [6] lounissa naas. "Internet Des Objets (IOT) : État De l'Art, RFID" , 2017.
- [7] Helbing, D., Pournaras, E. "Society: Build digital democracy", 2015.
- [8] J.Abu-saif,G.Shahin, "Internet of Things" ,PPU, 2015.
- [9] Mari Carmen Domingo,"Journal of Network and Computer Applications,An overview of the Internet of Things for people with disabilities",2011.
- [10] Tanja Dinić,"Internet des objets",2018.

- [11] M. HAOUA Zakaria et M. MOHAMED MAHMOUD Othman, "Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master en Informatique, Vers des Bâtiments Intelligents pour l'élevage de volailles, Université Saad Dahlab { Blida", 2018/2019.
- [12] <https://blog.lesjeudis.com/10-applications-de-l-internet-des-objets-qui-revolutionnent-la-societe> consulté le 12/05/2021.
- [13] M.GRIFFON,C.MAUGET,C.GUYOT, E.SPOTO,V.MOREL,P.YANG, "Internet des objets pour la smartcity (INSA)",06/2021.
- [14] Jelena .Djordjevic , "Ville intelligente" ,2017.
- [15] UIT,CEE , 2015.
- [16] <https://explorama.app/quest-ce-quune-smart-city/> consulté le 22/05/2021.
- [17] <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/fr/tendances/territoires/a-quoi-ressemble-une-ville-intelligente/> consulté 15/05/2021.
- [18] K.AIT YAHIA GHIDOUCHE,"REPRESENTATION OF SMART CITY BY CITIZENS: CAS OF ALGIERS SMART CITY PROJECT", Conférences. Université d'Alger,2018.
- [19] Gassmann, Oliver, et al.Book "Smart Cities : Introducing Digital Innovation to Cities", Emerald Publishing Limited, 2019.
- [20] <https://fr.yeeply.com/blog/top-10-smart-city-monde-entier/> consulté le 19-05-2021.
- [21] Bilal Gazal, Khaled EI Khatib, Khaled Chahine, Mohamad kherfan. (2016). "Smart Traffic Control System, IEEE".
- [22] <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-les-feux-de-signalisation-histoire-d-une-invention-9153.htm> (consulté le 18/05/2021)
- [23] <http://feu.routier.free.fr/historique.html> (consulté le 18/05/2021)
- [24] <https://www.okeenea-tech.com/histoire-feux-tricolores/> (consulté le 18/05/2021)
- [25] Y. Wang , X. Yang , H. Liang , and Y. Liu. "A Review of the Self-Adaptive Traffic Signal Control System Based on Future Traffic

- Environment, Journal of Advanced Transportation", Article ID 1096123, 12 pages, Volume 2018.
- [26] C.Braban et F.Boillot, "Les systèmes temps réel de commande de feux en milieu urbain", Synthèse n°44, Avril 2003.
- [27] Ilhan Tunc and Mehmet Turan Soylemez, "State Feedback Control for Intelligent Traffic Light Systems", 2020 28th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), 15-18 September, 2020 - Saint-Raphaël, France
- [28] B. Zhou, J. Cao, X.Zeng and H.Wu, "Adaptive Traffic Light Control in Wireless Sensor Network-based Intelligent Transportation System", The Hong Kong Polytechnic University, Hohai University and Sun Yat-sen University, China, 2010.
- [29] S. Faye, C. Chaudet, I. Demeure, "Contrôle du trafic routier urbain par un réseau fixe de capteurs sans fil", Institut Télécom, 75013 Paris
- [30] A.Doniec, "Prise en compte des comportements anticipatifs dans la coordination multi-agent : application à la simulation de trafic en carrefour", 2006
- [31] B.Sammoud, "Contribution à la modélisation et à la commande des feux de signalisation par réseaux de Petri hybrides", 2015
- [32] K.AIT YAHIA GHIDOUCHE, "REPRESENTATION OF SMART CITY BY CITIZENS: CAS OF ALGIERS SMART CITY PROJECT", Conférences. Université d'Alger, 2018.
- [33] DANIEL DROZ-VINCENT, " LA SMART CITY, UNE VILLE INTELLIGENTE, Des villes et des territoires plus inclusifs, durables", Octobre 2017.
- [34] Rafiullah Khan, Sarmad Ullah Khan, Rifaqat Zaheer and Shahid Khan, "Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges", Feb 2018.
- [35] F.setiawan , "smart city"
- [36] D.Evans, "IdO Comment l'évolution actuelle d'Internet transforme-t-elle le monde ?" ,Livre blanc , Cisco IBSG,Avril 2011.

- [37] C.Joao & S.Hugo & S.Cristiano & W.Carlos, "DoS attack detection and prevention in fog-based intelligent environments", Brazilian Journal of Physics,2019.
- [38] Deboub Halim & Zaoui Fairouz, "Un contrôle intelligent des feux de circulation aux intersections urbaine"s, Université de Bouira. 2019/2020
- [39] <https://jade.tilab.com>
- [40] https://sumo.dlr.de/docs/SUMO_at_a_Glance.htm
- [41] Tiago M. L. Azevedo Paulo J. M. de Araújo Rosaldo J. F. Rossetti Ana Paula C. Rocha. "JADE, TraSMAPI and SUMO: A tool-chain for simulating traffic light control", Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal
- [42] Messaoudi, O. and A. Lahlouhi, "An agent-based inter-vehicle cooperative robust carfollowing model for longitudinal control under uncertainty", International Journal of Computer Applications in Technology, 2018.
- [43] Messaoudi, O. "An optimal velocity robust car-following model with consideration of control uncertainty", International Conference on Applied Smart Systems (ICASS), IEEE, 2018.