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 :Génie des systèmes informatique

Thème

Modélisation des impacts des systèmes véhiculaires connectés et automatique sur le flux de trafic routier

---

Encadré par

— Dr. Messaoudi Oussama

Réalisé par

— Attal Asmaa

— Oulmi Yasmine

2019/2020

Résumé

La tache conduite actuellement devient de plus en plus complexe suite à la croissance du nombre de véhicules, qui a affecté considérablement la circulation et la sécurité routière. Les véhicules connectés et automatisés (CAV) ont le potentiel de résoudre de nombreux problèmes liés à la mobilité urbaine. En fait, le contrôle de mouvement longitudinal coopératif est l'une des tâches clés des systèmes véhiculaires, incluant notamment les véhicules connectés et automatiques, permettant de renforcer la sécurité routière, et de fournir une conduite plus confortable. Nous proposons dans ce travail un modèle basé sur une approche prédictive coopérative, dont l'objectif est de produire un contrôle de vitesse automatique et coopérative du véhicule autonome. L'approche proposée permet de combiner les capacités et les ressources des véhicules connectés pour avoir une meilleure compréhension du trafic, ainsi de fluidifier la circulation.

Mots clés :Conduite automatique et coopérative ; VANET ; Simulation et Modélisation.

Abstract

The task of driving today is becoming more and more complex due to the growth in the number of vehicles, which has significantly affected traffic and road safety. Connected and Automated Vehicles (CAVs) have the potential to solve many problems related to urban mobility. In fact, cooperative longitudinal movement control is one of the key tasks of vehicle systems, including connected and automatic vehicles in particular, to enhance road safety, and provide more comfortable driving. We propose in this work a model based on a cooperative predictive approach, the objective of which is to produce an automatic and cooperative speed control of the autonomous vehicle. The proposed approach makes it possible to combine the capacities and resources of connected vehicles to have a better understanding of traffic, thus making traffic more fluid.

Key words : Automatic and cooperative driving ; VANET ; Simulation and Modeling. . .

Remerciements

C'est avec modestie et gratitude que nous reconnaissons ce que nous devons :
Nous commençons par remercier et rendre grâce à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail.
Ainsi nous tenons à remercier notre encadreur Dr . Messaoudi Oussama, son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.
Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de l'université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, plus particulièrement au corps professoral du département de l'informatique, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.
On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.
Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes très chers frères alla eddin et achref,Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

a ma chére amie nour el houda , disparue trop tôt. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde

À toutes mes amies : Sabrina ; Kamilia ; Asmaa, qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

À ma binôme Asmaa et sa famille.

Yasmine.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon père mon chéri celui qui m'a doté d'une éducation digne, que dieu l'accueille dans son vaste paradis. A ma maman celle à qui je dois tout .

A mes frères Youcef, khalil , Mustapha et sa femme et leurs filles qui étaient toujours la pour moi .

A mes chères sœurs Dalila et Nassima et leurs enfants .

A mes amies kamilia ,sabrina ,Yasmine qui m'ont toujours soutenu durant ces années d'études .

A ma chère binôme Yasmine . Que ce travail soit pour eux un exemple de persévérance dans la vie .

Asmaa.

Table des matières

Table des matières **i**

Table des figures **iv**

Liste des tableaux **vi**

Liste des abréviations **vii**

Introduction générale **1**

1 Chapitre 1 : Internet des objets **4**

1.1 Introduction 4

1.2 Terminologie 4

1.3 Les objets connectés 6

1.4 Définition de l'internet des objets 6

1.5 Applications de l'internet des objets 7

1.5.1 Les systèmes de santé électroniques 7

1.5.2 L'agriculture intelligente 8

1.5.3 La mobilité intelligente 9

1.5.4 Les villes intelligentes 13

1.5.5 La domotique 14

1.6 Les étapes de mise en place l'internet des objets 15

1.7 Les défis de l'internet des objets 16

1.8 Conclusion 18

2 Chapitre 2 : Introduction aux systèmes véhiculaires 19

2.1 Introduction 19

2.2 Modélisation 19

2.2.1 Type de modélisation 19

2.2.2 Modélisation de la tache de conduite 20

2.3 La simulation 21

2.3.1 Pourquoi simuler 21

2.3.2 Simulateur de trafic urbain 22

2.3.3 Les types de simulation de trafic urbain 23

2.3.4 Modèle de suivi de véhicules 25

2.3.5 Modélisation basée sur les propriétés du trafic routier 25

2.3.6 Modélisation basée sur le comportement de conducteur humain . . 28

2.4 Les types de véhicules intelligents 29

2.4.1 Régulateur de vitesse adaptatif ACC 29

2.4.2 Régulateur de vitesse adaptatif coopératif CACC 29

2.4.3 Véhicule automatisé AV 30

2.4.4 Véhicule automatisé et connecté CAV 30

2.5 Un système de conduite coopératif 30

2.5.1 Définition 30

2.5.2 Type de communication dans un système de conduite coopératif . . 30

2.5.3 Composantes principales du SCC 31

2.6 Conclusion 32

3 Chapitre 3 :Un modèle pour une conduite coopérative prédictive 33

3.1 Introduction 33

3.2 Les problèmes dans les systèmes de conduite non coopérative 33

3.2.1 Les bénéfices de la coopération sur la sécurité 34

3.2.2 Les effets imposés par la conduite agressive 34

3.3 L'approche Alternative proposée 34

3.3.1 L'objectif de l'approche proposée 35

3.3.2 Un modèle coopératif de suivi de véhicules 35

3.4 Conclusion 38

4 Chapitre 4 : Expérimentations et résultats **39**

4.1 Introduction 39

4.2 Description de l'environnement de travail 39

4.3 L'environnement de simulation 40

4.4 Résultats et discussion de simulation 42

4.4.1 Analyse et comparaison 43

4.4.2 La consommation de carburant 44

4.4.3 Les émissions CO, CO2 46

4.4.4 Analyse comportementale 48

4.5 Conclusion 49

Conclusion générale **50**

Bibliographie **51**

Table des figures

1.1 Les applications de l'internet des objets 7
1.2 Un système de santé électronique 8
1.3 L'agriculture intelligent 8
1.4 Les différents capteurs d'un véhicule connecté [54]. 9
1.5 Le rôle des différents capteurs[54]. 10
1.6 Les composants de l'internet des objets [21]. 11
1.7 Mobilité intelligente 13
1.8 Villes intelligentes 14
1.9 Les maisons intelligentes 14
1.10 Les étapes de mise en place de l'internet des objets 15
1.11 Les étapes de mise en place d'un objet connecté 15
1.12 Les étapes de la mise en place de l'internet des objets [12]. 16
1.13 Les défis de l'internet des objets 16

2.1 Les systèmes de conduite autonomes 20
2.2 Les taches élémentaires de conduite 21
2.3 Les types de simulation de trafic urbain 23
2.4 Modèle de suivi de véhicule 25
2.5 Classes des modèles classiques du suivi de véhicules 26
2.6 Exemple des différents modèles 27
2.7 Quelque modèle existants [41,45]. 28
2.8 V2v and V2I communications. 31

4.1 L'environnement de simulation 40

4.2 Choix de fichier XML 41
4.3 Choix de mode de simulation 41
4.4 Les résultats de l'état du véhicule contrôlé 42
4.5 Une comparaison de comportement dans deux approches différentes 43
4.6 La consommation de carburant par les deux modèles 44
4.7 La quantité carburant consommée par les deux modèles 45
4.8 La quantité de CO émise par les deux modèles 46
4.9 La quantité de CO2 émise par les deux modèles 46
4.10 La quantité total de CO-émise durant toute la période de contrôle 47
4.11 La quantité total de CO2-émise durant toute la période de contrôle 47
4.12 Une comparaison comportementale du modèle proposé contre l'approche traditionnel 48
4.13 taux d'obtention d'une conduite plus confortable 48

Liste des tableaux

3.1 Les informations d'un véhicule dans un environnement non coopératif. . . . 34
3.2 Les informations d'un véhicule dans un environnement coopératif. 37
3.3 Les prédictions du véhicule 37
3.4 Une comparaison détaillée des actions appliquées par les deux modèles. . . 38

4.1 Une comparaison détaillée des actions appliquées par les deux modèles. . . 44

Liste des abréviations

V2V :vehicle to vehicle

V2I :vehicle to Infrastructure

V2X :vehicle to X communication

VANET :Vehicular Ad-hoc Network

SCC :Systéme de coduite coopératif

IDO :Internet des objets

CAV :Connected and automated vehicle

Introduction générale

Avec la conduite intelligente, les conducteurs automobiles sont de moins en moins tenus d'exécuter des tâches de conduite simples. Pour cette finalité La demande sur des systèmes fiables et efficaces augmente jour après jour afin de fournir un environnement de conduite sûre et un flux de trafic élevé. De nombreux systèmes ont été proposés et déployés, notamment des systèmes d'aide à la conduite, des systèmes de conduite automatique, des systèmes de conduite autonomes, etc.

Afin d'accomplir des tâches complexes et efficace, notamment pour fournir un environnement de conduite sûr et confortable. Il est ainsi pertinent de s'intéresser à la modélisation du comportement d'un système véhiculaire, plus précisément un système du contrôle de vitesse automatique du véhicule autonome.

Le thème abordé dans ce mémoire est la modélisation de la tâche de conduite, précisément la tâche d'un contrôle automatique de la vitesse du véhicule autonome en tenant compte de la coopération entre les véhicules et la prédiction afin d'obtenir une conduite plus sûre et plus confortable tout en réduisant les émissions CO,CO2,ainsi que la consommation de carburant.

Dans les simulateurs microscopiques de trafic urbain, chaque véhicule est contrôlé par deux modèles : un modèle de suivi de véhicules qui décrit et simule le comportement du contrôle longitudinal responsable du contrôle de la vitesse et de l'évitement des collisions, et un modèle de changement de voies qui assume le rôle du contrôle latéral [1].

Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur un contrôle longitudinal.

Le véhicule autonome utilise divers capteurs pour percevoir l'environnement qui l'entoure et collecter des données pour la prise de décision. Cependant, malgré le développement de la précision des capteurs, leur portée est encore limitée, de sorte que la visualisation

d'un véhicule non coopératif est souvent imprécise et imparfaite. Par conséquent, l'environnement autour de ce véhicule est partiellement observable.
Le véhicule autonome agit sur l'accélération et le freinage dans le but de maintenir une vitesse désirée. Cependant, l'état de la route et les actions des autres véhicules affectent la précision de ses actions, par exemple : un accident inattendu, une voiture précédente qui freine rapidement, un embouteillage inattendu ... De ce fait, le véhicule est considéré d'agir dans un environnement stochastique de sorte que les actions deviennent imprévisibles. Le véhicule autonome est encore incapable d'atteindre une perception complète et précise ni de prédire avec précision les résultats de ses actions, et par conséquent l'automatisation de la tâche de conduite est encore incomplète
à cette fin, il est crucial d'avoir une observation complète de l'environnement a fin de garantir une conduite autonome et sans collision dans les déférentes conditions de l'environnement. Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur une approche qui permet une coopération entre un véhicule pour profiter de la vision d'autres véhicule pour améliorer la visibilité afin de réaliser une observation complète de l'environnement.
un système véhiculaire est incapable de maximiser son objectif dans un environnement stochastique donc la communication et la coopération inter-véhicules permettent de combiner des ressources et de tirer parti des capacités d'autres véhicules qui ont une vision et les informations dont ils ne disposent pas pour atteindre l'objectif souhaité. Cependant, pour réaliser une coopération et une prédiction nous pouvons adopter le modèle Krauss , un modèle proposé dans [2].
En utilisant modèle de krauss pour calculer la vitesse de véhicule contrôlé et son leader (véhicule qui le précède) à l' instant t et l'instant t+1. Puis on conclu l'action des deux véhicules a l'instant t et on prédit les actions à l'instant t+1. Tout en utilisant plusieurs paramètres, on mentionne : la vitesse de sécurité, la distance entre véhicule, vitesse maximale . . .
En calculant l'action à l'instant t et a l'instant t+1 nous prenons la décision finale d'action, qui est la moyenne des deux actions pour éviter une conduite agressive et offrir une conduite souple et confortable avec les meilleures contraintes énergétiques.
L'objectif de notre approche est de proposer un modèle chargé de la modélisation du comportement d'une large gamme de systèmes de véhicules, notamment les systèmes d'aide à la conduite, les véhicules connectés, les véhicules automatiques, les véhicules autonomes

et les véhicules à conduite manuelle. Divers secteurs gouvernementaux peuvent utiliser ce modèle pour mener des études et des analyses basées sur des simulations microscopiques afin d'examiner les améliorations des systèmes de mobilité urbaine avant leur déploiement.

Organisation de mémoire

Ce manuscrit est structuré comme suit :

• Une introduction générale qui présente le contexte de notre mémoire et décrit brièvement notre solution.

• Le chapitre 1 l'état de l'art sera consacré à la présentation de notre domaine d'étude : L'internet des objets

• Le chapitre 2 introduction aux systèmes véhiculaires sera consacré à la présentation de la modélisation, la simulation, les types de véhicules intelligents, ainsi les types communication entre véhicules.

• Le chapitre 3 sera consacré à la présentation de notre approche où en détaillant le modèle proposé.

• Le chapitre 4, sera consacré pour présenter les résultats de la simulation, et une étude comparative entre le modèle de Krauss et le modèle proposé coop-Krauss.

• Nous terminerons ce document par une conclusion générale qui discute les apports de notre travail,ainsi que les perspectives envisagées en vue d'ouvrir de nouvelles directions de recherche.

Chapitre 1

Chapitre 1 : Internet des objets

1.1 Introduction

En très peu de temps, Internet a considérablement modifié notre manière de travailler, de vivre, de nous distraire et d'apprendre. Avec les nouvelles technologies, nous pouvons connecter le monde physique à Internet.
Aujourd'hui, il y a plus d'appareils intelligents que de personnes. Un nombre toujours plus élevé de personnes possèdent et utilisent trois, quatre appareils intelligents, On compte notamment des Smart-phones, des systèmes de surveillance de l'activité physique et de l'état de santé, des liseuses et des tablettes.
Les réseaux numériques modernes rendent tout cela possible, en permettant l'interconnexion et le transfert de données entre les appareils numériques.

1.2 Terminologie

Avant de commencer à discuter notre sujet en profondeur, nous devons définir certains termes communs que nous verrons tout au long de ce mémoire , ainsi ces termes seront développés dans les sections suivantes :

2.1 Mobilité : mise en mouvement où il fait référence à une notion de déplacement. Un déplacement est un processus qui consiste à se déplacer d'un endroit à un autre, pour réaliser une activité en utilisant un ou plusieurs modes de transport[3].

2.2 Trafic urbain : est le déplacement de véhicules automobiles, au sens large, sur une route .Le réseau de trafic urbaine est un système hybride dynamique, car il comprend des variables à événements continus et discrèts. La dynamique continue représente un contrôle du feu de signalisation et un comportement des flux des véhicules. Et une représentation de l'automate hybride afin d'établir un modèle adéquat de la circulation [4].

2.3 Conduite automatique : véhicule autonome est une application dans le domaine de la robotique mobile, c'est un véhicule qui peut circuler sur la voie dans le trafic sans intervention humaine dans toutes les situations. Néanmoins de nombreuses questions techniques, légales, psychologiques et juridiques restent non résolues [5].

2.4 Conduite autonome : une voiture équipée d'un système de pilotage automatique, lui permet de circuler dans le trafic sans intervention humaine dans des différentes conditions de circulation [6].

2.5 Système de transport intelligent : est une combinaison entre les technologies de l'information et de la communication avec les véhicules et réseaux qui assurent la mobilité [6].

2.6 Modélisation :modélisation sert à construire un modèle abstrait représentant une partie de la réalité. De ce fait, le modèle obtenu doit décrire le rôle de chaque composant ainsi que sa relation avec les autres éléments du système cible [7].

2.7 Modèle de suivi de véhicule :les modèles de suivi de véhicule sont généralement utilisés pour décrire le comportement humain observé lors de la conduite sur route, comme l'accélération / décélération, le changement de voie, etc[8].

2.8 Simulation : une technique numérique qui permet d'effectuer des expériences informatiques comprenant des propriétés microscopiques ou macroscopiques, et qui décrit ainsi le comportement d'un système de transport sûr de longues périodes en temps réel à l'aide de modèles mathématiques [9].

2.9 VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) :c'est un réseau ad hoc qui permet la communication entre un groupe de véhicules et entre des véhicules et des équipements fixes à portée l'un de l'autre [10].

2.10 V2X (Véhicule to X communication) :terme générique pour la communication entre un véhicule et X (d'autres véhicules, infrastructure, passagers, etc.) [11].

1.3 Les objets connectés

Avant de définir les concepts d'internet des objets , il est important de définir l'objet connecté. Un objet dont la vocation première n'est pas d'être des périphériques informatiques ni des interfaces d'accès au web tel qu'une machine à café, une serrure ou un simple véhicule. L'intégration d'une connexion Internet à un objet permet de l'enrichir en termes de fonctionnalité, d'interaction avec son environnement, il devient un objet Connecté Enrichi (OCE), possédant plusieurs contraintes telles que la mémoire, la bande passante ou la consommation d'énergie, un objet connecté (OC) peut interagir avec le monde physique de manière indépendante sans intervention humaine [12,13].

1.4 Définition de l'internet des objets

L'Internet des objets désigne l'interconnexion entre les objets et l'internet. L'Internet des objets désigne l'interconnexion entre les objets et l'internet. Afin de collecter et partager des données, qui seront utilisées par de nombreuses organisations . De son côté, l'IEEE définit l'internet des objets comme un « réseau d'éléments chacun munit de capteurs qui sont connectés à Internet ».
L'internet des objets définit également un objet connecté comme un équipement possédant les sept attributs suivants : Capteurs, Connectivité à Internet, Processeurs, Efficacité énergétique, Coût optimisé, Fiabilité, Sécurité [11,13].

1.5 Applications de l'internet des objets

L'internet des objets offre de nombreuses applications à ses utilisateurs. Parmi ces applications nous citons :la domotique, les systèmes de santé électroniques, l'agriculture intelligente, la mobilité intelligente, les villes intelligentes [13].

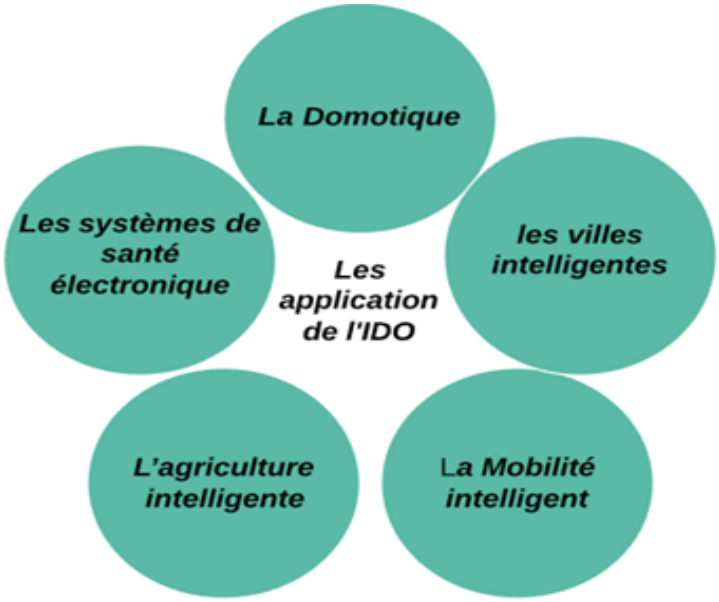

FIGURE 1.1 – Les applications de l'internet des objets

1.5.1 Les systèmes de santé électroniques

Dans le contexte de généralisation du traitement médical électronique, l'Internet des objets est fondamental. En effet, la conception d'un système intelligent de prise de : Intégrer, analyser et partager les données des patients et les connaissances cliniques. Par exemple : la détection d'anomalies dans le corps (fièvre, hypertension, battement cardiaque trop lent ou trop élevé..) en se servant de capteurs adaptés afin d'envoyer une alerte à un professionnel de la santé lorsqu'un certain seuil est dépassé. Cella peut améliorer considérablement la qualité des soins et la sécurité des patients, en plus de réduire les coûts [14,16].

FIGURE 1.2 – Un système de santé électronique

1.5.2 L'agriculture intelligente

L'internet des objets a un impact énorme sur certains secteurs comme l'agriculture, Elle offre, et continuera à offrir, plus de contrôle et de précision aux agriculteurs. En équipant leur bétail de puces de géolocalisation ou en disposant des capteurs dans leurs champs pour un suivi en temps réel de l'évolution de leurs récoltes [15].

FIGURE 1.3 – L'agriculture intelligent

1.5.3 La mobilité intelligente

Parmi les applications les plus importantes de l'Internet des objets c'est la mobilité intelligente, l' l'internet des objets permet l'intégration d'une connexion internet au véhicule, pour interagir avec le monde physique (infrastructure routière, autre véhicule, passagères ...) sans intervention humaine, à l'aide des captures intelligentes. les données fournées et partagées par ces capteurs et ces objets, sont utilisées pour obtenir une mobilité efficace, économique, sûre et écologique.

1.5.3.1 Les différents capteurs d'un véhicule connecté

Le véhicule aura une perception globale de son environnement grâce à la contribution de plusieurs capteurs : lidar, odomètre, antenne GPS, caméras, radar, capteurs sonores.

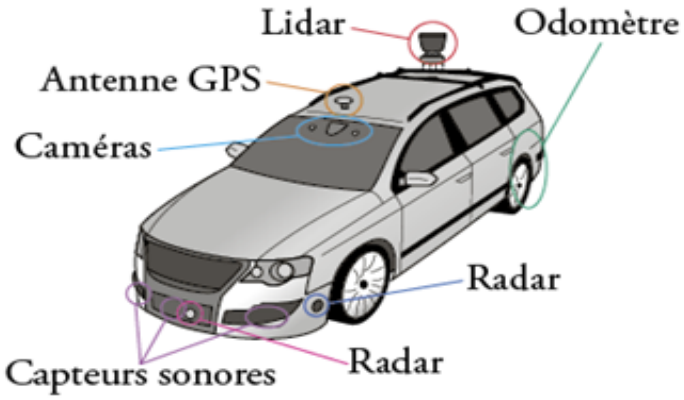

FIGURE 1.4 – Les différents capteurs d'un véhicule connecté [54].

Les capteurs du véhicule font partie des composants de base de la voiture autonome, car ils assurent plusieurs tâches principales, le tableau suivant représente le rôle des différents capteurs.

Capteur	***Information fournée***
Odomètre	mesure la distance parcourue par la voiture.
Radar	Détermine la distance, la vitesse et la direction d'objets mobiles roulant devant le véhicule en utilisant les ondes radio
Lidar	détermination de la distance d'un objet , la vitesse et la direction d'objets mobiles roulant devant le véhicule (détection par laser) en utilisant des impulsions allant de l'ultraviolet à l'infrarouge
Capteurs sonores	détermination de la distance d'un objet , la vitesse et la direction d'objets mobiles roulant devant le véhicule en utilisant les ultrasons
Caméra	fournir des informations importantes sur l'état des routes, identifier rapidement les piétons et les cyclistes
Antenne Gps	la localisation automatique de véhicules

FIGURE 1.5 – Le rôle des différents capteurs[54].

1.5.3.2 Les composants de l'internet des objets

Les composants essentiels d'une solution internet des objets sont : les objets (capteurs), le réseau (connectivité), les données, les informations, les applications d'exploitation.

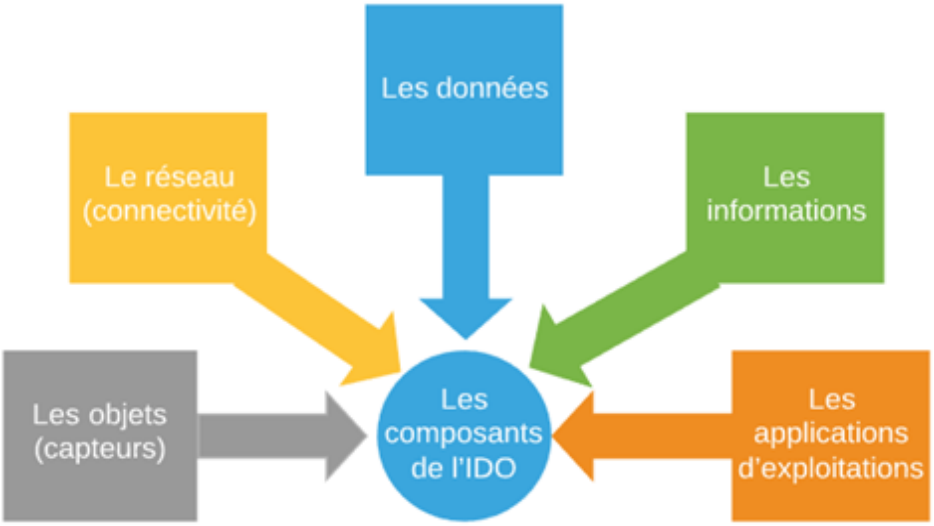

FIGURE 1.6 – Les composants de l'internet des objets [21].

1.5.3.3 Les composants d'un système de mobilité intelligente avec l'internet des objets

L'intégration de plusieurs composants assure une mobilité intelligente sûre et efficace, nous détaillons chaque composant ci-dessous :

• **Les Objets** Une voiture disposant d'un ensemble de capteurs qui offre une perception globale de l'environnement, est d'un système de communication offre un accès à internet.

Exemple : lidar, odomètre, antenne GPS, caméras, radar, capteurs sonores .

•**Les réseaux** Les réseaux véhiculaires permettent l'échange d'informations afin d'accomplir différentes tâches de façon coopérative, la connexion s'effectue via les réseaux grâce à un équipement intégré au véhicule(ou un smartphone) .

Exemple : les réseaux véhiculaire Vanet : V2V, V2I, V2X... la communication est établie via : Bluetooth, wifi, GSM . . . .

• **Les données** Les données brutes, qui n'ont pas encore été analysées ou organisées, sont des données non liées et ininterrompues. Par exemple : le kilométrage, distance parcourue, le niveau de carburant restant,la pression des pneus .

Exemple :le kilométrage, le niveau de carburant restant ou encore la pression des pneus , distance parcourue . . . .

• **Les informations** Sont des données utilisées pour obtenir des informations après l'analyse, ce qui donne un sens aux données.

Exemple : vitesse moyenne, vitesse maxi atteinte par le véhicule, usure du moteur, circulation, véhicule en panne, risque de collision. . .

• **Les applications d'exploitation** Des applications de communication et d'information , disponibles sur des écrans destinées aux conducteur ou passagers ,afin de rassembler les informations des différents capteurs du véhicule , puis extraire une information agrégée, puis interpréter l'environnement du véhicule dans des calculateurs embarqués, et enfin générer des messages pertinents à destination des véhicules de la zone.

Exemple :l'outil logiciel RTMaps (Real-Time Multisensor applications) [17,22].

1.5.3.4 Les avantage de la mobilité intelligente

La mobilité intelligente est une solution permettant de faciliter les déplacements en assurant :

• une optimisation des temps de trajet

• une meilleure exploitation de l'infrastructure routière

• un plus grande fluidité du trafic

• une réponse à de nouveaux besoins de mobilité.

• une réduction de la consommation d'énergie et les coûts environnementaux [19,24].

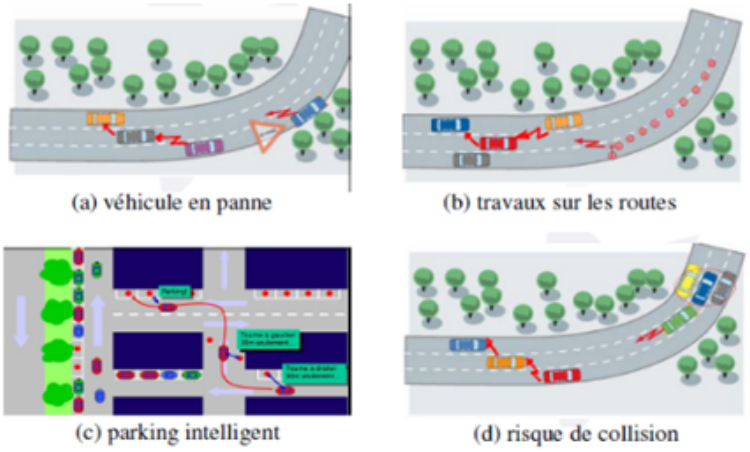

FIGURE 1.7 – Mobilité intelligente

1.5.4 Les villes intelligentes

Beaucoup de grandes villes ont été soutenues par des projets intelligents, comme Séoul, New York, Tokyo, Shanghai, Singapour, Amsterdam et Dubaï. Les villes .peuvent encore être considérées comme des villes de l'avenir et la vie intelligente, et par le taux d'innovation de la création de villes intelligentes d'aujourd'hui, il sera devenu très faisable pour entrer la technologie l'internet des objets dans le développement des villes. Par l'internet des objets, les villes peuvent être améliorées à plusieurs niveaux, en améliorant les infrastructures, en améliorant les transports. . . .

Les villes intelligentes permettre de mieux gérer les flux de trafics, d'optimiser l'éclairage, de maîtriser la consommation d'énergie et de réduire l'impact écologique des activités urbaines [15 , 17].

FIGURE 1.8 – Villes intelligentes

1.5.5 La domotique

Avec l'internet des objets, les maisons et les bâtiments peuvent aussi exploiter des appareils et objets intelligemment. Comme un exemple d'application intéressante de l'IDO dans les maisons intelligentes et les bâtiments on trouve : l'éclairage intelligent, le contrôle de l'air et de chauffage central, la gestion de l'énergie et la sécurité [17].

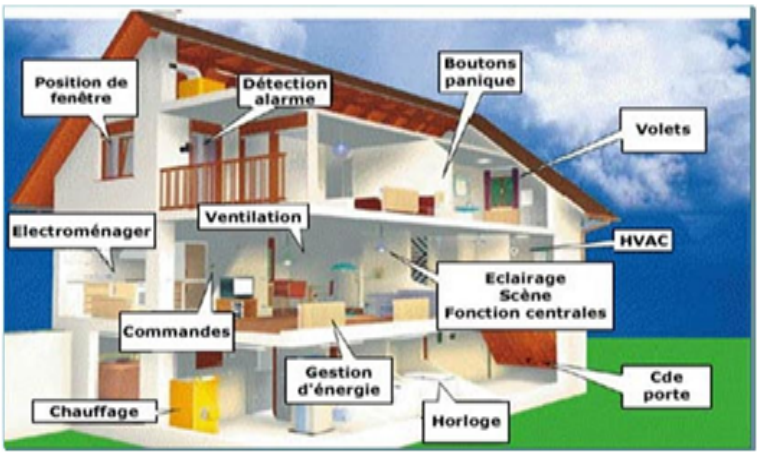

FIGURE 1.9 – Les maisons intelligentes

1.6 Les étapes de mise en place l'internet des objets

Il est important de pouvoir connecter l'ensemble des objets, les faire échanger des informations et interagir. Comme tout autre système l'Internet des objets a des étapes et des composants prédéfinis pour le faire fonctionner. l'internet des objets passe par les étapes suivantes :

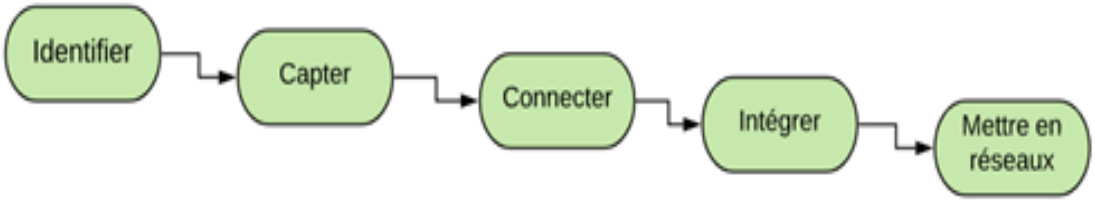

FIGURE 1.10 – Les étapes de mise en place de l'internet des objets

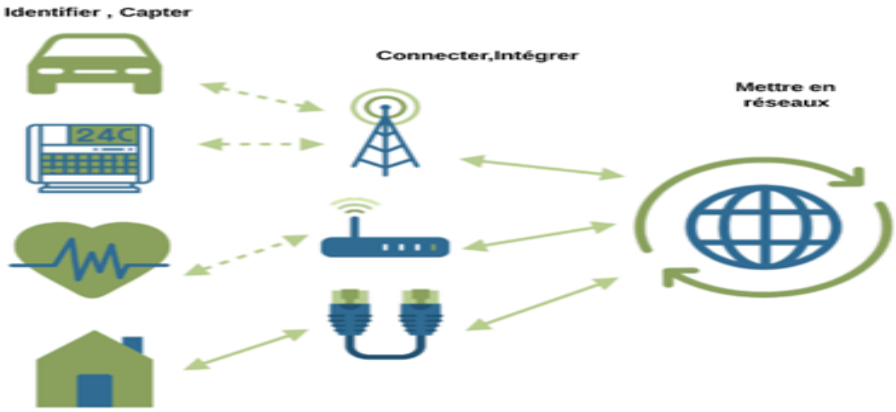

FIGURE 1.11 – Les étapes de mise en place d'un objet connecté

En examinons chaque étape et comprenons ce qu'ils font selon [12]. La Figure Suivante présente les détails de chaque étape :

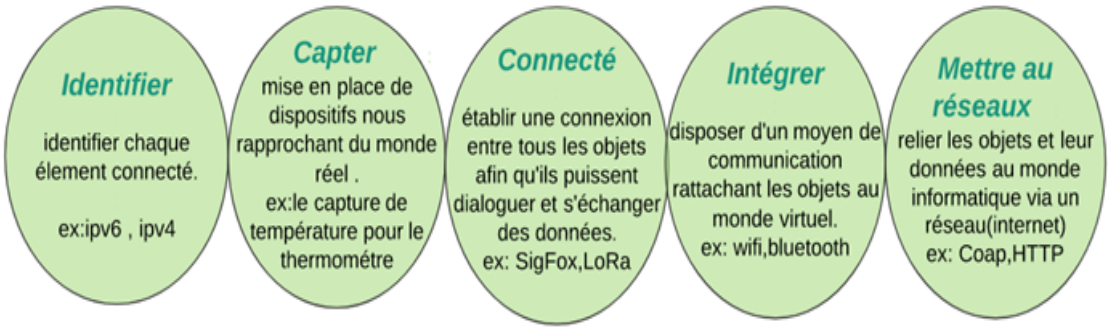

FIGURE 1.12 – Les étapes de la mise en place de l'internet des objets [12].

1.7 Les défis de l'internet des objets

Il y a des défis à l'application de l'Internet des objets de point de vue coût de la mise en œuvre du fait que l'attente de la technologie doit être disponible à faible coût avec un grand nombre d'objets. De plus, l'internet des objets est également face à de nombreux autres défis selon [18]. les défis de l'internet des objets se résument dans cinq sous-sections suivantes :

FIGURE 1.13 – Les défis de l'internet des objets

- La découverte automatique

L'identification automatiquement des objets est importante, ceci nécessite des moyens sémantiques appropriés pour décrire leur fonctionnalité afin de les exploiter d'une manière efficace.

- L'interopérabilité

Chaque type d'objet intelligent dans l'Internet des objets possède différentes capacités de stockage d'information, de traitement et de communication. L'interopérabilité des objets permet de s'adapter et de collaborer avec d'autres objets qui existent déjà ou qui n'ont pas encore été créés. Afin de faciliter la communication et coopération de ces objets ainsi la création d'un réseau et le transfert de données.

- La sécurité et la confidentialité

Dans un environnement internet des objets, nous devons assurer certains aspects de sécurité tels que l'intégrité, la confidentialité, la disponibilité, la non répudiation, l'authentification.

- La tolérance aux pannes

Les objets dans un environnement internet des objets sont dans un changement rapide et de manière inattendue. Pour assurer le l'adaptation automatique au changement de condition on utilise la redondance en plusieurs niveaux.

- L'auto-organisation

Les objets mobiles, qui sont souvent utilisés de façon sporadique, doivent établir spontanément des liens et pouvoir être organiser et configurer par eux-mêmes en fonction de leur environnement d'exécution.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une étude détaillée sur l'internet des objets, Actuellement, le développement des applications d'internet des objets a été intégré dans de nombreuses tâches dans notre vie quotidienne. Les véhicules autonomes et connectés à l'Internet des objets ont fait l'objet d'intenses recherches ces derniers temps. L'apport de l'Internet des objets peut permettre de : réduire le stress et de lassitude dans les embouteillages ,limiter le nombre d'accidents de la route ,réduire drastiquement les erreurs humaines ,prévoir les chemins les plus courts et les plus économiques.... Nous avons présenté aussi les défis de la mise en oeuvre de l'Internet des objets dans un monde réel, pour cela on cherche à développer une plateforme pour le prototypage des systèmes véhiculaires connectés dans un monde virtuel

Chapitre 2

Chapitre 2 : Introduction aux systèmes véhiculaires

2.1 Introduction

Le système à réaliser dans le contexte de ce projet permet la modélisation de la tâche de conduite, précisément la tâche d'un contrôle automatique et coopératif de la vitesse du véhicule autonome, puis l'analyse des impacts de l'automatisation et de la coopération sur le flux du trafic routier.

2.2 Modélisation

2.2.1 Type de modélisation

Il existe plusieurs approches de modélisation, nous citons :

- **La modélisation à base de règles**

Cette approche est adoptée pour les systèmes avec un comportement assez simple, utiliser un ensemble de règle du type if-Then pour décrire les différentes états de comportement d'un système [25].

- **La modélisation à base d'équations**

Consiste en un ensemble d'équations chargées de décrire le fonctionnement du système cible dans ses différents états [26].

- **La modélisation à base d'agents**

Se compose d'un ensemble d'entités autonomes appelés agents, chaque agent assure plusieurs rôles .La communication entre les agents assure un objectif commun [26,27].

2.2.2 Modélisation de la tache de conduite

La modélisation est l'une des étapes essentielles, par laquelle on établit un fonctionnement correct en définissant le rôle de chaque élément et les relations entre eux. Les systèmes de conduite autonomes ont été modélisés et implémentés à Base d'une architecture hiérarchique ou le contrôle autonome est établi à travers la coopération entre deux systèmes : Système ACC et LKS [28].

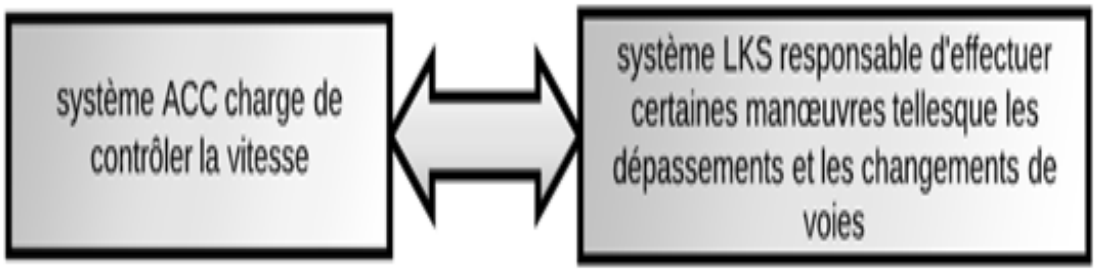

FIGURE 2.1 – Les systèmes de conduite autonomes

2.2.2.1 Les taches élémentaires de conduite

La tâche de conduite est divisée en deux taches élémentaires : le contrôle longitudinal et le contrôle latéral [29,30].

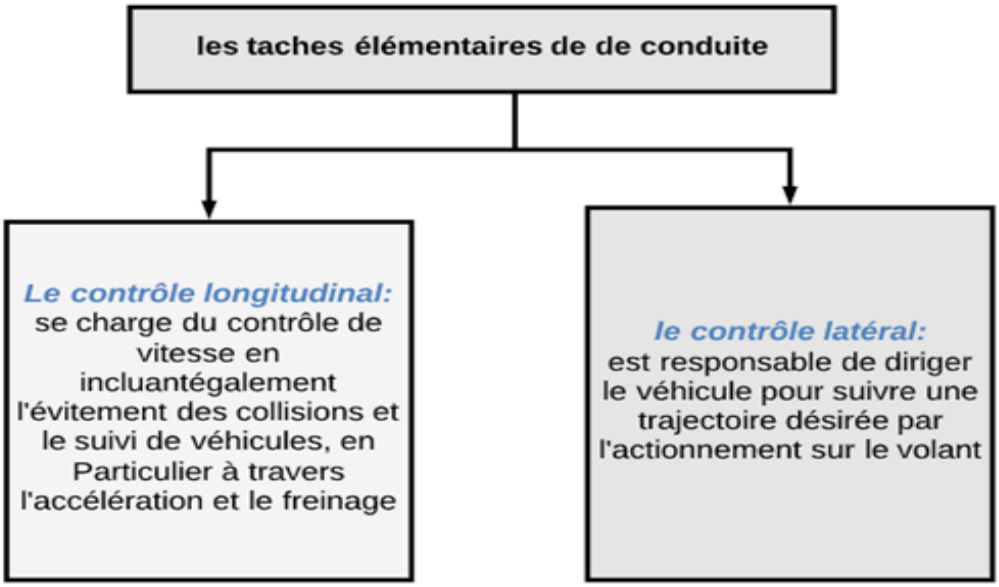

FIGURE 2.2 – Les taches élémentaires de conduite

2.2.2.2 Modèle de La tâche de conduite

La tâche de conduite est modélisée par deux modelés :

Un modèle de changement de voies : il modélise la tâche du contrôle latéral et se charge de contrôler la trajectoire du véhicule pour effectuer certaines manœuvres telles que les changements de lignes et les dépassements [31].

un modèle de suivi de véhicules : ce modèle est chargé de contrôler la vitesse et d'établir un contrôle longitudinal sans collision dans un environnement urbain [31].

2.3 La simulation

2.3.1 Pourquoi simuler

La simulation est une étape nécessaire qui peut être utile dans plusieurs situations :

- Un bon moyen de rassemblement systématique des données pertinentes qui permit de

connaitre les différentes caractéristiques du trafic et leur opération.

• La connaissance des variables importantes, et la relation entre eux, mener a des formulations analytiques pertinentes.

• Pour mieux connaître les distributions de probabilités non seulement les moyennes et les variances.

• assure une vérification d'une solution analytique incertaine.

• La simulation peut nous éviter les dépenses car elle est moins coûteuse que de faire des expériences.

• La simulation est sans danger. On peut étudier divers effets sans déranger les usagers [9].

Pourquoi nous avons besoin de la modélisation des impacts des véhicules connectés et automatiques

la grande majorité des chercheurs ont mené une analyse basée sur la simulation. Pour estimer les impacts des CAV, car

• les données empiriques sur le terrain pour les CAV ne sont pas disponibles à l'heure actuelle [8].

• les données réelles sur le terrain concernant les performances des CAV sont limitées [32,33].

• de nombreuses études portent sur des parts de marché élevées pour les CAV, ce qui est hypothétique, loin de la réalité actuelle [34,35].

• pour éviter des erreurs coûteuses avant leur mise en œuvre généralisée [8].

2.3.2 Simulateur de trafic urbain

Parmi les avantages de La simulation : réduction de cout et la minimisation des risques. ainsi, nous assurons le développement et les tests des différents systèmes dans un environnement virtuel isolé et bien contrôlé.

De ce fait, avant de passer à la mise en œuvre, plusieurs systèmes véhiculaires ont été proposés, testés et déployés grâce à la simulation dans des simulateurs de trafic Urbain (ex. les systèmes de conduite autonomes, les systèmes de transport intelligents)

Un simulateur de trafic urbain : est un simulateur responsable de générer et de

contrôler le flux de véhicules dans un Environnement selon les conditions de la route. Dans un simulateur de Trafic urbain, le comportement de chaque véhicule est modélisé par un modèle de suivi de véhicules et un modèle de changement de voies, ce qui doit produire un contrôle automatique similaire au comportement du conducteur humain [36].

2.3.3 Les types de simulation de trafic urbain

Nous pouvons classer les études basées sur la simulation en modèles micro, macro et méso en fonction d'une échelle de réseau et de modèles fondamentaux de la simulation [36,38].

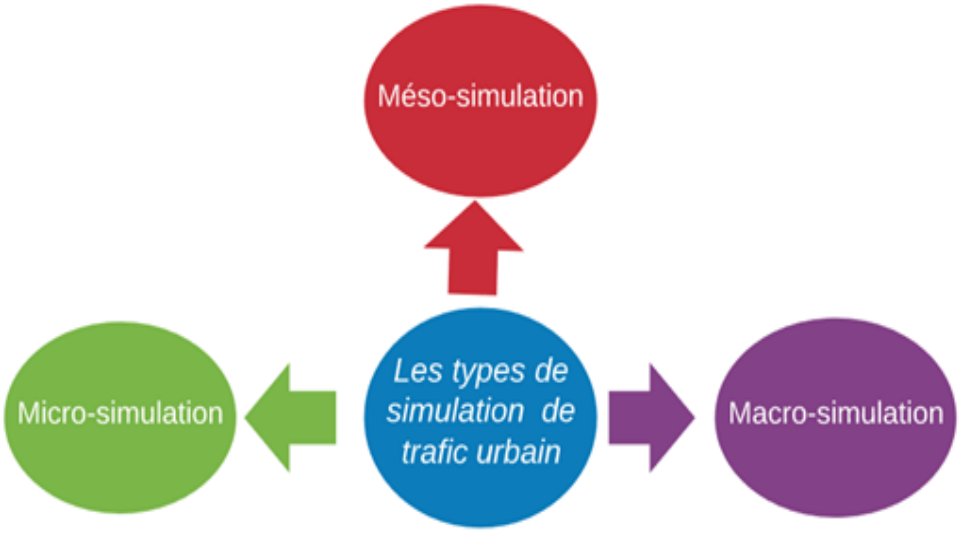

FIGURE 2.3 – Les types de simulation de trafic urbain

2.3.3.1 Micro-simulation

La micro-simulation est une catégorie d'outils analytiques informatisés qui effectuent une analyse très détaillée d'activités telles que le trafic routier traversant une intersection. La micro-simulation est souvent utilisée pour évaluer les effets des interventions proposées avant leur mise en œuvre dans le monde réel. Par exemple, un modèle de micro-simulation du trafic pourrait être utilisé pour évaluer l'efficacité de l'allongement d'une voie de virage à une intersection, et ainsi aider à décider s'il vaut la peine de dépenser de l'argent pour réellement allonger la voie. Les simulateurs de trafic microscopiques sont les outils d'analyse du trafic les plus puissants et les plus pratiques. Sa capacité à reproduire avec

un niveau de précision élevé les conditions de trafic détectées dans une grande variété de circonstance rend les utilisateurs qualifiés très exigeant, demandant de nouvelles caractéristiques et fonctionnalités dans le processus sans fin de bien s'adapter à la complexité croissante des événements de trafic [37].

2.3.3.2 Macro-simulation

Les modèles macroscopiques simulent le flux de trafic, en tenant compte des différentes caractéristiques du trafic, du débit, de la vitesse et de la densité, mais en considérant leurs relations les uns avec les autres. Ils peuvent être utilisés pour calculer l'étendue spatiale et séquentielle de la congestion causée par la demande de trafic ou les incidents dans un réseau, mais ils ne peuvent pas modéliser les interactions des véhicules sur des configurations de conception alternatives. La simulation dans un modèle macroscopique se déroule plutôt section par section plutôt que par le suivi de véhicules individuel. Les modèles macroscopiques utilisent des équations sur la conservation de l'écoulement et sur la façon dont les perturbations de la circulation se diffusent à travers le système comme les ondes de choc [38].

2.3.3.3 Méso-simulation

En combinant la simulation macroscopique et la simulation microscopique, cette simulation s'intéresse à la modélisation et le contrôle d'un groupe de véhicules qui partagent certaines caractéristiques (ex. classe, vitesse de pointe, accélération, poids, position,etc.) [36].

2.3.4 Modèle de suivi de véhicules

La dynamique du trafic urbain se base sur deux processus : le contrôle longitudinal et le contrôle latéral

Selon le processus du contrôle longitudinal, le contrôle de vitesse d'un véhicule a un instant donné est effectué seulement si la vitesse actuelle est différente d'une vitesse Désirée vides. Cette vitesse désirée est définie en fonction de nombreux attributs tels Que l'état de trafic routier et le code de la route.

Plusieurs modèles de suivi de véhicules Ont été proposés pour définir la vitesse désirée et établir un contrôle longitudinal sans collision.

Ces modèles sont Basés sur :

- Les propriétés du trafic routier, ou
- La modélisation du comportement de conducteur humain [36].

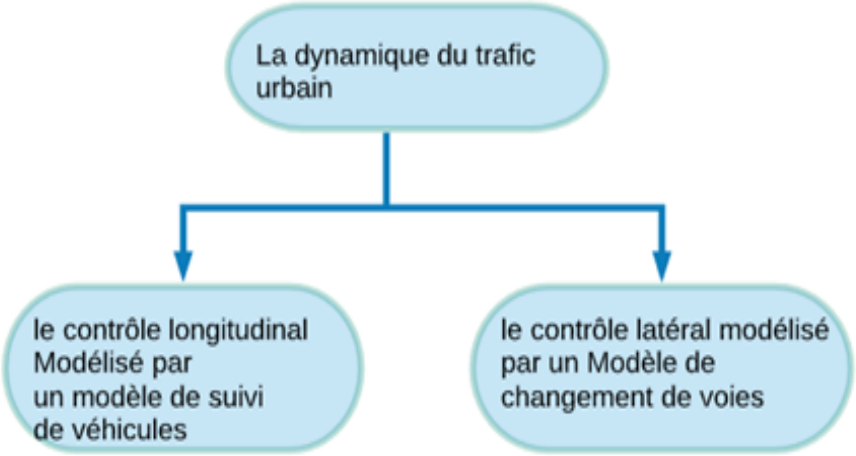

FIGURE 2.4 – Modèle de suivi de véhicule

2.3.5 Modélisation basée sur les propriétés du trafic routier

2.3.5.1 Les classes des modèles classiques du suivi de véhicules

Les modèles classiques du suivi de véhicules sont divisés en deux classes :

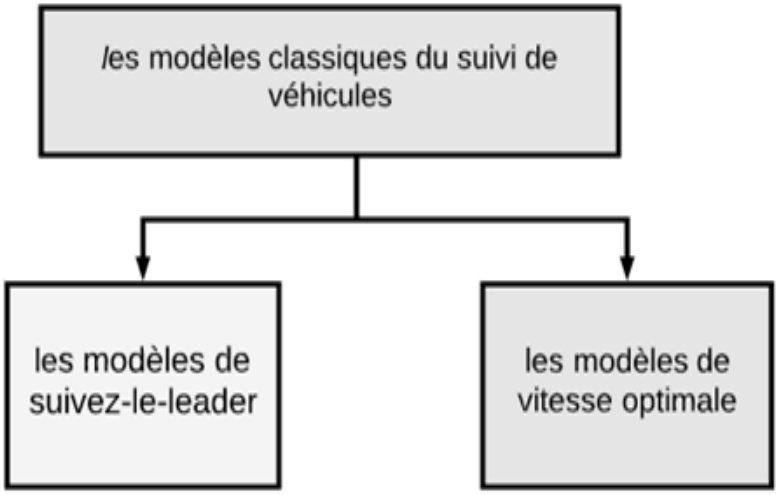

FIGURE 2.5 – Classes des modèles classiques du suivi de véhicules

Le modèle suivez-le-leader

Le mouvement d'un véhicule i est régi seulement par le mouvement de son véhicule précédent i+1 .Les vitesses de tous les véhicules devraient être identiques sinon les véhicules vont entrer en collision.

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{v_i(t) - v_i(t)}{\tau}(1)$$

un véhicule i applique une accélération définie par l'équation (1), à un instant t pour atteindre une vitesse désirée v_des identique à v_{i+1} la vitesse de son prédécesseur [39]. Pour :

•$\frac{dv_i}{dt}$:l'accélération appliquée par le véhicule i a un instant t pour correspondre à la vitesse du véhicule $i+1$ à $t+1$ sec .

•$V_i(t)$: la vitesse actuelle du véhicule i .

•V_{i+1} : à vitesse actuelle du véhicule de tête $i+1$.

•τ une échelle de temps utilisé pour déstabiliser l'état de système.

Les inconvénients de modél suivi-leader

En cas de l'absence du véhicule de tête $i+1$, un modèle de suivez-le-leader devient incapable de décrire le comportement de son véhicule i .

De ce fait, l'utilisation d'une autre approche est nécessaire pour décrire correctement le comportement d'un véhicule dans n'importe quel état [40].

Approche alternative

Au lieu d'attribuer la vitesse du véhicule de tête $i+1$ à la vitesse du véhicule contrôle i , une approche alternative a été proposée pour implémenter un modèle de vitesse optimale. Ce type de modèles définit une vitesse désirée(vitesse optimale) afin d'atteindre et de maintenir un contrôle longitudinal sans collision même dans l'absence du leader.

Example modele suivi-le-leader	[Chandler 58, Chow 58, Edie 61, Gazis 59, Kometani 58,May 67, Newell 61]
Example modéle de vitesse optimale	[Gipps 81, Gipps 14, Kerner 08, KrauB 98, KrauB 97, Treiber 00]

FIGURE 2.6 – Exemple des différents modèles

2.3.5.2 Quelque modèle existant

Les modèles classiques de suivi des véhicules garantissent une conduite sans collision sous les divers changements de l'état de l'environnement, nombreux modèles proposés dans la littérature, chaque modèle vise à assurer une conduite sûre et sans collision, nous détaillons dans le tableau suivant le but des différents modèles :

le modèle	Le But de modèle	Explication du Modèle
KrauB	Atteindre une vitesse finale v et une vitesse de sécurité vSafe ou : v est le minimum de vitesse maximale que le véhicule peut atteindre et ne peut pas dépasser après l'application d'une accélération a et vSafe : permet au véhicule de s'arrêter en cas d'urgence par l'application d'une décélération maximale b	la vitesse finale d'un véhicule est définie par deux règles : La vitesse est limitée par une vitesse maximale (v _ vmax), et le véhicule respecte et maintient une vitesse de sécurité (v _ vSafe) qui doit établir un contrôle longitudinal sans collision
Intelligent Driver Model (IDM)	est un modèle basé sur une fonction d'accélération continue et déterministe, a été proposé dans le but de fournir un contrôle longitudinal sans collision	Le modèle d'IDM a deux actions : l'accélération et la décélération, sont déterministes et capables d'atteindre la vitesse désirée avec précision
Full vélocité and accélération différence model (FVADM)	c'est un modèle décrit et modélise le comportement d'un conducteur pour prévenir les collisions pendant le freinage d'urgence.	similaire aux modèles de KrauB , le modèle FVADM agit directement sur la vitesse de véhicule pour correspondre à une vitesse désirée. Par conséquent, ce modèle est conçu pour agir dans un environnement ou les actions de contrôle sont considérées comme déterministes et précises

FIGURE 2.7 – Quelque modèle existants [41,45].

2.3.6 Modélisation basée sur le comportement de conducteur humain

Pour produire un simulateur fiable permettant de développer et tester des nouveaux systèmes, et de comprendre la dynamique de trafic routier on a besoin d'une modélisation précise et correcte du contrôle longitudinal.

De plus, la prise en considération des facteurs humains pendant la modélisation est essentielle pour obtenir une description plus réaliste du comportement de suivi de véhicules,

en particulier dans des situations complexes [46].
Les modèles basés sur les propriétés du trafic routier généralement produit des simulations microscopiques irréalistes car ils ignorent de nombreux aspects de processus de la perception et de la prise de décision du conducteur humain.
L'erreur humaine est un terme général utilisé de manière plutôt vague pour décrire presque tous les actes dangereux qui causent des accidents.
de nombreux études ont modélisé le comportement et l'imperfection de l'humain par un modèle stochastique du suivi de véhicules, exemple : le modèle de Krauss .

2.4 Les types de véhicules intelligents

Les constructeurs automobiles ont fait des progrès énormes dans ce domaine, où il existe déjà un système pour classer les voitures autonomes même si leurs nombres n'étaient pas assez considérables. Les véhicules autonomes se déclinent en effet en quatre types différents.

2.4.1 Régulateur de vitesse adaptatif ACC

La fonction principale du véhicule CC est de maintenir une vitesse souhaitée définie par un conducteur. L'ACC est une version avancée du système CC précédent.
D'autre part, le véhicule ACC contrôle une accélération basée sur un écart de distance et une différence de vitesse entre les véhicules précédents et actuels.
De plus, les systèmes ACC peuvent accélérer et décélérer de manière appropriée en ce qui concerne les changements de vitesses des véhicules précédents [8].

2.4.2 Régulateur de vitesse adaptatif coopératif CACC

Le système CACC comprend une fonction de communication, par rapport à l'ACC, qui partage l'accélération, la décélération, une capacité de freinage et les positions des véhicules par le biais de communications de véhicule à véhicule (V2V) [46].
De nombreuses études antérieures montrent que CACC a le potentiel d'améliorer à la fois le flux de trafic [47]. et la stabilité des chaînes [48].

2.4.3 Véhicule automatisé AV

L'USDOT définit le véhicule entièrement automatisé comme le véhicule capable de conduire automatiquement à plein temps dans toutes les conditions routières et environnementales [47].

2.4.4 Véhicule automatisé et connecté CAV

Les CAV contiennent toutes les fonctions AV avec les fonctions V2V et V2X, CAV est une voiture disposant d'un système de communication embarqué qui offre un accès à Internet [8].

2.5 Un système de conduite coopératif

2.5.1 Définition

Dans un système de conduite coopérative,le véhicule adopte une loi de contrôle appropriée pour atteindre quelques objectifs après avoir obtenu des informations voisines en utilisant la communication inter- véhicules .
En général, le système de conduite coopératif est basé sur la communication sans fil entre les véhicules (V2V) et entre les véhicules et l'infrastructure (V2I)[50].

2.5.2 Type de communication dans un système de conduite coopératif

2.5.2.1 Communication V2V

• La technologie V2V consiste en des transmissions de données sans fil entre les véhicules à moteur. L'objectif principal de cette communication est de prévenir les accidents potentiels, permettant aux véhicules en transit de transférer des données sur leur position et leur vitesse au sein d'un réseau maillé ad hoc [51].
• aide un véhicule à collecter en temps opportun les informations cinétiques de ses voisins, et sur la base des informations de trafic obtenues, le véhicule peut maintenir la convergence des états aux véhicules adjacents de manière coopérative [51].
• La communication V2V peut également fournir des informations sur le flux de trafic en aval via des véhicules relais se déplaçant dans la direction opposée aux véhicules dans la

direction d'origine [53].

2.5.2.2 Communication V2I

Contrairement au modèle de communication V2V, qui permet l'échange d'informations uniquement entre les véhicules, le V2I permet aux véhicules en transit de s'interfacer avec le système routier. Ces composants comprennent des lecteurs RFID, des feux de circulation, des caméras, des marqueurs de voie, des lampadaires, des panneaux de signalisation et des parcmètres [52].
Généralement, les communications V2I sont sans fil, bidirectionnelles et similaires à V2V, utilisant des fréquences de communication dédiées à courte portée (DSRC) pour transférer des données]. Ces informations sont transmises des éléments de l'infrastructure au véhicule, ou inversement, via un réseau ad hoc [53].

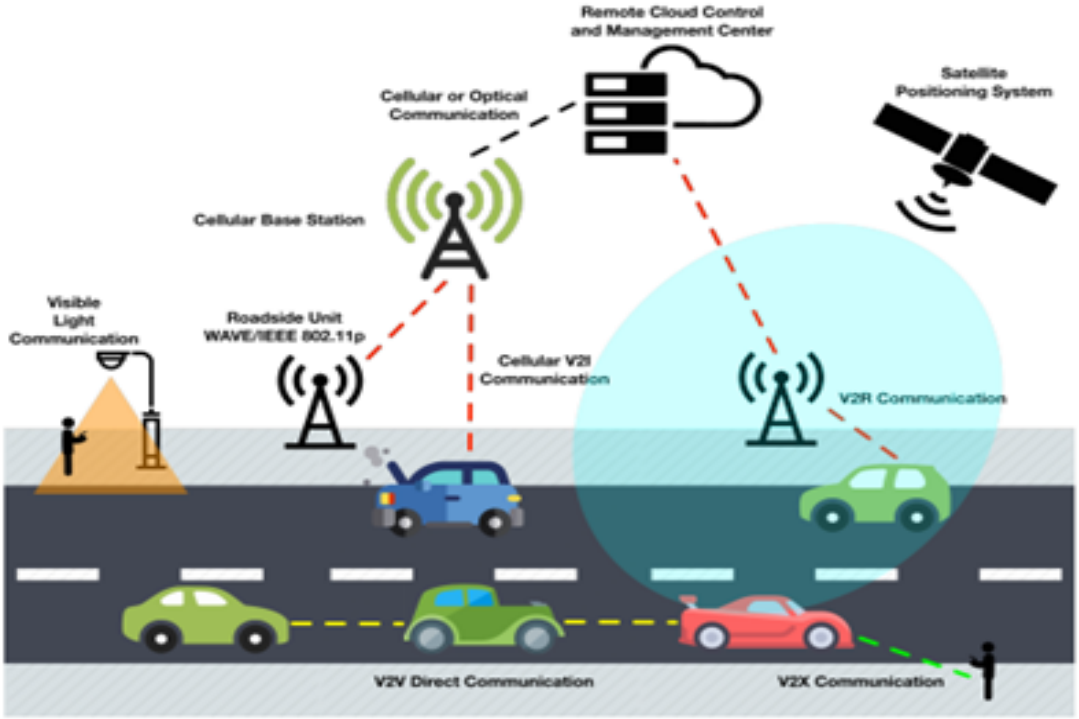

FIGURE 2.8 – V2v and V2I communications.

2.5.3 Composantes principales du SCC

• la dynamique du véhicule qui caractérise le comportement du véhicule résultant de la fabrication, par exemple, le retard de l'actionneur ;

• les informations à échanger entre les véhicules, par exemple, la position et la vitesse d'un véhicule ;
• la topologie de communication décrivant la structure de connectivité des réseaux véhiculaires, tels que prédécesseur-suiveur, leader-suiveur, bidirectionnel, etc. ;
• la loi de commande telle que la commande en mode coulissant, la commande par consensus, etc. à mettre en œuvre sur chaque véhicule afin de définir la règle de suivi de voiture dans le flux de trafic connecté [49].

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude détaillée sur les notions de base de systèmes véhiculaires, notamment la modélisation, la simulation, aini que les types de véhicules intelligents et les systèmes de conduite coopératif.

Chapitre 3

Chapitre 3 :Un modèle pour une conduite coopérative prédictive

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons un modèle du suivi de véhicules basé sur une approche prédictive coopérative. Ce modèle est chargé de simuler et d'automatiser la tâche du contrôle de vitesse automatique et coopérative du véhicule autonome .Ainsi, pour examiner le comportement du modèle proposé, nous avons utilisé le simulateur SUMO.

3.2 Les problèmes dans les systèmes de conduite non coopérative

Dans les systèmes de conduite non coopératifs, le véhicule n'interagit pas avec les autres véhicules. Vu qu'il dispose simplement de capteurs embarqués capables d'apporter une connaissance sur l'environnement immédiat du véhicule. Cependant, le conducteur dispose d'une mauvaise connaissance de l'environnement.

En conséquence, ce système souffre d'un certain nombre de problèmes :

- Des problèmes de sécurité.
- Une consommation élevée du carburant.
- Une quantité importante des émissions.
- Une conduite agressive qui impose des déplacements inconfortables.

3.2.1 Les bénéfices de la coopération sur la sécurité

Prenons un scénario simple d'une intersection où il n'y a pas de visibilité. L'accident est inévitable car vous ne l'avez pas vu. Dans ce cas, la coopération peut aider le véhicule à se préparer pour une collision inévitable, ou bien pour intervenir et agir de manière automatique sur le véhicule pour éviter la collision. Le champ de vision de véhicules coopératifs est plus large à celui de l'humain, et du véhicule individuel.

3.2.2 Les effets imposés par la conduite agressive

Prenons un scénario d'un véhicule dans un environnement non coopératif avec les informations suivantes :

L'instant t	**L'instant t+1**
Route : partiellement vide	Route : entre en un embouteillage imprévisible
Vitesse = 6 m/s	Vitesse = 1 m/s

TABLE 3.1 – Les informations d'un véhicule dans un environnement non coopératif.

Par conséquent, une décélération de -5 m / s doit être appliquée. Le fait de Passer d'une vitesse de 6 m/s à 1 m/s entraînera une conduite agressive. Qui imposera des effets négatifs sur :

- le confort.
- La consommation de carburant
- Les émissions CO, CO2 .

3.3 L'approche Alternative proposée

Afin d'offrir une conduite plus sûre, plus fiable et plus confortable et pour éviter un certain nombre des problèmes mentionnés ci-dessus, nous avons proposé une approche coopérative et prédictive, dans laquelle le conducteur a une meilleure connaissance de l'environnement grâce à la communication avec l'infrastructure (V2I) et la prédiction.

3.3.1 L'objectif de l'approche proposée

Cette approche coopérative prédictive permettrait d'avoir une meilleure compréhension du trafic, ainsi de fluidifier la circulation, parmi les raisons pour lesquelles la coopération entre véhicules est intéressante c'est :

- la sécurité.
- le confort de conduite.
- la réduction des émissions polluantes pour l'environnement.
- la réduction de la consommation de carburant.

3.3.2 Un modèle coopératif de suivi de véhicules

Dans cette section, nous résumons le modèle de suivi de véhicule proposé :
Vu que notre approche est basée sur la prédiction, la vitesse finale (1) peut être calculé en fonction de la somme entre la vitesse actuelle et du véhicule $iv_i(t)$ et L'accélération finale a appliquée à l'instant t sur la vitesse v_i du véhicule$a_{finale}(t)$

$$v_{finale}(t + \Delta t) = v_i(t) + a_{finale}(t) \times \Delta t(1)$$

$a_{finale}(t)$ (2) , représente la moyenne de L'accélération appliquée a_i à l'instant t sur la vitesse v_i du véhicule i pour atteindre la vitesse $v_i(t+\Delta t)$ (4) et L'accélération appliquée à l'instant $t + \Delta t$ (6)

$$a_{finale}(t) = \frac{a_i(t) + a_i(t + \Delta t)}{2}(2)$$

L'accélération appliqué a_i à l'instant $t(3)$ est basé sur la différence de vitesse du véhicule i a l'instant $tv_i(t)$ et l'instant $t + \Delta t$ $v_i(t + \Delta t)$ (4),et donné par :

$$a_i(t) = \frac{v_i(t + \Delta t) - v_i(t)}{\Delta t}(3)$$

La vitesse $v_i(t+\Delta t)$ (4), est définie par le modèle de Krauss[2] comme la valeur minimale parmi une vitesse de sécurité v_{Safe} qui assure une conduite sans collision à l'instant t $(v_i'(t))$ (5) ,la vitesse maximale du véhicule $i(v_{max})$ et de vitesse du véhicule i a l'instant t $v_i(t)$

$$v_i(t + \Delta t) = \min(v_i'(t), v_{max}, v_i(t) \times \Delta t)(4)$$

La vitesse de sécurité (5) est calculée en utilisant la vitesse du véhicule $i+1$ et du véhicule i à l'instant $t(v_i(t)etv_{i+1}(t))$, la distance qui sépare les véhicule i et $i + 1$ à l'instant t

$(g'(t))$, une décélération maximale b appliqué par le véhicule et un paramètre τ prédéfinie par le modèle de Krauss[2] a 1

$$v'_i(t) = v_{i+1}(t) + \frac{g'(t) - v_{i+1}(t)\tau}{\frac{v_{i+1}(t)+v_i(t)}{2b} + \tau}(5)$$

Pour (2), prédire $a_i(t + \Delta t)(6)$ est exigé, L'accélération appliquée à l'instant $t + \Delta t$ est défini par la différence de vitesse du véhicule i a l'instant $t + \Delta t$ (4) et l'instant $t + 2\Delta t$ $v_i(t + \Delta t)$ (7)

$$a_i(t + \Delta t) = \frac{v_i(t + 2\Delta t) - v_i(t + \Delta t)}{\Delta t}(6)$$

$v_i(t + 2\Delta t)$ (7) est la valeur minimale parmi une vitesse de sécurité v_{Safe} qui assure une conduite sans collision à l'instant $t + \Delta t(v'_i(t + \Delta t))$ (8) , la vitesse maximale du véhicule $i(v_{max})$ et de vitesse du véhicule i a l'instant $t + \Delta t$ $v_i(t + \Delta t))(4)$

$$v_i(t + 2\Delta t) = \min(v'_i(t + \Delta t), v_{max}, v_i(t + \Delta t) \times \Delta t)(7)$$

Ainsi, la vitesse de sécurité $v'_i(t + \Delta t)$ (8) est calculée en utilisant la vitesse du véhicule v_{i+1} à l'instant $t + \Delta t$ (9),la distance qui sépare les véhicules i et $i + 1$ à l'instant $t + \Delta t$, après l'application de l'accélération a_i sur la vitesse v_i du véhicule i et a_{i+1} sur la vitesse v_{i+1} du véhicule $i + 1$ à l'instant t (11) , une décélération maximale b appliquée par le véhicule et Un paramètre τ prédéfinie par le modèle de Krauss[2] a 1

$$v'_i(t + \Delta t) = v_{i+1}(t + \Delta t) + \frac{g'(t + \Delta t) - v_{i+1}(t + \Delta t)\tau)}{\frac{v_{i+1}(t+\Delta t)+v_i(t+\Delta t)}{2b} + \tau}(8)$$

cepandent ,$v_{i+1}(t + \Delta t)$ (9) est la valeur minimale parmi une vitesse de sécurité v_{Safe} du véhicule $i + 1$ à l'instant t $(v'_{i+1}(t))$ (10), la vitesse maximale du véhicule i (v_{max}) et de vitesse du véhicule $i + 1$ a l'instant t

$$v_{i+1}(t + \Delta t) = \min(v'_{i+1}(t), v_{max}, v_{i+1}(t) \times \Delta t)(9)$$

Pour cela, nous définissons la vitesse de sécurité de véhicule leader $i + 1$ (10) en utilisant la vitesse du véhicule v_{i+2} et v_{i+1} à l'instant t , la distance qui sépare les véhicules $i + 1$ et $i + 2$ à l'instant $t(g''(t))$, une décélération maximale b appliquée par le véhicule et Un paramètre τ prédéfinie par le modèle de Krauss[2] a 1

$$v'_{i+1}(t) = v_{i+2}(t) + \frac{g''(t) - v_{i+2}(t)\tau}{\frac{v_{i+2}(t)+v_{i+1}(t)}{2b} + \tau}(10)$$

Nous définissons $g'(t + \Delta t)$ pour (8) par la somme de la distance qui sépare les véhicules i et $i + 1$ à l'instant $t + \Delta t$ ($g'(t)$) et la différence de vitesse entre l'instant t et Δt (12)

$$g'(t + \Delta t) = g'(t) + \Delta v(t + \Delta t) \times \Delta t(11)$$

Finalement, nous avons besoin de définir $\Delta v(t + \Delta t)(12)$ par l'équation suivante :

$$\Delta v(t + \Delta t) = v_{i+1}(t + \Delta t) - v_i(t + \Delta t)(12)\ldots[3]$$

Prenons un scénario d'Un véhicule dans un environnement coopératif avec les informations suivantes :

L'instant t	**L'instant t+1**
Route : partiellement vide	Route : entre en un embouteillage imprévisible
Vitesse = 6 m/s	Vitesse = 1 m/s

TABLE 3.2 – Les informations d'un véhicule dans un environnement coopératif.

A L'instant t, le véhicule pourra prédire toutes les informations suivante :

L'instant t	**L'instant t+1**
Vitesse v_i : 6 m/s	Vitesse v_i :7 m/s
Vitesse v_{i+1} : 6 m/s	Vitesse v_{i+1} :7 m/s
La distance entre v_i et v_{i+1} : 5 m	La distance entre v_i et v_{i+1} : 2 m
L'action a applique : 1 m/s	L'action a applique : - 6 m/s

TABLE 3.3 – Les prédictions du véhicule .

Par conséquent, l'action finale à appliquer est selon [2]
$a_{finale} = \frac{(1-6)}{2} = \frac{(-5)}{2} = -2.5$ Alors, au lieu d'appliquer une accélération de 1 m/s a l'instant t puis une décélération de - 6 m/s a l'instant $t+1$.
Nous devons appliquer une décélération de -2.5 a l'instant t puis une décélération de -2 m/s a l'instant $t+1$.

L'instant t	**Modèle coopérative**	**Modèle non coopérative**
L'instant t	Vitesse = 6 m/s,Action = -2.5 m/s	Vitesse= 6 m/s,Action =1 m/s
L'instant $t+1$	Vitesse = 3.5 m/s,Action =-2.5 m/s	Vitesse = 7 m/s,Action =-6 m/s
L'instant $t+2$	Vitesse = 1 m/s	Vitesse =1 m/s

TABLE 3.4 – Une comparaison détaillée des actions appliquées par les deux modèles.

Cela, permet une conduite plus confortable et plus sûre.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous décrivons SUMO, ainsi, les problèmes des systèmes de conduite non coopératifs, puis on a expliqué les étapes de l'approche proposée avec un exemple comparatif entre le modèle coopératif et le modèle non coopératif.

Chapitre 4

Chapitre 4 : Expérimentations et résultats

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une analyse détaillée d'une étude comparative entre le modèle coopératif proposé et le modèle non coopératif de Krauss[2].
notre étude est basé sur trois points de comparaison essentiels : l'action appliquée, la consommation carburant et l'émission de CO et CO2 .

4.2 Description de l'environnement de travail

Nous avons besoin de simuler notre modèle du suivi de véhicules, pour la simulation de notre système, nous avons choisi d'utiliser SUMO un simulateur microscopique du trac urbain.
SUMO un simulateur microscopique du trafic urbain, open source, proposé par le centre aérospatial allemand (DLR) en 2002, permet de développer et de simuler un système dans un environnement urbain et fournit une génération et un contrôle automatique de mobilité [1].
Pendant la génération de mobilités, la simulation est établie dans un environnement virtuel ou' chaque véhicule est caractérisé par :

- Un identifiant
- Une trajectoire que le véhicule doit parcourir.
- Le temps de départ
- Un ensemble des propriétés statiques et dynamiques (l'état, le type . . .)

• Les déférents modèles (pour modéliser le bruit émis et les échappements dégagés, un modèle de changement de voies, pour définir Un comportement) [36].

4.3 L'environnement de simulation

Nous présentons dans cette section l'environnement de simulation, précisément l'outil SiMMU. Afin de lancer une simulation et de conduire une étude comparative entre deux modèles différents, Nous avons besoin de configurer l'environnement de simulation. Pour cela, nous suivons les étapes suivantes après l'exécution de SiMMU (voir figure) :

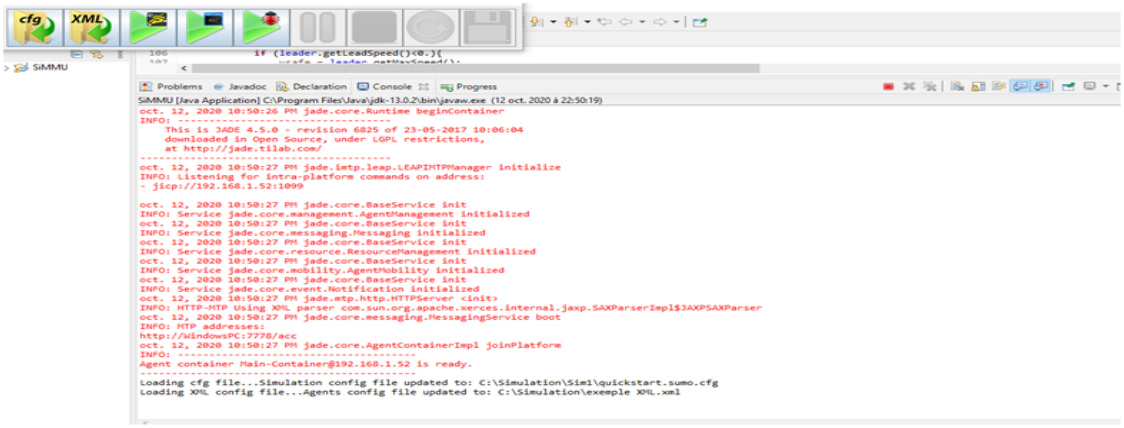

FIGURE 4.1 – L'environnement de simulation

• **Choix du fichier CFG :** ce fichier nous permet de choisir un scénario de simulation prédéfini. Ce scénario décrit le réseau routier, précisément la longueur de chaque section de la route, la vitesse maximale autorisée, etc. Le scénario de simulation définit aussi les caractéristiques des véhicules, notamment l'accélération maximale, la décélération maximale, la vitesse maximale, etc.

•**Choix du fichier XML :** Un fichier XML est chargé pour définir les paramètres de la simulation (voir la figure). En particulier, ce fichier définit dans la balise :

•CFM : le modèle, défini par le paramètre « Model », à implémenter par SiMMU pour contrôler la vitesse du véhicule ayant l'identifiant défini par le paramètre « id »,

•EMS : nous permet d'enregistrer les résultats des émissions et de la consommation d'énergie du véhicule ayant l'identifiant défini par le paramètre « id ».

FIGURE 4.2 – Choix de fichier XML

•**Choix du mode de simulation :** SiMMU nous permet d'exécuter la simulation en trois modes différents :

Console : permet d'exécuter la simulation en mode console. Ce mode est utilisé dans le cas où nous n'avons pas besoin d'afficher le réseau routier, ou si nous avons besoins d'accélérer la simulation et de réduire le temps,

Gui (mode graphique) : Ce mode nous permet d'afficher le réseau routier et de visualiser les détails de la simulation. Nous pouvons examiner dans ce mode l'état de toutes les entités de la simulation (ex. routes, voies, véhicules, feux tricolores, etc.)

Debug : utilisé pour le débogage,

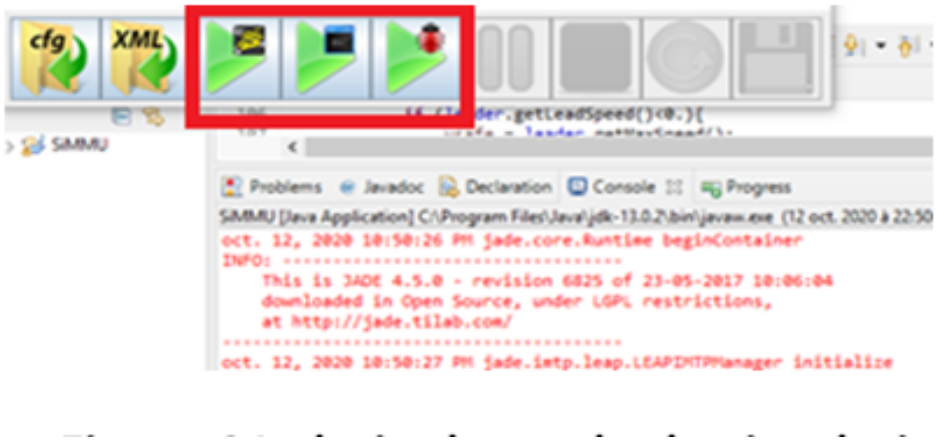

FIGURE 4.3 – Choix de mode de simulation

Durant l'exécution, l'état du véhicule contrôlé est affiché sur la console nous permettant

de l'examiner en temps réel. De plus, En exécutant la simulation en utilisant deux configurations différentes, une pour le modèle non coopératif, et une pour le modèle coopératif. Pendant l'exécution, pour chacune des deux configuration, l'état du véhicule contrôlé est affiché sur la console nous permettant de l'examiner en temps réel (voir Figure 4.4). Après la fin de la simulation de chaque configuration, l'état du véhicule contrôlé est enregistré dans un fichier Excel pour faire la comparaison contre l'autre configuration.

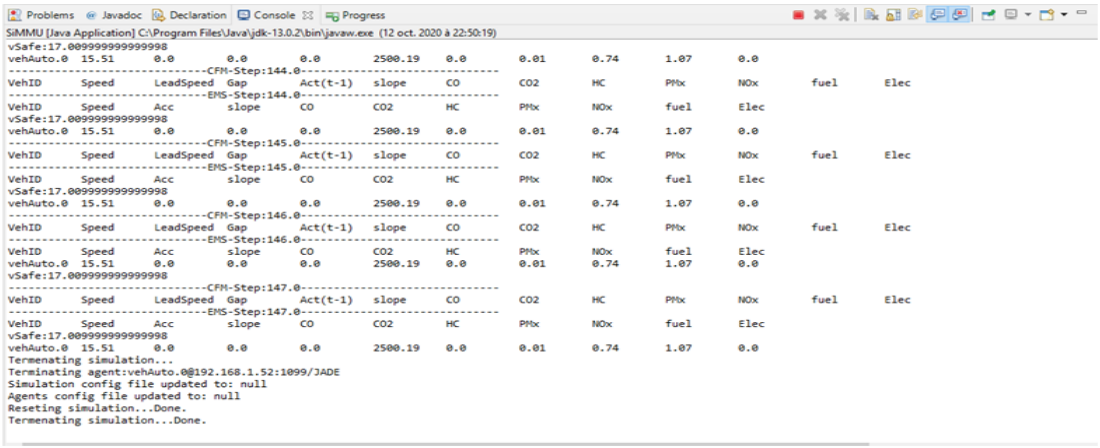

FIGURE 4.4 – Les résultats de l'état du véhicule contrôlé

4.4 Résultats et discussion de simulation

Dans cette section, nous présentons les résultats obtenus du contrôle de la vitesse du véhicule en utilisant deux approches différentes, l'approche traditionnelle et l'approche coopérative, et nous présentons également une analyse des impacts et des bénéfices de l'utilisation de l'approche coopérative. En fait, le comportement du contrôle de la vitesse affecte différents paramètres, mais nous nous concentrons dans cette étude sur les critères suivants :

L'action : afin d'analyser le comportement du modèle proposé, ou bien le comportement des autres modèles de suivi de véhicules, il convient de noter que l'action appliquée c'est le premier critère affecté par le comportement du modèle implémenté. En fait, à un instant donné, un modèle de suivi de véhicules applique une accélération, qui peut être positive ou négative, pour agir sur la vitesse et prévenir les collisions.

Les émissions : à un instant donné de la simulation, les émissions d'un véhicule sont définies en fonction de la vitesse du véhicule et par l'accélération appliquée. Par conséquent,

les émissions sont effectuées par le comportement du modèle de suivi de véhicules implémenté.

La consommation d'énergie : similaire aux émissions du véhicule, la consommation d'énergie est affectée par la vitesse et par l'action appliquée.à cette fin, la consommation d'énergie est aussi incluse dans l'analyse du comportement du modèle ainsi que dans la comparaison.

Nous présentons dans les figures suivantes, les résultats obtenus lors de la simulation en utilisant deux configurations différentes.

4.4.1 Analyse et comparaison

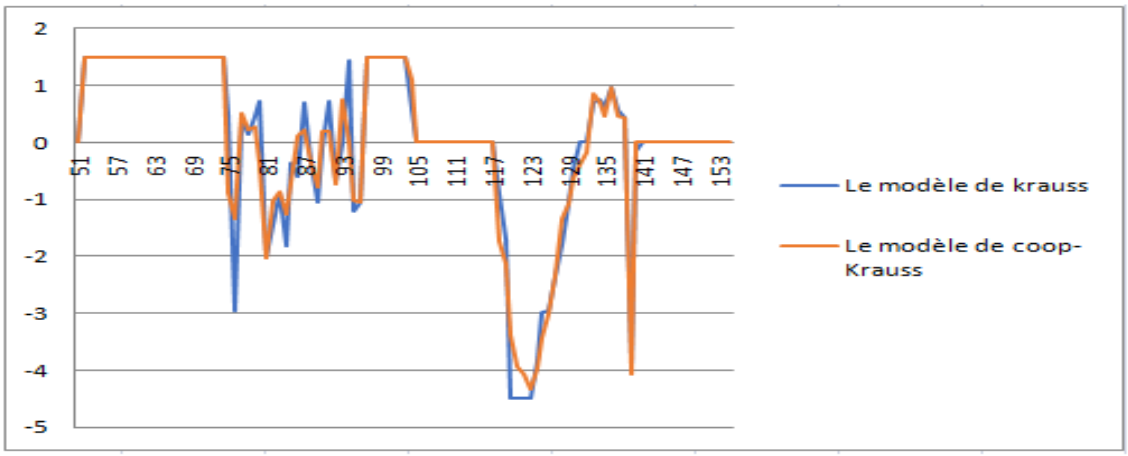

FIGURE 4.5 – Une comparaison de comportement dans deux approches différentes

Cette figure présente une comparaison de comportement du véhicule sous les différentes approches, l'approche traditionnelle et l'approche coopérative. La simulation de ce scénario a montré que la conduite avec le modèle coop-Krauss (l'approche coopérative)a aidé le véhicule à prendre des actions plus confortables et plus souples. L'action est dite confortable si la différence d'accélération entre l'instant t et $t + \Delta t$ est faible.

Le tableau suivant représente une comparaison détaillée des actions appliquées par les deux modèles utilisés à des instants différents :

L'instant t	Modèle de Krauss	Modèle de coop-Krauss
t=75	$a_i(t - \Delta t) = 1.5$ m/s	$a_i(t - \Delta t) = 1.5$ m/s
t=76	$a_i(t) =$ - 3 m/s	$a_i(t) =$ -1.4 m/s
t=77	$a_i(t + \Delta t) = 0.2$ m/s	$a_i(t + \Delta t) = 0.2$ m/s

TABLE 4.1 – Une comparaison détaillée des actions appliquées par les deux modèles.

Tanque le modèle coop-Krauss est basé sur la prédiction de $v_i(t + \Delta t)$ puis le calcul de la moyenne des deux actions pour éviter toute agressivité de conduite, donc selon l'équation (3) de modèle coop-Krauss l'action appliquée à l'instant test calculé comme suit :

$$a_{finale}(t) = \frac{a_i(t) + a_i(t + \Delta t)}{2} = \frac{-3 + 0.2}{2} = -1.4m/s$$

Chaque modèle du suivi de véhicules agit de façon différente sur la vitesse en vue d'atteindre et de maintenir une conduite non agressive, confortable, sure et sans collision. D'après les résultats obtenus, le modèle de Krauss a montré un comportement plus agressif à celui de modèle coop-Krauss. Plus que l'agressivité de la conduite affecte le confort de conduite et la sécurité routière, elle affecte également la consommation du carburant, ce que nous verrons dans la figure suivante :

4.4.2 La consommation de carburant

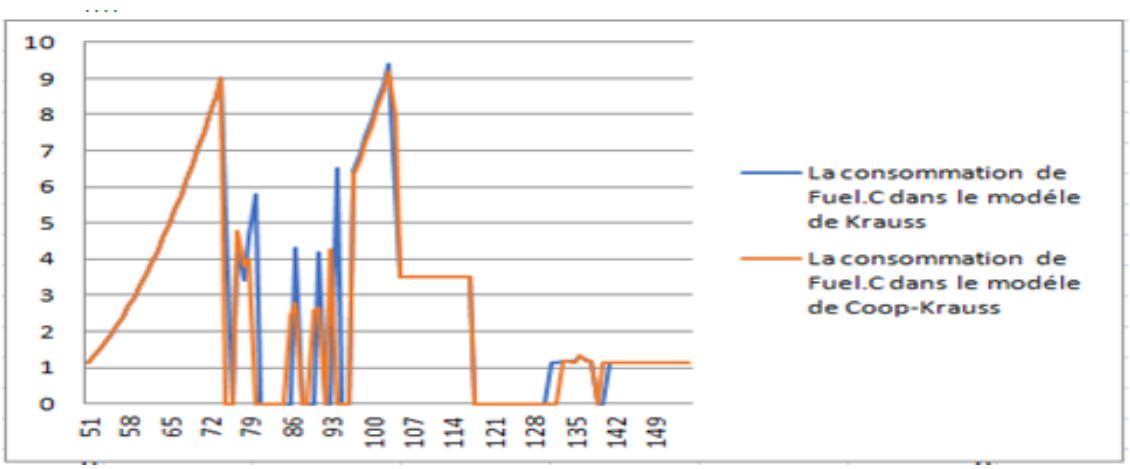

FIGURE 4.6 – La consommation de carburant par les deux modèles

Nous incluons dans la figure 4.7 la quantité de Carburant consommé par chaque

modèle. De plus, par rapport au modèle de Krauss, le modèle coop-Krauss a consommé moins de carburants pendant toute la durée du contrôle, précisément grâce à la prise en considération de l'état futur du trafic, autrement dit la prédiction. Ceci évite toute accélération inutile en exploitant les ressources et les informations des autres véhicules. la figure suivante présente une comparaison de consommation de carburant dans les différents modèles :

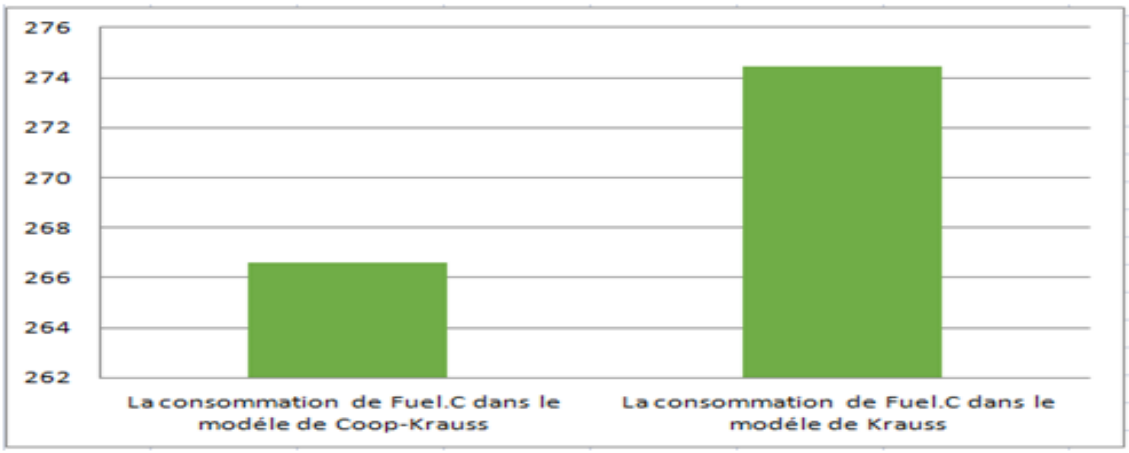

FIGURE 4.7 – La quantité carburant consommée par les deux modèles

En analysant la quantité du carburant consommée par le véhicule pendant la simulation, le modèle Coop-Krauss a consommé moins de carburants par rapport au modèle original de Krauss, notamment 267 mg/s contre 257 mg/s .Cette diminution de la consommation permet d'économiser plus d'argent, d'étendre la durée de vie du moteur.

4.4.3 Les émissions CO, CO2

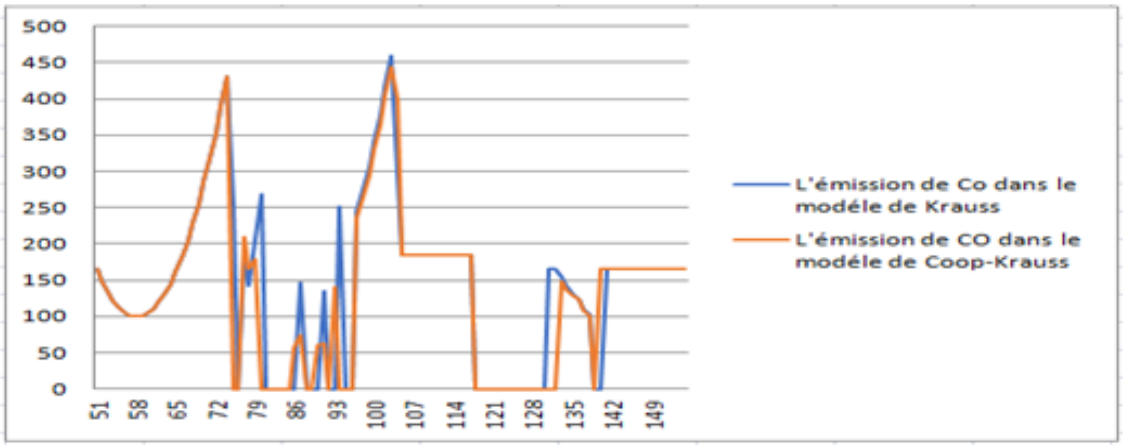

FIGURE 4.8 – La quantité de CO émise par les deux modèles

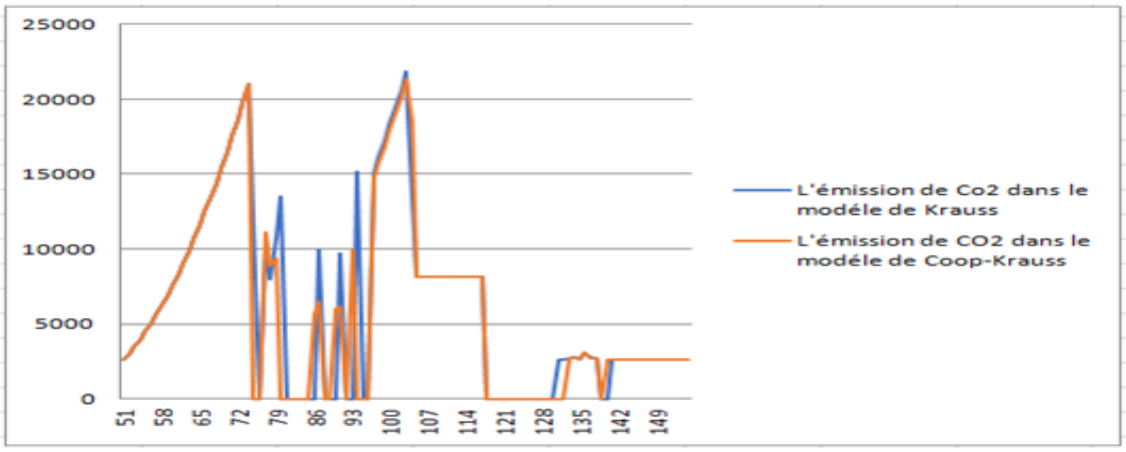

FIGURE 4.9 – La quantité de CO2 émise par les deux modèles

Nous examinant également dans cette comparaison la quantité des émissions émises par le véhicule, précisément les émissions de CO et CO2. Chaque modèle du suivi de véhicules agit de façon différente sur la vitesse et la consommation carburant, il affecte ainsi indirectement les émissions de CO2 et de CO2. Nous présentons dans la figure 4.10, la figure 4.11 une comparaison détaillée des émissions des deux modèles :

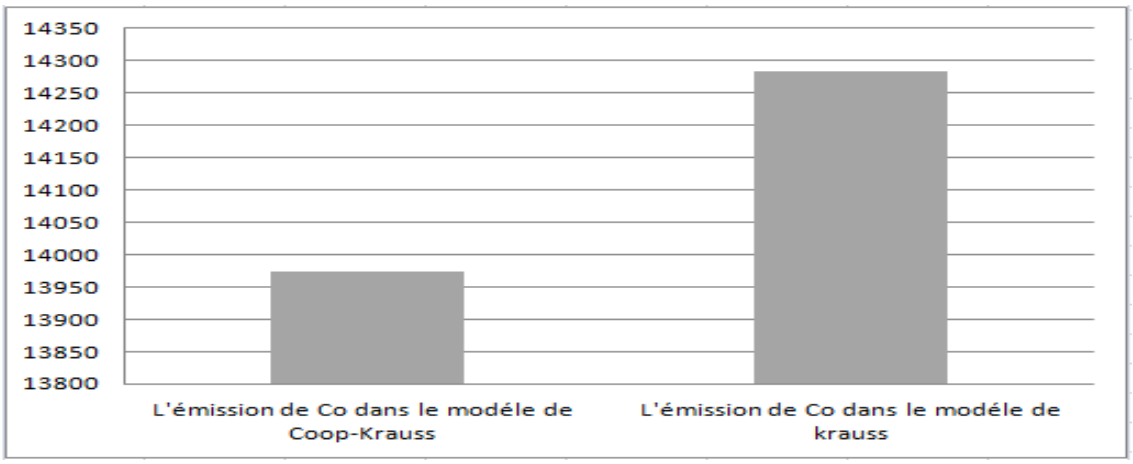

FIGURE 4.10 – La quantité total de CO-émise durant toute la période de contrôle

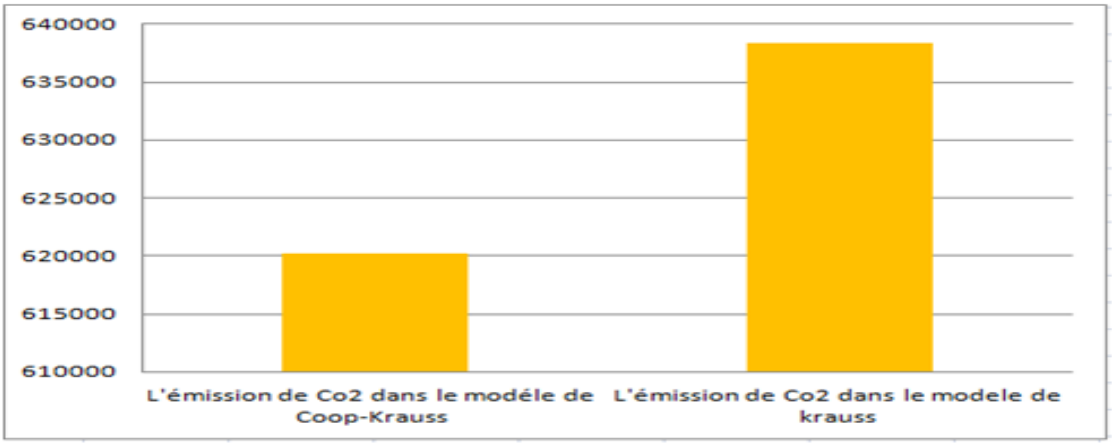

FIGURE 4.11 – La quantité total de CO2-émise durant toute la période de contrôle

Pendant le suivi du véhicule et par rapport au modèle de krauss , le modèle coop-Krauss a toujours maintenu des émissions plus petites , les émissions étaient comme suit : le modèle de Krauss (CO =14284mg/s,CO2= 620000 mg/s) , le modèle coop-Krauss(CO=13974 mg/s,CO2=6357000 mg/s).

4.4.4 Analyse comportementale

La vitesse à laquelle vous conduisez est l'un des facteurs clés pour obtenir une conduite confortable et sûre. La figure suivante représente la différence d'accélération entre le modèle Krauss et le modèle coop-Krauss.

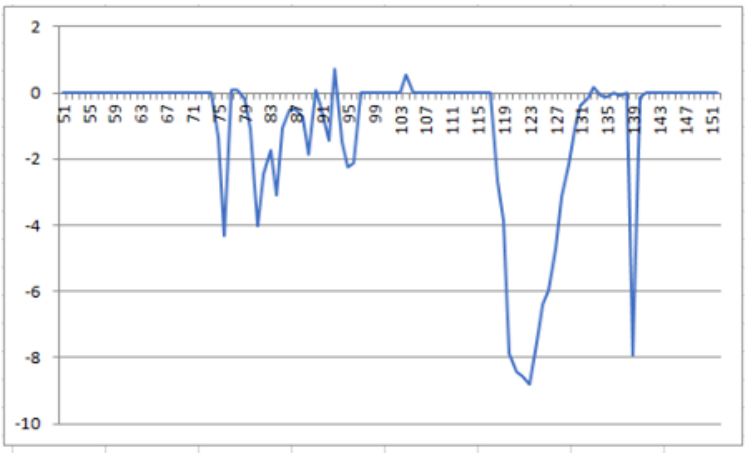

FIGURE 4.12 – Une comparaison comportementale du modèle proposé contre l'approche traditionnel

Pendant toute la période de simulation, l'accélération appliquée par le modèle de Krauss est toujours supérieure à celle du modèle de Coop-Krauss, ce que montre la figure suivante.

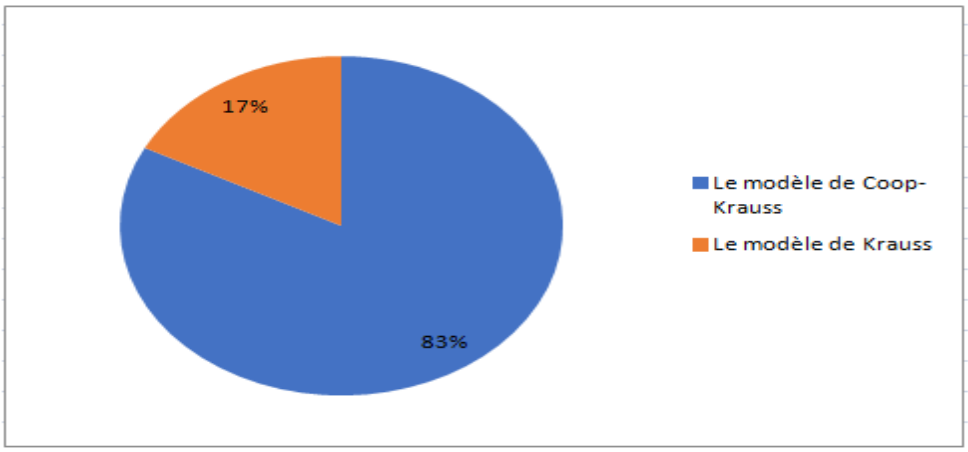

FIGURE 4.13 – taux d'obtention d'une conduite plus confortable

dans 150 étapes, 83% de la conduite confortable est produites par le modèle Coop-krauss puisque l'accélération appliquée par ce modèle est plus petite que celle du modèle krauss.

4.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré principalement à l'expérimentation et les résultats issus de l'approche que nous avons proposée. Dans ce sens nous avons fait une étude comparative entre le modèle de Krauss et le modèle coop-krauss.nous avons abordé Les étapes de simulation, Ensuite Les résultats de simulation,et la comparaison détaillé entre les deux modèles.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons proposé un nouveau un modèle du suivi de véhicules basé sur une approche prédictive coopérative, un modèle capable d'atteindre un contrôle longitudinal automatique et sans collision. Le modèle se base sur les contributions suivantes : la coopération inter-véhicule et la prédiction . Dans ce mémoire, plus précisément dans le chapitre 4 nous avons présenté une comparaison de deux modèles de suivi de véhicules (le modèle de Krauss [2] et le modèle proposé coop-Krauss) Les résultats montrent que l'absence de coopération a entrainé de nombreuses collisions, ainsi une conduite agressive affectant le confort et la sécurité de la conduite. D'autre part, grâce à la coopération, notre modèle a établi un contrôle longitudinal sans collision dans diverses conditions environnementales avec une conduite plus confortable et plus sûre, avec de meilleures restrictions énergétiques.

Perspectives

Dans nos prochains travaux de recherche, nous comptons optimiser la performance du modèle proposé comme suit :

• La prise en considération de l'hétérogénéité des véhicules (ex. des voitures, des buses et des camions) qui possèdent différentes caractéristiques.

• La prédiction de nombreux paramètres du trafic routier dont : les embouteillages, l'état des feux de circulation ...

• La décision d'accélération sera prise non seulement en fonction de l'état du véhicule leader, mais également en fonction de l'état des véhicules latéraux et des véhicules sur la même intersection

Bibliographie

1 : Daniel Krajzewicz, Jakob Erdmann, Michael Behrisch et Laura Bieker. Recent development and applications of SUMO Simulation of Urban MObility. International Journal On Advances in Systems and Measurements, vol. 5, no. 3 et 4, 2012.

2 : Krauß, S., Microscopic modeling of traffic flow : Investigation of collision free vehicle dynamics, in Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. 1998, Universitat zu Köln, Germany.

3.La mobilité n est plus pensée en terme de déplacement ,Jean-Pierre ORFEUIL (professeur d'aménagement à l'Université Paris-Est, spécialiste des mobilités urbaines)

4. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS AND INFORMATION PROCESSING May 1214, 2013, Guelma, Algeria Modélisation d'un réseau du trafic urbain par Automate hybride Bouriachi Fares, Kechida Sihem et ChemssEnnahar Bencheriet.

5.RAPPORT D'ÉTUDE : VOITURE AUTONOME et CONTRÔLE HUMAIN ANDRÉ DUFOUR,DÉCEMBRE 2017

6. EHCTLA. Système de transport intelligent et mobilité 3.0. octobre 2017

7. Balci O. Verication, validation, and certication of mo-deling and simulation applications : verication, validation, andcertication of modeling and simulation applications. In Proceedingsof the 35th conference on Winter simulation : driving innovation, pages 150158 Winter Simulation Conference. 2003.

8. Wooseok Do OMR, and Luis Miranda-Moreno. Simulation-Based Connected and Automated Vehicle Models on Highway Section. 2019.

9. Pellecuer L, et, Poteau S. COURS DE THEORIE DE LA CIRCULATION.

10. livre blanc d'Inria : Véhicules autonomes et connectés.

11. https ://static-course-assets.s3.amazonaws.com/I2IoT20/fr

12. ROXIN, I., BOUCHEREAU A., “Ecosystème de l’Internet des Objets”, dans Bouhaï N. et Saleh I., (dir.) “Internet des objets : Evolutions et Innovations ”, ISTE Editions Londres, Mai 2017.

13.Christophe Baland, Damien Cauquil, Thomas Gayet, Julia Juvigny, Renaud Lifchitz, Nha-Khanh Nguyen. La sécurité de l’Internet des Objets.Digital Security

14.Saleh, I., 2017. « Les enjeux et les défis de l’Internet des Objets (IdO) », revue Internet des objets 1.DOI :10.21494/ISTE.OP.2017.0133

15. https ://blog.naxoo.ch/tag/lora/

16. Michealj.McGrath et Cliodhna Ni Scanaill ,sensor technologies :health care : wirless and environmentalapllications ,Apress open, 336 Pages 26 Décembre 2013

17. Mémoire de fin d’étude Master en Informatique , Thème L’utilisation de N-Version de programmation pour la prise en charge des fautes dans un environnement IoT ,Présenté par : Hadjadj Walid

18. Zeinab Kamal Aldein Mohammed, Elmustafa Sayed Ali Ahmed.(2017). Internet of Things Applications, Challenges and Related Future Technologies. WSN 67(2) 126-148

19 .https ://news.autojournal.fr/news/1509942/voiture-connect%C3%A9e-voiture-autonome-technologie-donn%C3%A9es-innovation

20. Architectures et Protocoles des Réseaux Chapitre 11 - Les réseaux véhiculaires Claude Duvallet Université du Havre UFR Sciences et Techniques 25 rue Philippe Lebon - BP 540 76058 LE HAVRE CEDEX

21 .https ://www.digora.com/fr/blog/definition-iot-et-strategie-iot

22 .https ://www.annabac.com/annales-bac/les-ondes-au-service-de-la-voiture-du-futur

23. livre blanc : « Véhicules autonomes et connectés Les défis actuels et les voies de recherche » ,par FawziNashashibi

24 . «INTEMPORA,» [En ligne]. Available : https ://intempora.com

25. Magne Setnes RBHBVR-, . based modeling : Precision and transparency. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews),. 1998. , vol. 28, no. 1, pages 165169,.

26. H Van Dyke Parunak RSRLR. Agent-based modeling vs. equation-based modeling : A case study and users’ guide. In International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation,. 1998 ;. pages 1025. Springer, Berlin, Heidelberg,.

27. Bonabeau E. . Agent-based modeling : Methods and techniques for simulating human systems. Proceedings of the National Academy of Sciences,. 2002 ;vol. 99, no. suppl 3, pages 72807287).

28. Junqing Wei JMS, Tianyu Gu, John M Dolan et, Litkouhi. B. A behavioral planning framework for auto-nomous driving. In 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, . 2014 :pages 45864. IEEE).

29. Rachid Attia ROMB. Combined longi- tudinal and lateral control for automated vehicle guidance. Vehicle System Dynamics,. 2014 ;vol. 52, no. 2, pages 261279).

30. Rajesh Rajamani H-ST, Boon Kait Law et Wei-Bin, Zhang. Demonstration of integrated longitudinal and lateral control for the operation of automated vehicles in platoons. IEEE Transactions on Control Systems Technology,. 200 ; vol. 8, no. 4, pages 695708).

31. Erdmann. J. Lane-changing model in SUMO. Proceedings of the SUMO2014 modeling mobility with open data. 2014 ;, vol. 24, pages 7788).

32. A. Kesting MT, M. Sch¨onhof, and D. Helbing. , "Adaptive cruise control design for active congestion avoidance," Transportation Research Part C : Emerging Technologies, vol. 16, no. 6, pp. 668–683. 2008.

33. D. Milakis BVA, and B. Vanwee, . "Policy and society related implications of automated driving : A review of literature and directions for future research," Journal of Intelligent Transportation Systems : Technology, Planning, and Operations, vol. 21, no. 4, pp. 324–348. 2017.

34. E. Aria JO, and C. Schwietering, . "Investigation of automated vehicle effects on driver's behavior and traffic performance," Transportation Research Procedia, vol. 15, pp. 761–770, . 2016.

35 .Y. Liu JG, J. Taplin, and Y. Wang, . "Characteristic analysis of mixed traffic flow of regular and autonomous vehicles using cellular automata," Journal of Advanced Transportation, vol. 2017, Article ID 8142074, 10 pages, . 2017.

36. messaoudi DO. Doctorat 3ème cycle LMD en Informatique Option : Systèmes et Réseaux Informatiques HVI-MAS : Une approche multi-agent pour systèmes d'interaction homme-véhicules. 2018.

37. Journal Article Barcel, J., et al., Microscopic traffic simulation : A tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2005. 41(2-3) : p. 173-203.

38. Transportation. WP THCMCDo, seen AfhwdcghtomwmhL, 2014. ioAo.

39 . Pipes.. LA. An operational analysis of trafic dynamics. Journal of applied physics,. vol. 24, :no. 3, pages 27481, 1953.

40 . Helbing. D. Trafic and related self-driven many-particle sys-tems. Reviews of modern physics. 2001 ;, vol. 73, no. 4, :, page 1067, .

41 . PeterWagner. NE. Efects of anticipatory driving in a trafic ow model. The European Physical Journal B Condensed Matter and Complex Systems., vol. 33, no. 1, pages 121

42. Martin Treiber AHDHCt. c states in empirical observations and microscopic simulations. Physical review E, .vol. 62, no. 2, page 1805, 2000.s.

43 . Martin Treiber et Dirk Helbing. . Memory efects in microscopic trafic models and wide scattering in owdensity data. Physical Review E. 2003 ; vol. 68, no. 4, page 046119.

44. Xiao mei Zhao et Zi you Gao.vol. 47. A new car following model : full velocity and acceleration dierence model. The European Physical Journal B Condensed Matter and Complex Systems, .no. 1, pages 145150, 2005.

45 . Zheng. MSZ. Incorporating human-factors in car-following models : a review of recent developments and research needs. Transportation research part C : emerging technologies, . 2014 ;vol. 48, pages 379403, .

46. L. Greer JLF, D. Hicks, M. Mercer, and K. Thompson. Intelligent Transportation Systems Benefits, Costs, And Lessons Learned : 2018 Update Report. United States. Dept. of Transportation. ITS Joint Program Office ;. 2018.

47 . S. E. Shladover DS, and X.-Y. Lu. Impacts of cooperative adaptive cruise control on freeway traffic flow," Transportation Research Record, vol. 2324, no. 1, pp. 63–70,. 2012.

48. Shafer DARaSA. "A computational model of driving for autonomous vehicles," Transportation Research Part A : Policy and Practice, vol. 27, no. 1, pp. 23–50,. 1993.

49. Jia DaN, D. Enhanced cooperative car-following traffic model with the combination of V2V and V2I communication. 2016.

50. Anaya, J.J. ; Talavera, E. ; Jimenez, F. ; Zato, J.G. ; Gomez, N. ; Naranjo, J.E. Geo-Networking based V2V Mesh Communications over WSN. In Proceedings of the 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), The Hague, The Netherlands, 6–9 October 2013 ; pp. 2421–2426.

51. Kesting A, Treiber, M., Helbing, D. Connectivity statistics of store-and-forward inter-vehicle communication. 2010b.

52 . Jurgen RVVVICfIRSaESW, PA, USA, 2012 ;, i–viii p.

53 . Rahman KAT, K.E. Towards a cross-layer based MAC for smooth V2V and V2I communications for, Vehicles saiDWbsIPotII, Symposium Proceedings D, MI, USA, 8–11 June 2014 ; pp. 969–973.

54. Mohamed Zayed. Véhicules Intelligents : Etude et développement d'un capteur intelligent de vision pour l'attelage virtuel. Université des Sciences et Technologie de Lille - Lille I, 2005.