



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 : ingénierie des systèmes d'information et du logiciel

Thème

Modélisation microscopique et simulation de système de
contrôle de vitesse d'un véhicule connecté et autonome

Encadré par

— Dr. Messaoudi Oussama

Réalisé par

— DAI HOCINE

— Ferradji Massinissa

2020/2021

Résumé

La connectivité permet à toutes les parties impliquées dans un réseau d'étendre leur portée et d'exploiter d'autres ressources impossibles à acquérir ailleurs. Pour cette raison, les véhicules connectés et autonomes (CAVs) sont considérés comme plus capables de fournir des conduites sans collision et entièrement autonomes. Cependant, l'infrastructure actuelle n'est pas encore prête pour soutenir à déployer une telle technologie. Pendant ce temps, tester cette technologie grâce à la modélisation et à la simulation, il est plus facile de prévoir ses inconvénients avant le déploiement. L'objectif principal de ce thème est de modéliser les interactions entre les véhicules autonomes et connectés (CAVs) et souligner les avantages et les limites possibles de l'adoption de la connectivité par l'industrie automobile.

Mots clés : Véhicules connectés et autonomes ...

Abstract

Connectivity allows all involved parts in a network to extend their reach and exploit other resources that would be impossible to acquire elsewhere. For this reason, connected and autonomous vehicles (CAVs) are considered more capable to provide safer, more efficient, collision-free and fully autonomous driving. However, the current infrastructure is not yet ready to support the deployment of such technology. Meanwhile, testing this technology through modeling and simulation is easier to foresee its drawbacks before deployment. The main aim of this topic is to model the interactions between connected and autonomous vehicles, and emphasize the possible benefits and limitations of adopting connectivity by the automotive industry.

Key words : Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) ...

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 encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail

À l'âme de mon père que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

À ma chère mère qui ma doté d'une éducation digne.

À ma chérie, ma femme qui est toujours à mes cotés.

À ma chère fille aînée Mirale, mon premier bonheur dans la vie.

À mon adorable fille Tania, mon deuxième bonheur dans ma vie.

À mon cher fils Nassim, mon petit guerrier.

À notre encadreur Dr. Messaoudi Oussama.

À toute ma famille et mes amis, de proche et de loin.

À mon binôme, cher petit frère Massi et sa famille.

Hocine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À l'âme de mon très cher père que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

À ma mère adorée, ma précieuse offre du dieu, cette brave femme qui doit ma vie et qui est toujours là pour moi avec son amour et son soutien pour ma réussite dans la vie, que dieu me la garde.

À ma chère et unique petite sœur, Anita.

À notre encadreur Dr. Messaoudi Oussama, qui nous a guidé avec ses précieux conseils durant notre travail.

À toute ma famille et mon entourage.

À mes amis, avec qui j'ai partagé beaucoup de moments drôles et amusants.

À mon binôme, Hocine et sa famille.

Massinissa

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	v
Liste des tableaux	vii
Liste des abréviations	viii
Introduction générale	1
1 Intelligence artificielle	3
1.1 Introduction	3
1.1.1 Historique	3
1.1.2 Définition de l'intelligence artificielle	3
1.2 IA Faible vs IA Forte	4
1.2.1 IA Faible	4
1.2.2 IA Forte	5
1.3 Les types et les avantages et inconvénients de L'IA	5
1.3.1 Les types de L'IA	6
1.3.2 Les avantages de L'IA	7
1.3.3 Les inconvénients de L'IA	7
1.4 Les objectifs et les caractéristiques de L'IA	8
1.4.1 Les objectifs de L'IA	8
1.4.2 Les caractéristiques de L'IA	9
1.5 Les domaines d'application de l'IA	9

1.6	Agents intelligents	13
1.6.1	L'agent intelligent et son rôle	13
1.6.2	Les types d'agent	14
1.6.3	Fonctions et programmes d'agent	16
1.6.4	Environnement de la tâche	16
1.7	Conclusion	18
2	Les véhicules autonomes et connectés	19
2.1	Introduction	19
2.2	Classification des vues sur le contrôle de voiture	19
2.2.1	Axe horizontal : Le véhicule	20
2.2.1.1	La vue centrée véhicule	20
2.2.1.2	La vue centrée réseau	20
2.2.1.3	La vue centrée utilisateur	20
2.2.2	Axe verticale : Les applications	21
2.3	Internet des objets (Internet of things)	21
2.4	Véhicule autonome et connecté	22
2.4.1	Définition	22
2.4.2	Types de communications des véhicules	23
2.4.2.1	V2V : Vehicle To Vehicle	23
2.4.2.2	V2I : Vehicle to Infrastructure	24
2.4.2.3	V2N : Vehicle to Network	24
2.4.3	Types de véhicules autonomes	25
2.4.3.1	Régulateur de vitesse adaptatif	25
2.4.3.2	Régulateur de vitesse adaptatif et coopératif	25
2.4.3.3	Véhicule automatisé : AV	26
2.4.3.4	Véhicule autonome et connecté : CAV	26
2.4.4	La relation du véhicule autonome avec son environnement	26
2.4.5	L'intelligence du véhicule connecté et autonome	27
2.5	La sécurité des communications des véhicules autonomes	28
2.6	Les nouveaux besoins de la mobilité : des enjeux économiques, sociaux et environnementaux	29
2.7	Quelques modèles de conduite coopératifs	30

2.8	Conclusion	34
3	Proposition d'un modèle de contrôle de vitesse coopératif	35
3.1	Introduction	35
3.2	Approche proposée	37
3.2.1	Objectif	37
3.2.2	Définition de la distance de sécurité	37
3.2.3	Approche humaine (Logique)	39
3.3	Projection et démonstration	40
3.3.1	Pseudo code (Solution sans prise en charge la coopération)	40
3.3.2	Démonstration de la formule 1 (freinage exceptionnel)	42
3.4	La coopération	43
3.4.1	Solution proposée	43
3.4.2	Logique	43
3.4.3	Intégration de la solution dans l'ancien pseudo code	45
3.5	Implémentation	48
3.6	Conclusion	50
4	Expérimentations et analyses des résultats	51
4.1	Introduction	51
4.2	Présentation de l'environnement de la simulation	51
4.3	Résultats et discussion de simulation	55
4.3.1	1er Scénario : Scénario circulaire avec un seul véhicule leader	56
4.3.1.1	Analyse des résultats du modèle non coopératif "ModelM2"	57
4.3.1.2	Comparaison entre le modèle non coopératif "ModelM2" avec les approches "IDM" et "Krauss"	61
4.3.1.3	Analyse des résultats du modèle coopératif "CoopModelM2"	64
4.3.2	2ème Scénario : la ville avec plusieurs véhicules	67
4.3.2.1	Comparaison des vitesses	68
4.3.2.2	Comparaison des accélérations	69
4.3.2.3	Comparaison des distances	69
4.4	Conclusion	71
	Conclusion générale et perspectives	72

Bibliographie

72

Table des figures

1.1	Evolution de L'IA depuis les années 1960 [3].	4
1.2	Exemple d'un véhicule autonome.	6
1.3	Le Remplacement des humains par des robots.	8
1.4	Les domaines d'application de l'intelligence artificielle [13].	9
1.5	L'IA et l'aide pour un meilleur diagnostic médical.	10
1.6	L'évolution des chatbot depuis 1966 [16].	11
1.7	Les différents niveaux de l'impact du véhicule autonome sur la mobilité propre [17].	12
1.8	Exemple d'environnement de simulation sous l'UDK (unreal development kit) [19].	13
1.9	Le fonctionnement d'un agent intelligent [20].	13
1.10	Exemple d'un agent intelligent - le cas d'un agent aspirateur [20].	14
1.11	Le fonctionnement d'un agent réflexe simple [22].	15
1.12	Le fonctionnement d'un agent apprenant [22].	16
2.1	Les étapes de la mise en place de l'internet des objets [24].	22
2.2	Les différents composants d'un véhicule connecté et autonome [25].	23
2.3	V2V and V2I communications.	25
2.4	Les différents capteurs d'un véhicule autonome et connecté (CAV) [26].	27
2.5	Quelques modèles de conduite existants [32][33].	33
3.1	Les paramètres du modèle de contrôle de vitesse.	36
3.2	Simulation du Scénario de contrôle de vitesse.	38
3.3	Un extrait de la classe JAVA "ModelM2" représentant le modèle non coopératif.	49

3.4	Un extrait de la classe JAVA "CoopModelM2" représentant le modèle coopératif.	50
4.1	L'environnement de simulation.	52
4.2	Choix du fichier XML.	53
4.3	Choix du mode de la simulation.	53
4.4	Les résultats de la simulation.	54
4.5	La procédure d'export des résultats vers un fichier excel.	55
4.6	Une comparaison de vitesses entre le véhicule leader et le véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2".	58
4.7	L'accélération du véhicule leader et du véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2".	59
4.8	La distance entre le véhicule autonome et le véhicule leader dans le modèle non coopératif "ModelM2".	60
4.9	Les vitesses des véhicules autonomes dans le modèle non coopératif "ModelM2" et les approches "IDM" et "Krauss".	61
4.10	Les accélérations des véhicules autonomes dans le Modèle non coopératif "ModelM2" et les approches "IDM" et "Krauss".	62
4.11	Le changement des distances dans les modèles "ModelM2" "IDM" et "Krauss".	63
4.12	La vitesse du véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2" et le modèle coopératif "CoopModelM2".	64
4.13	L'accélération du véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2" et le modèle coopératif "CoopModelM2".	65
4.14	La variation de distance dans le modèle non coopératif "ModelM2" et le modèle coopératif "CoopModelM2".	66
4.15	La variation des vitesses du véhicule autonome et leader dans le modèle coopératif et le modèle non coopératif.	68
4.16	La variation d'accélération du véhicule autonome dans le modèle coopératif et le modèle non coopératif.	69
4.17	La variation des distances dans le modèle coopératif et le modèle non coopératif.	70

Liste des tableaux

- 1.1 Une comparaison entre L'IA et le Robot. 9
- 1.2 Tabulation de la fonction d'agent - le cas d'un agent aspirateur [20]. 14

- 3.1 Les résultats des différents paramètres d'accélération par application de la coopération. 45

- 4.1 Les actions du véhicule leader en fonction du temps. 56

Liste des abréviations

IA : Intelligence artificielle
CAV : Connected and automated Vehicle
ML : Machine-Learning
V2V : Vehicle To Vehicle
V2I : Vehicle To Infrastructure
V2X : Vehicle To X Communication
IDAS : Système d'assistance à la conduite intelligente
IHM : Interface Homme-Machine
IDM : Intelligent driver model
CC : Système de régulateur de vitesse
ACC : Système de régulateur de vitesse adaptatif
CACC : Système de régulateur de vitesse adaptatif et coopératif
UDK : Unreal developement kit
IP : Internet Protocol
IoT : Internet of things
DSRC : Communications dédiées à courte durée
AV : Automated Vehicle
VLC : Visible Light Communication
ISO : International Organization for Standardization
FCC : Federal Communication Commission
LTE : Long Term Evolution
USDOT : United States Department of Transportation
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

Introduction générale

Avec l'avancement du système d'assistance à la conduite intelligente (IDAS), les automobilistes sont de moins en moins nécessaires pour effectuer des tâches de conduite simples. IDAS est un système de régulateur de vitesse (CC), et cela évolue vers un régulateur de vitesse adaptatif (ACC) et système de régulateur de vitesse adaptatif et coopératif (CACC). Ces systèmes aident principalement à un contrôle d'accélération pour les mouvements longitudinaux basés sur la distance de l'écart et la différence de vitesse entre les véhicules actuels. En attendant, les véhicules automatisés et connectés (CAV) attirent de plus en plus l'attention accompagnés d'énormes investissements de la part du secteur de l'automobile. Les véhicules autonomes (automatisés) pourraient jouer un rôle dans le futur système de transport. Depuis ce révolutionnaire Le concept a été introduit pour la première fois dans les années 1920, la technologie CAV a considérablement évolué au cours des dernières décennies. Malgré l'incertitude quant au moment où les technologies CAV seront accessibles au public, ils auront probablement d'énormes impacts sur nos systèmes de transport au cours des prochaines décennies. Depuis avril 2009, les voitures autonomes de Google (Waymo) ont parcouru plus de huit millions de miles en utilisant une variété de plates-formes. De nombreux fabricants, y compris Audi, BMW, Cadillac, Ford, GM, Mercedes-Benz, Nissan, Toyota, Volkswagen et Volvo - ont commencé à tester des véhicules automatisés, et ils visent à vendre ces véhicules d'ici 2025 . Cependant des véhicules partiellement automatisés sont désormais disponibles. Les modèles actuels sont équipés de l'ACC, de la prévention des collisions, systèmes d'aide au stationnement et fonctions d'avertissement de sortie de voie. Les chercheurs reconnaissent que le développement des CAV générera des changements significatifs dans notre vie quotidienne et notre société dans son ensemble. Pour estimer les impacts des CAV, la grande majorité des chercheurs

ont mené une analyse basée sur la simulation parce que les données réelles sur le terrain sur les performances du CAV sont limitées et de nombreuses études traitent ce marché, ce qui est hypothétique, loin de la réalité actuelle. Il est essentiel de comprendre les impacts des CAV au début de leur développement pour éviter des erreurs avant leur mise en œuvre généralisée. Nous pouvons globalement catégoriser les études basées sur la simulation en des modèles micro et macro selon une échelle de réseau et modèles fondamentaux de la simulation. La plupart des micro études basées sur la simulation examinées dans cette thèse développent leurs propres modèles de suivi de voiture ACC, CACC, AV ou CAV pour estimer les impacts de ces véhicules intelligents [1].

Ce document sera organisé comme suit :

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

- Le chapitre 1 : dans ce chapitre nous allons présenter une étude détaillée en ce qui concerne l'intelligence artificielle et les agents intelligents.
- Le chapitre 2 : sera basé sur les systèmes des véhicules autonomes et connectés avec quelques modèles de conduite coopératifs comme le modèle de krauB et IDM.
- Le chapitre 3 : c'est la partie de notre travail qui consiste à proposer notre approche de simulation de contrôle de vitesse d'un véhicule connecté et autonome Pour assurer une conduite sans collision tout en respectant les mesures de sécurité et de confort.
- Le chapitre 4 : qui fera l'objet des expérimentations et l'analyse et la présentation des résultats de la simulation.

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.

Intelligence artificielle

1.1 Introduction

1.1.1 Historique

Historiquement, le terme IA remonte à l'informaticien américain John McCarthy, qui en 1956 a invité des chercheurs de diverses disciplines à un atelier intitulé « Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence ». L'intelligence artificielle est omniprésente. Que ce soit dans les assistants vocaux, les chatbots, l'analyse de texte sémantique, les services de streaming, les usines intelligentes ou les véhicules autonomes. L'IA changera la façon dont nous façonnons notre vie quotidienne professionnelle et privée ainsi que notre façon de faire des affaires et de vivre ensemble en tant que société. Les politiciens déclarent également que l'IA est une condition fondamentale de notre prospérité future [2].

1.1.2 Définition de l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle est l'utilisation d'une série de techniques qui permet aux machines de percevoir leur environnement de manière similaire aux humains, de comprendre des situations et de prendre des mesures autonomes afin d'atteindre des objectifs définis. Ces systèmes apprennent et agissent sur la base de la connaissance des règles d'experts ou de modèles statistiques dérivés de données (machine learning ou deep learning). L'IA peut contenir à la fois des systèmes logiciels purs qui définissent des actions dans des environnements virtuels, mais également du matériel comme des robots [4].

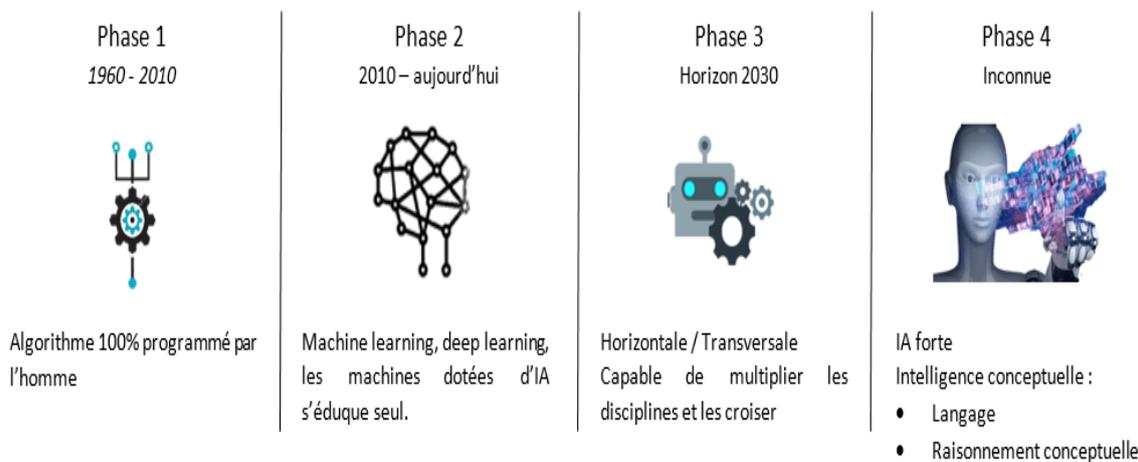


FIGURE 1.1 – Evolution de L’IA depuis les années 1960 [3].

1.2 IA Faible vs IA Forte

Il existe deux formes de l’intelligence artificielle : IA faible et IA forte, nous allons expliquer chacune de ces formes avec quelques exemples.

1.2.1 IA Faible

L’intelligence artificielle « faible » est la plus répandue à l’heure actuelle. Elle vise à imiter le comportement préétabli qu’aurait eu un être humain face à une situation donnée. Le terme « faible » est employé, car ce type d’intelligence artificielle n’agit que de façon binaire en fonction de la manière dont elle a été programmée. S’il se passe ceci alors, je fais cela. L’éventualité et le dépourvu ne peuvent être pris en compte. Pour cette raison, les IA « faibles » n’évoluent généralement pas dans le temps et sont très spécifiques à leur domaine d’application.

Un bon exemple est le site Akinator qui, après un certain nombre de questions, est en mesure de deviner la personne ou l’objet à laquelle l’utilisateur est en train de penser. De manière simple, le fonctionnement repose sur une importante base de données répertoriant les caractéristiques d’un grand nombre de personnalités et objets. Les questions permettent d’éliminer des possibilités jusqu’à ce qu’il n’en reste plus qu’une [5].

1.2.2 IA Forte

La définition de l'intelligence artificielle forte correspond à une intelligence pouvant remplacer intégralement l'étendue de l'intelligence humaine, dans toute sa complexité. Cette approche universelle d'un homme-machine existe depuis longtemps, mais demeure un fantasme de nos jours.

Plusieurs dimensions de l'intelligence appartiennent à l'intelligence artificielle forte : parmi elles on compte les intelligences cognitives, psychomotrices, sociales et émotionnelles. La plupart des programmes contemporains intégrant l'IA font essentiellement appel à l'intelligence cognitive : logique, organisation, résolution de problèmes, autonomie ou formation d'une perspective individuelle.

Le postulat de l'IA forte est que l'intelligence artificielle pourrait développer une conscience autonome et une volonté propre. Avec cet objectif à long terme, les recherches sur l'IA rejoignent le terrain de la philosophie et soulèvent plusieurs questions éthiques et légales. Certains théoriciens du droit estiment déjà que les êtres doués d'intelligence artificielle devraient également être soumis aux lois juridiques encadrant l'humanité. Mais la question des compétences juridiques des machines intelligentes est toujours discutée.

Aucune IA répondant à l'ensemble de ses critères n'existe à ce jour, mais les recherches ont déjà apporté des résultats satisfaisants. Un exemple connu est le robot NAO ayant été en mesure de comprendre par lui-même qu'il était doté de la parole. Si cette prouesse semble dérisoire, elle constitue un important pas dans la conscience robotique. Par ailleurs, le secteur ayant bénéficié des avancées les plus prometteuses est sans doute celui de l'apprentissage [6].

1.3 Les types et les avantages et inconvénients de L'IA

L'IA possède des types et présente des avantages et des inconvénients que nous allons discuter dans cette section.

1.3.1 Les types de L'IA

Il existe 4 types de l'intelligence artificielle mentionnés ci dessous :

- **La réactivité** : C'est le premier cercle de machines artificiellement intelligentes. Les machines et les systèmes basés sur ce type d'IA n'ont ni concept du passé, ni données historiques et inférences de celui-ci, ni capacité à concevoir un futur. De telles machines travaillent sur le présent, un scénario ou une tâche qui se trouve juste devant elles.

- **La théorie de l'esprit** : C'est plus sur les livres et les films de science-fiction. Nous parlons ici des systèmes artificiellement intelligents et avancés qui peuvent percevoir le concept d'émotions et de personnes et modifier leur comportement en conséquence. Nous pouvons reconnaître nos mouvements du visage et des yeux et modifier leurs actes en conséquence.

- **La mémoire limitée** : La mémoire dans de tels systèmes est de courte durée.

De tels systèmes peuvent revenir à leur passé pendant une courte période et d'en apprendre.

Le concept est magnifiquement intégré dans les voitures autonomes, où les capteurs détectent les cas de passage pour piétons, les mauvaises conditions routières, la météo, le véhicule entrant.

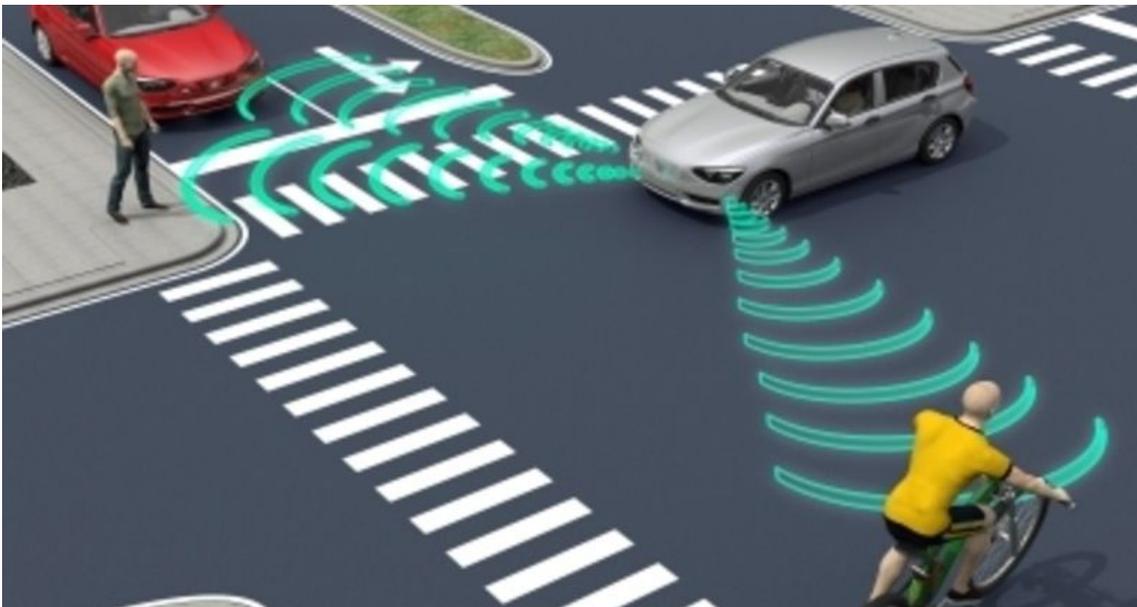


FIGURE 1.2 – Exemple d'un véhicule autonome.

- **L'auto conscience** : Ce type d'intelligence artificielle a le potentiel pour une application dans le monde réel.

L'intelligence artificielle consciente de soi est une extension de la classe théorie de l'esprit. Dans ce type d'intelligence artificielle, les machines ou les robots sont conscients de ce qu'ils sont, comprennent leurs traits, états et conditions internes et perçoivent même les émotions humaines [7][8].

1.3.2 Les avantages de L'IA

L'IA comporte plusieurs avantages parmi lesquels on trouve :

- L'intelligence artificielle limite le risque d'erreurs humaines, elle serait donc capable de corriger voir même de remplacer l'homme, Le remplacer dans des métiers à risques comme pompier ou militaire, lui évite ainsi les travaux trop durs et pénibles.
- L'IA pourrait aussi être un gain de temps et d'argent dans les entreprises ou elle remplacerait les employés qui ont des travaux à répétition.
- Elle peut apporter une grande précision lors d'interventions médicales.
- L'apprentissage pourrait aussi être bien plus rapide.
- L'intelligence artificielle permet aussi une analyse plus objective et critique des données [9].

1.3.3 Les inconvénients de L'IA

L'IA peut apporter quelques inconvénients aussi dont nous citons les principaux d'entre eux :

- L'inconvénient le plus envisageable est la présence d'une erreur dans la programmation d'un robot, ce qui pourrait être fatal au bon fonctionnement de celui-ci. Cet inconvénient est présent dans tous les domaines sans exceptions, les ordinateurs (ou autres robots, bras mécaniques, robots domestiques, véhicules intelligents...), ne savent pas déceler les erreurs de programmation. Les conséquences d'une telle erreur pourraient être catastrophiques à grande échelle, néanmoins le risque que cela se produise reste très faible.
- Dans les entreprises notamment, l'IA et les nouveaux robots mécanisés entraînent des suppressions de poste. En effet l'homme est de plus en plus remplacé par la machine, car celle-ci ne se fatigue pas et n'a pas de besoins essentiels si ce n'est qu'une maintenance de temps en temps, ainsi cela fait augmenter le taux de chômage déjà élevés. Les entreprises possédant ces nouveaux robots, en deviennent principalement dépendantes, elles font en

sorte que les machines répondent aux besoins de l'entreprise et donc ils ne font plus rien par eux-mêmes.

- Le prix des recherches pour l'IA est très élevé, si l'on veut fabriquer des robots capables d'être autonomes dans la vie quotidienne, cela coûterait extrêmement cher, ce qui pour le moment limiterait les recherches [10].



FIGURE 1.3 – Le Remplacement des humains par des robots.

1.4 Les objectifs et les caractéristiques de L'IA

Dans cette section nous parlerons des objectifs et les différents traits qui caractérisent l'IA.

1.4.1 Les objectifs de L'IA

L'IA visa à atteindre plusieurs objectifs, dont nous notons les principaux :

- Construire des machines pour une large variété d'applications augmentant les capacités de résolution de problèmes « mal posés ».
- Formaliser ce qu'est la connaissance.
- Mécaniser l'intelligence.
- Utiliser des modèles computationnels pour comprendre des comportements complexes.

- Rendre l'interaction avec les systèmes computationnels aussi simple qu'avec les humains [11].

1.4.2 Les caractéristiques de L'IA

Voici quelques caractéristiques de L'IA :

- Prise en compte de la Connaissance (symbolique).
- Raisonnements.
- Solutions satisfaisantes vs. Optimales.
- Pas programmé mais par apprentissage [12].

Intelligence artificielle	Robot
Programmé pour penser	Programmé pour exécuter
Interaction sociale	Interaction de niveau bas
Apprend	Seulement aussi intelligent qu'un programme

TABLE 1.1 – Une comparaison entre L'IA et le Robot.

1.5 Les domaines d'application de l'IA

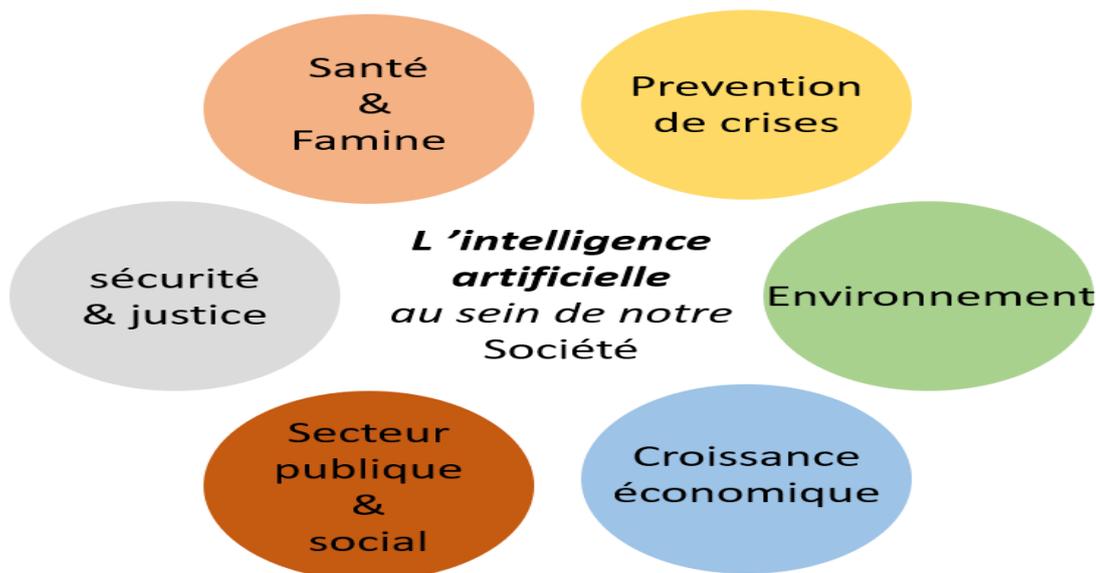


FIGURE 1.4 – Les domaines d'application de l'intelligence artificielle [13].

L'IA est aujourd'hui utilisée dans plusieurs secteurs essentiels parmi lesquels on trouve :

- **Santé ou médecine** : C'est l'un des secteurs les plus dynamiques en intelligence artificielle.

Des IA commencent à diagnostiquer des maladies, notamment les cancers, aussi bien voir mieux que les spécialistes. L'intelligence artificielle peut favoriser la détection précoce d'une maladie mais pourrait aussi détecter les premiers signes d'une attaque cardiaque par exemple. L'IA pourrait accélérer la mise au point de nouveaux médicaments et réduire le temps écoulé entre la découverte d'une nouvelle molécule et sa mise sur le marché. Au Japon, des robots sont déjà expérimentés pour aider les personnes dans leurs activités quotidiennes, les aider à se déplacer, etc. Les établissements d'hébergement pour les personnes âgées pourraient être équipés de ce type de robots dans quelques années [14].



FIGURE 1.5 – L'IA et l'aide pour un meilleur diagnostic médical.

- **Banque et finance** : Dans le secteur bancaire, l'enjeu de l'intelligence artificielle est double. La technologie IA permet d'une part d'améliorer la performance des conseillers par un meilleur conseil sur l'ensemble des produits et d'autre part de libérer les chargés de clientèle des tâches répétitives au profit des tâches complexes.

Deux applications de l'IA vont révolutionner le conseil financier :

- La technologie des chatbots permettent de fluidifier la relation client.
- Les Robots « advisor » qui proposent aux particuliers des placements adaptés à leurs objectifs financiers et à leur environnement patrimonial [15].

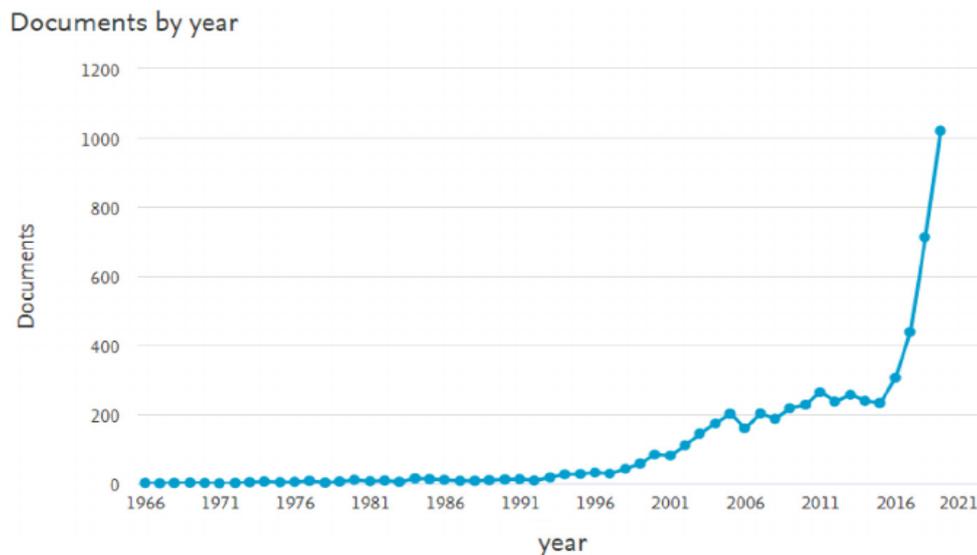


FIGURE 1.6 – L'évolution des chatbot depuis 1966 [16].

- **Véhicules autonomes** : Selon une étude de JP Morgan, le marché de la voiture intelligente connaîtra une croissance de 75% d'ici fin 2025.

Il existe de nombreuses applications de l'intelligence artificielle dans la voiture autonome. Elles concernent principalement l'apprentissage de la conduite par Machine-Learning (ML) pour apprendre à la voiture comment se comporter en cas d'accident. L'IA intervient également dans la vérification de la qualité des organes de la voiture en maintenance prédictive, dans la connaissance de l'environnement grâce aux données remontées des capteurs, dans l'analyse du comportement du conducteur ou encore dans la cybersécurité pour surveiller l'état de la connectivité et éviter tout piratage [15].

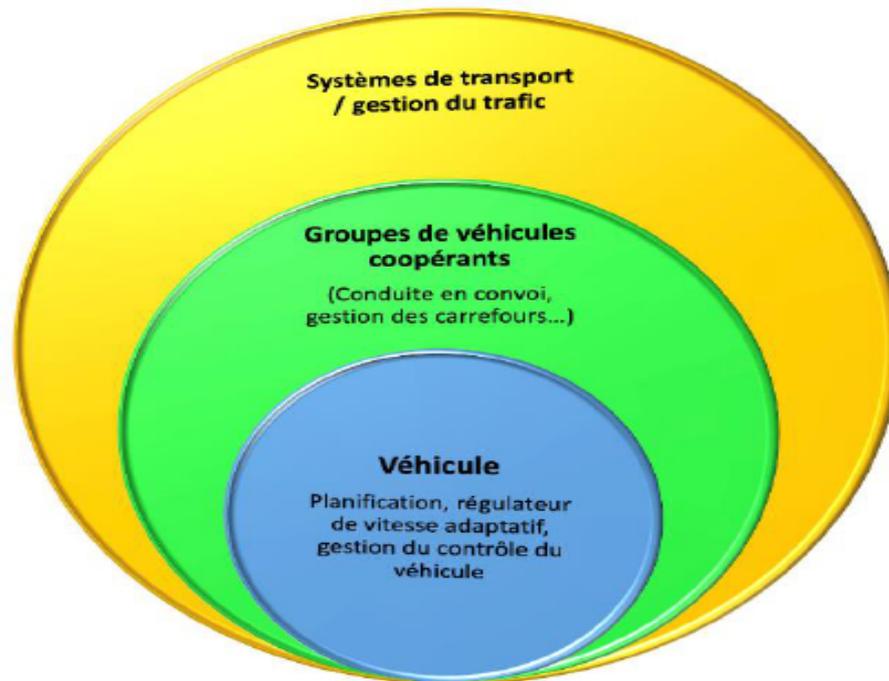


FIGURE 1.7 – Les différents niveaux de l’impact du véhicule autonome sur la mobilité propre [17].

- **Jeux vidéos** : Ils emploient des techniques d’intelligence artificielle pour donner vie aux personnages non joueurs ou encore pour créer des univers entiers à partir d’algorithmes [18].

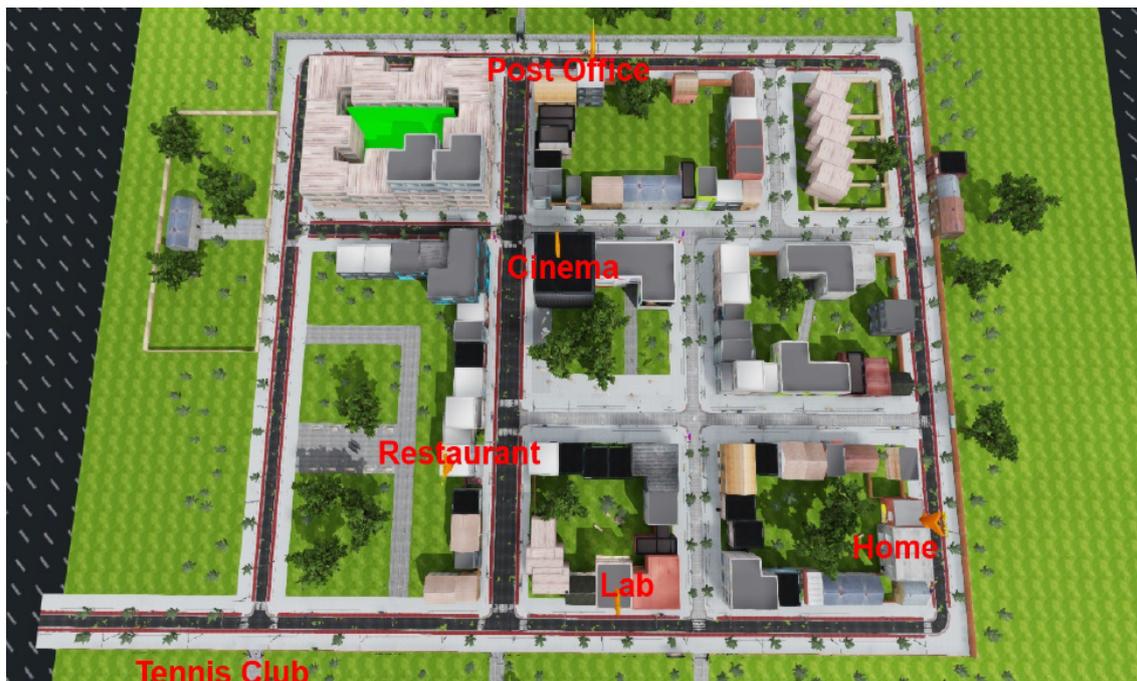


FIGURE 1.8 – Exemple d’environnement de simulation sous l’UDK (unreal development kit) [19].

1.6 Agents intelligents

1.6.1 L’agent intelligent et son rôle

- **Agent intelligent** : tout ce qui perçoit son environnement à l’aide de ses capteurs, et qui agit sur son environnement à l’aide de ses effecteurs [21].

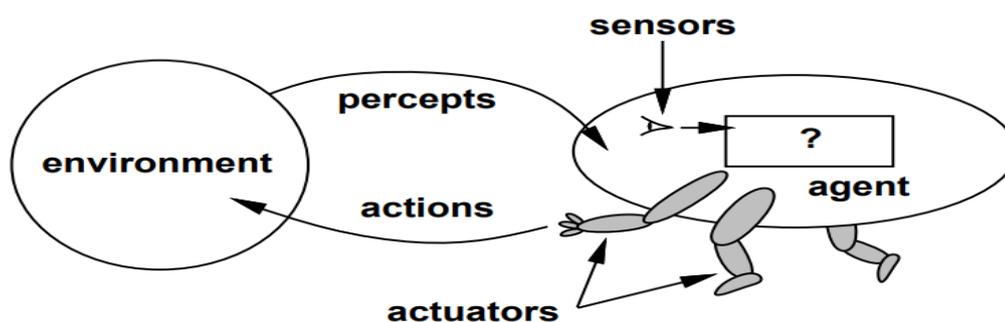


FIGURE 1.9 – Le fonctionnement d’un agent intelligent [20].

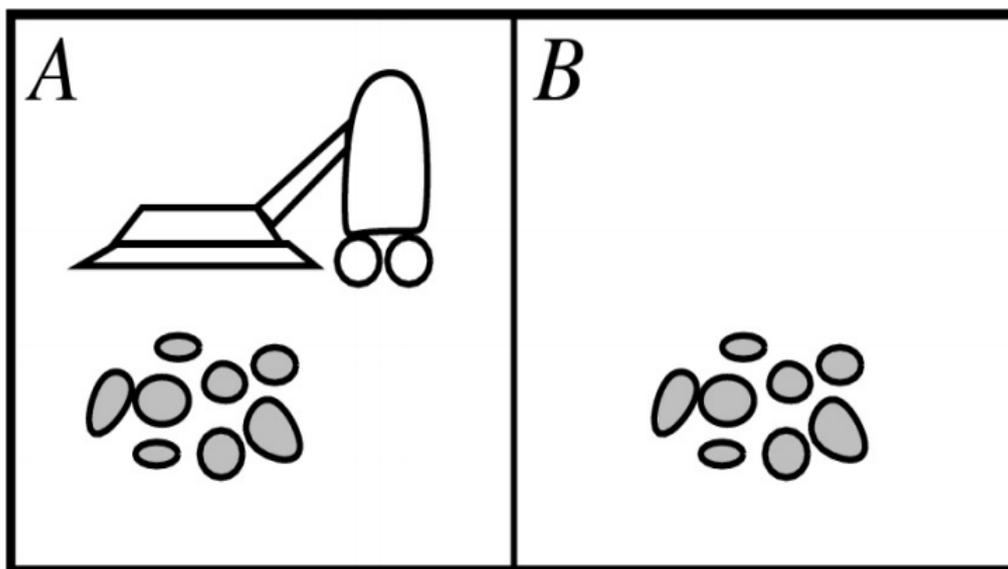


FIGURE 1.10 – Exemple d’un agent intelligent - le cas d’un agent aspirateur [20].

Percepts	Action
[A, Propre]	Droite
[A, Sale]	Aspire
[B, Propre]	Gauche
[B, Sale]	Aspire
[A, Propre] , [A, Propre]	Aspire
[A, Propre] , [A, Sale]	Aspire
[A, Propre] , [A, Propre] , [A, Propre]	Aspire
[A, Propre] , [A, Propre] , [A, Sale]	Aspire

TABLE 1.2 – Tabulation de la fonction d’agent - le cas d’un agent aspirateur [20].

1.6.2 Les types d’agent

Dans cette section nous allons nous intéresser aux différents types d’agents intelligents.

Agent réflexe simple : Ce type d’agent choisit ses actions en se basant uniquement sur le percept courant, en ignorant les percepts précédents [22].

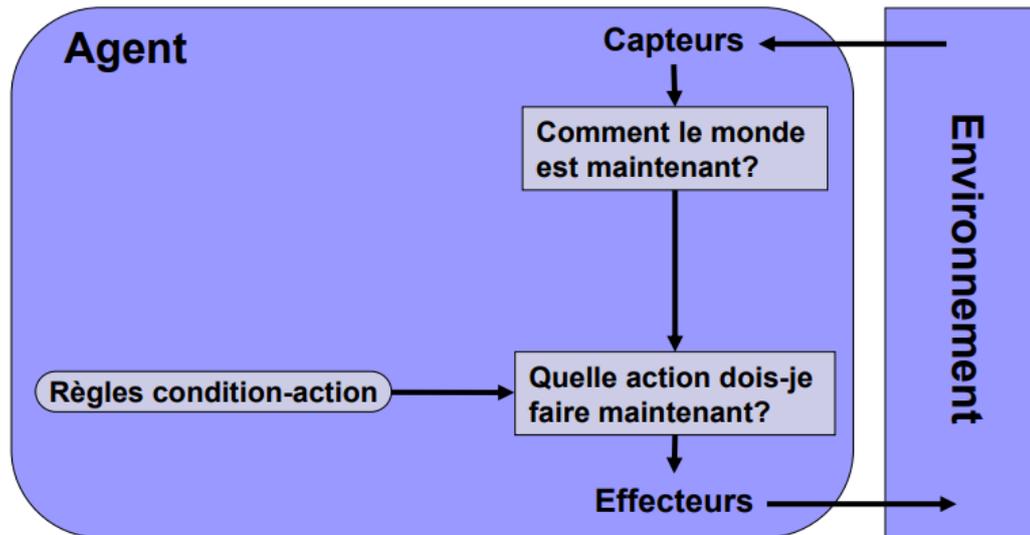


FIGURE 1.11 – Le fonctionnement d’un agent réflexe simple [22].

Agent apprenant :

- Souvent, il est très fastidieux où même impossible de définir le comportement de l’agent à la conception.
- L’apprentissage permet :
 - De simplifier la conception.
 - à l’agent d’avoir plus de flexibilité.
 - à l’agent d’agir dans des environnements inconnus et de devenir meilleur avec le temps [22].

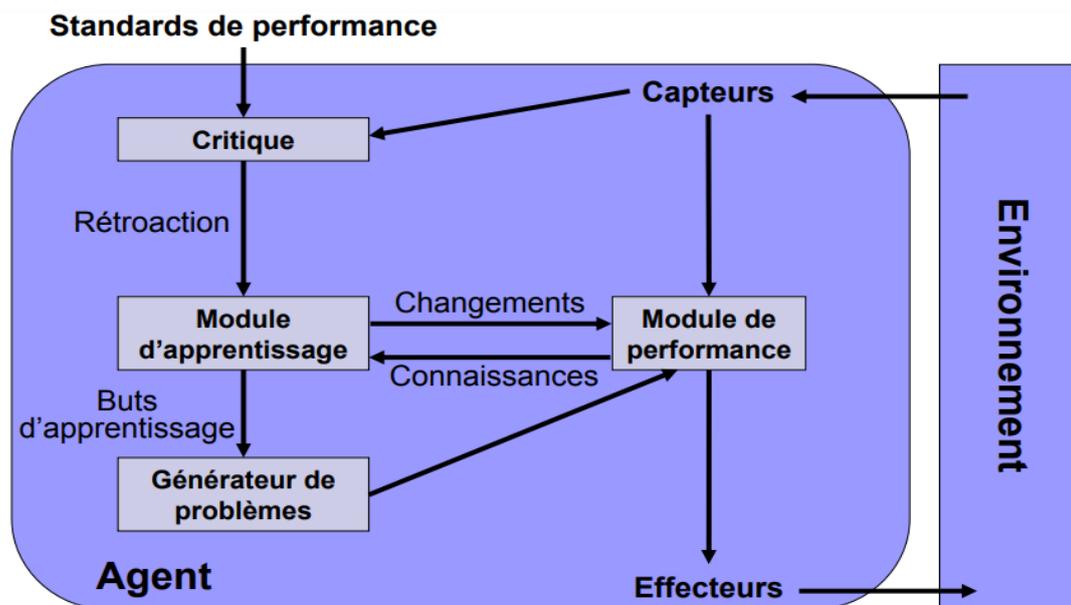


FIGURE 1.12 – Le fonctionnement d'un agent apprenant [22].

On peut aussi trouver d'autres agents comme : Agent réflexe avec état interne, Agent basé sur les buts, Agent basé sur l'utilité.

1.6.3 Fonctions et programmes d'agent

- Un agent est complètement spécifié par une fonction d'agent.

- Mise en correspondance des percepts et des actions.

- But : trouver un moyen d'implanter cette fonction de manière concise.

- Problème des tables de fonction :

- Immense.
- Prend un temps énorme à construire.
- Aucune autonomie.
- Même avec apprentissage, nécessite un temps considérable pour apprendre les éléments du tableau [21][23].

1.6.4 Environnement de la tâche

La première étape lors de la conception d'un agent est de spécifier l'environnement de la tâche qui contient les quatre éléments suivants (PEAS) :

- Mesure de la performance.
- Environnement.
- Effecteurs.
- Capteurs.

Exemple : conducteur de taxi automatique.

Mesure de performance : sécurité, confort, profits, etc.

Environnement : routes, autres autos, piétons, clients, etc.

Effecteurs : volant, accélérateur, frein, clignotant, klaxon, etc.

Capteurs : caméras, sonar, odomètre, indicateur de vitesse, capteurs du moteur, etc.

Propriétés de l'environnement :

Complètement observable vs Partiellement observable : Est-ce que les capteurs de l'agent lui donne accès à l'état complet de l'environnement à tout moment ?

Déterministe vs Stochastique : Est-ce que le prochain état de l'environnement est complètement déterminé par son état courant et l'action de l'agent ?

Épisodique vs Séquentielle :

- Un épisode est une séquence perception-action.
- Le prochain épisode ne dépend pas des actions effectuées dans les épisodes précédents.

Statique vs Dynamique : Est-ce que l'environnement change pendant que l'agent délibère ?

Discret vs Continu : La distinction entre discret et continu peut être appliquée :

- à l'état de l'environnement.
- à la façon dont le temps est géré.
- et aux perceptions et aux actions de l'agent.

Un agent vs Multi-agents : Est-ce qu'il y a plus qu'un agent interagissant ensemble ? [23]

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté sur l'intelligence artificielle et son influence sur le monde moderne, et sur notre vie quotidienne. dans le prochain chapitre on va voir d'une manière bien expliquée les véhicules autonomes et connectés avec quelques modèles de conduite coopératifs, comment développer une approche de simulation de contrôle de vitesse d'un véhicule connecté et autonome pour assurer une conduite sans collision tout en respectant les mesures de sécurité et de confort. ce qui fera l'objet de notre étude dans le chapitre 3. le chapitre 4 sera consacré pour compléter notre travail avec des expérimentations et analyse des résultats de la simulation dans la plateforme de simulation. et clôturer enfin avec une conclusion générale.

Les véhicules autonomes et connectés

2.1 Introduction

Le système à réaliser dans le contexte de ce projet permet la modélisation de la tâche de conduite pour une meilleure expérience routière, précisément le développement d'une approche de simulation de contrôle de vitesse d'un véhicule connecté et autonome pour assurer une conduite sans collision tout en respectant les mesures de sécurité et de confort, puis les expérimentations et l'analyse des résultats de cette approche dans la plateforme de simulation.

2.2 Classification des vues sur le contrôle de voiture

Dans cette section, nous définissons les critères de sélection pour classer les applications et les projets pensés, développés, imaginés autour du véhicule et du transport intelligent. Nous introduirons le concept et le vocabulaire afin de présenter une évolution graphique de ce topique émergent. Pour imaginer le futur, nous devons considérer deux points importants : le véhicule en lui-même comme moyen de déplacement d'un point A à un point B et l'utilisation de toutes les applications qui tournent autour de ce déplacement qui en font un transport intelligent. Nous définissons donc deux axes dans notre classification : le véhicule (Axe horizontal) et les applications (Axe vertical).

2.2.1 Axe horizontal : Le véhicule

Cet axe correspond à la manière dont nous percevons le véhicule dans le cadre d'un développement de service. Ces perceptions peuvent être plus ou moins complexes selon l'interaction du véhicule avec son environnement que l'on souhaite étudier.

2.2.1.1 La vue centrée véhicule

Aujourd'hui la voiture est un moyen d'aller d'un point A à un point B pour un individu ou plusieurs individus. Dans cette perspective nous ne prenons pas en compte l'environnement du véhicule. Seul l'objet de transport est considéré.

2.2.1.2 La vue centrée réseau

Il est évident que le véhicule n'évolue pas seul, il se déplace dans un environnement complexe avec d'autres entités comme les piétons, les buildings, les autres véhicules, ainsi que toute l'infrastructure du monde urbain qui gouverne le mouvement du véhicule : les feux tricolores, les autoroutes, les intersections, les panneaux, etc. Tous ces objets font partie du même réseau et ont un impact les uns sur les autres.

2.2.1.3 La vue centrée utilisateur

Les deux points précédents ne mentionnent pas l'élément le plus important dans le réseau véhiculaire à savoir l'utilisateur, c'est à dire le conducteur ainsi que les éventuels passagers.

Dans cette vision les besoins ne sont pas les mêmes.

L'utilisateur possède des désirs, des opinions, et n'a pas une conduite uniforme et linéaire.

Dans ces trois niveaux nous évoquons une évolution large échelle.

Une voiture se déplace (vue centrée véhicule) et communique avec un environnement urbain complexe (vue centrée réseau) selon les désirs de son conducteur et les interactions avec les passagers (vue centrée utilisateur).

2.2.2 Axe verticale : Les applications

Le second axe décrit les applications véhiculaires. Celles-ci sont plus ou moins complexes selon la vue que nous adoptons pour le véhicule.

Les applications les plus présentes sur le marché avertissent le conducteur d'un possible risque et lui renvoient certaines informations du trafic. Ce premier niveau de l'échelle donne lieu à des applications centrées sur le véhicule. Ensuite des applications plus développées permettent de communiquer ces informations avec son environnement, nous sommes alors à un niveau de complexité plus élevé qui est celui de la vue centrée réseau. Enfin le dernier niveau prend en compte l'utilisateur, les passagers avec leurs envies, leurs profils, leurs caractéristiques, nous sommes alors dans la vue centrée utilisateur. Ainsi les applications dites "basiques" tournent autour des informations que peut capter le véhicule sur son environnement (accidents, piétons, véhicule approchant, etc.) pour améliorer la sécurité, c'est actuellement une des premières motivations dans l'innovation véhiculaire. Ensuite des fonctionnalités sont ajoutées au véhicule pour interagir avec son environnement et l'utilisateur. Ainsi les applications se complexifient et de nouvelles tendances apparaissent dans les services véhiculaires [35].

2.3 Internet des objets (Internet of things)

L'Internet des objets, ou IoT, est un système de dispositifs informatiques interdépendants, de machines mécaniques et numériques, d'objets, d'animaux ou de personnes qui reçoivent des identifiants uniques (UID) et la capacité de transférer des données sur un réseau sans nécessiter d'une interaction homme-machine.

Une chose dans l'Internet des objets peut être une personne avec un implant de moniteur cardiaque, un animal de ferme avec un transporteur à bio-puce, une automobile qui a des capteurs intégrés pour alerter le conducteur lorsque la pression des pneus est basse ou tout autre objet naturel ou artificiel auquel une adresse IP (Internet Protocol) peut être attribuée et qui est capable de transférer des données sur un réseau [36].

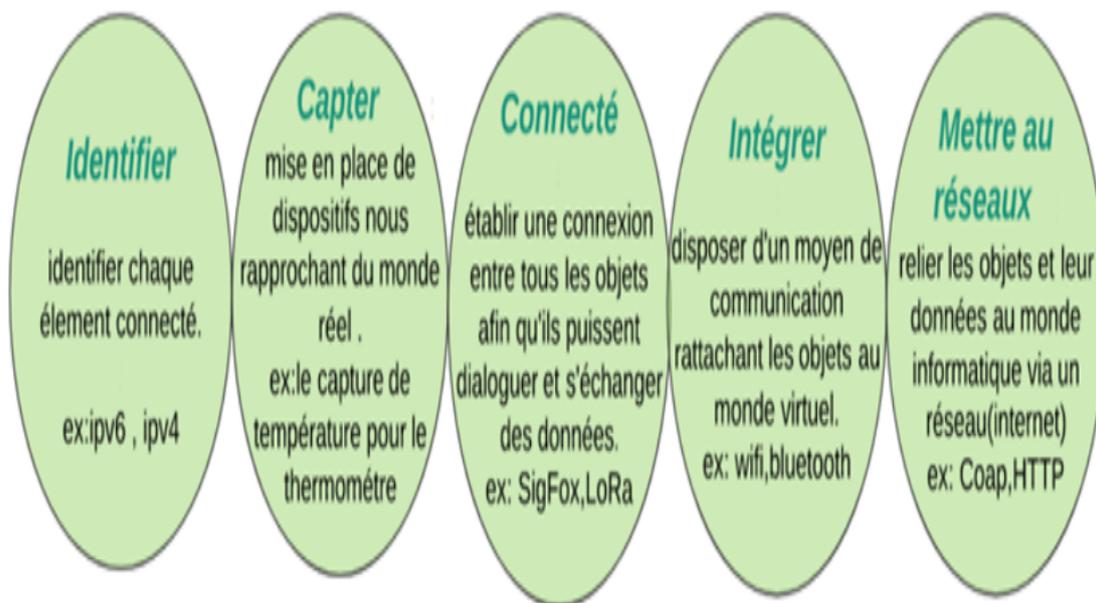


FIGURE 2.1 – Les étapes de la mise en place de l'internet des objets [24].

2.4 Véhicule autonome et connecté

2.4.1 Définition

Un véhicule autonome et connecté est un véhicule capable de se connecter via des réseaux sans fil à des appareils à proximité. Les véhicules connectés sont un facteur important dans l'avancée de l'IoT. Les cas d'utilisation vont des systèmes de divertissement connectés qui se connectent au téléphone mobile du conducteur aux véhicules connectés à Internet qui ont une communication bidirectionnelle avec d'autres véhicules, appareils mobiles et intersections de la ville [37].

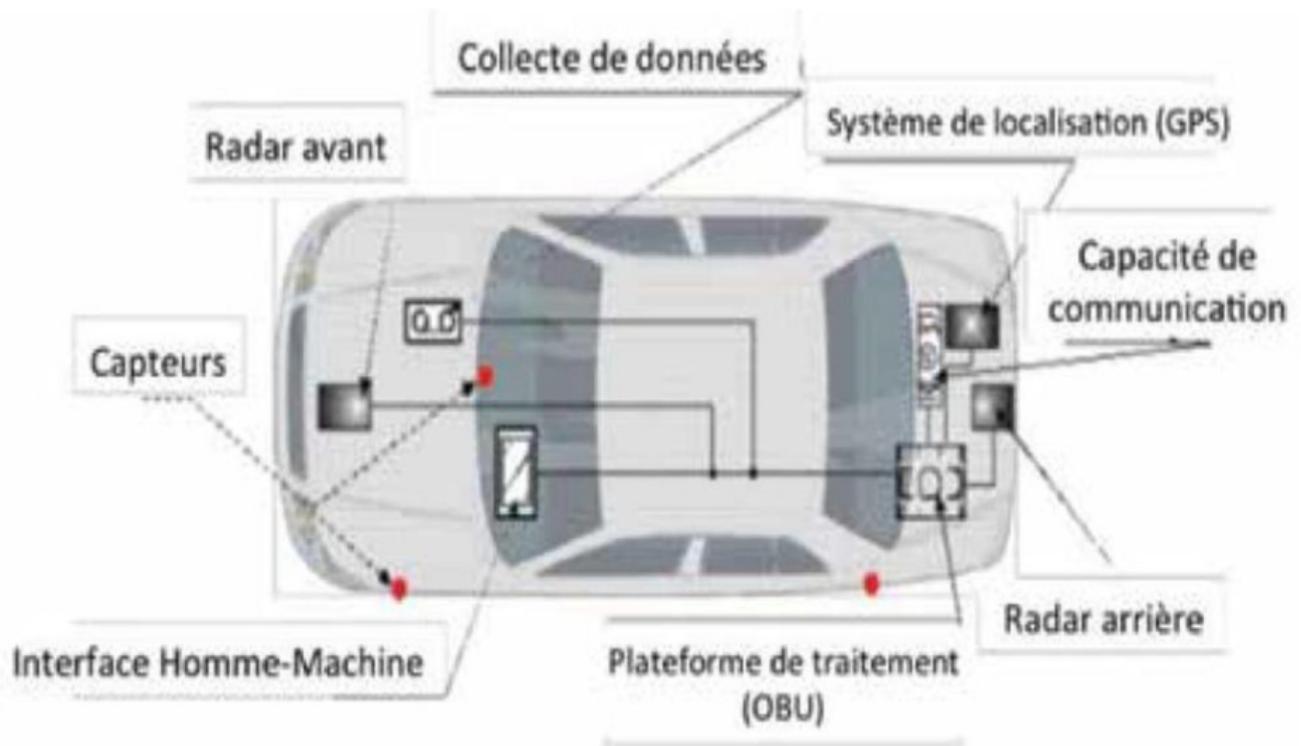


FIGURE 2.2 – Les différents composants d'un véhicule connecté et autonome [25].

2.4.2 Types de communications des véhicules

Dans cette section, nous allons nous focaliser sur trois types de communications des véhicules V2V, V2I et V2X.

2.4.2.1 V2V : Vehicle To Vehicle

Les communications de véhicule à véhicule (V2V) comprennent un réseau sans fil où les automobiles s'envoient des messages contenant des informations sur ce qu'elles font. Ces données comprendraient la vitesse, l'emplacement, la direction du déplacement, le freinage et la perte de stabilité. La technologie de véhicule à véhicule utilise des communications dédiées à courte portée (DSRC), une norme établie par des organismes tels que la FCC et l'ISO. Parfois, il est décrit comme étant un réseau Wi-Fi, car l'une des fréquences possibles est 5,9 GHz, qui est utilisée par le Wi-Fi, mais il est plus précis de dire «de type Wi-Fi». La portée est jusqu'à 300 mètres ou 1000 pieds ou environ 10 secondes à la vitesse d'autoroute (et non 3 secondes comme le disent certains rapports).

V2V serait un réseau maillé, ce qui signifie que chaque nœud (voiture, signal de trafic intelligent, etc.) pourrait envoyer, capturer et retransmettre des signaux. Cinq à dix sauts sur le réseau permettraient de rassembler les conditions de circulation à un kilomètre plus loin. C'est assez de temps pour que même le conducteur le plus distrait puisse lever le pied sur l'accélérateur.

2.4.2.2 V2I : Vehicle to Infrastructure

La communication véhicule-infrastructure (V2I) est l'échange sans fil de données entre les véhicules et l'infrastructure routière.

Activé par un système de matériel, de logiciels et de micro-logiciels, la communication V2I est généralement sans fil et bidirectionnelle : les composants d'infrastructure tels que les marquages de voie, les panneaux routiers et les feux de signalisation peuvent fournir des informations sans fil au véhicule, et vice versa.

Avec autant de données capturées et partagées, des informations riches et opportunes peuvent être utilisées pour permettre un large éventail d'avantages en matière de sécurité, de mobilité et d'environnement.

2.4.2.3 V2N : Vehicle to Network

En ce qui concerne V2N (Vehicle to Network) permet à la fois les communications de diffusion et de monodiffusion entre les véhicules et les systèmes de gestions du trafic routiers ainsi que les plateformes et applications (Application Server). Ceci est réalisé en utilisant l'infrastructure du réseau LTE et l'E-UTRA. Les véhicules peuvent recevoir des alertes diffusées concernant des accidents plus loin sur la route ou des avertissements de congestion ou de files d'attente sur l'itinéraire prévu [38].

Exemple d'application très utilisée : Google Maps.

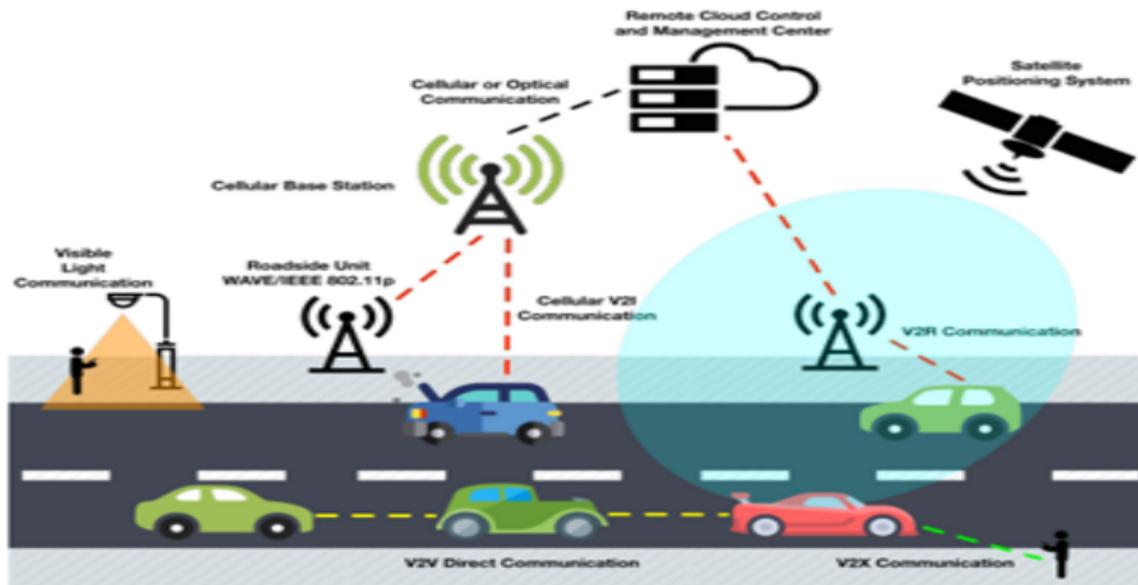


FIGURE 2.3 – V2V and V2I communications.

2.4.3 Types de véhicules autonomes

Il existe 4 types de véhicules autonomes que nous allons mentionner ci-dessous.

2.4.3.1 Régulateur de vitesse adaptatif

- 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.

2.4.3.2 Régulateur de vitesse adaptatif et coopératif

- 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).
- De nombreuses études antérieures montrent que CACC a le potentiel d'améliorer à la fois le flux de trafic et la stabilité des chaînes.

2.4.3.3 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.

2.4.3.4 Véhicule autonome et connecté : CAV

Les véhicules autonomes et connectés contiennent toutes les fonctions AV avec les fonctions V2V et V2X [39].

2.4.4 La relation du véhicule autonome avec son environnement

La perception de l'environnement du véhicule au moyen de multiples capteurs est l'objet de nombreuses recherches, mais reste une question difficile dans le développement de systèmes de navigation. Les capteurs étant imparfaits, il est nécessaire de développer des schémas de fusion multi-capteurs robustes et efficaces, afin de réaliser une modélisation géométrique de l'environnement du véhicule, mais aussi une modélisation sémantique (l'identification des objets perçus : bandes et voies de circulation, panneaux, piétonnes, piétons, autres véhicules ...) permettant une compréhension complète de la scène. Deux voies de recherche doivent être explorées. La première est la fusion de données imprécises, incertaines, biaisées, retardées (latences) et asynchrones. La deuxième est l'élaboration de modèles permettant une analyse sémantique de la scène comportant la détection et l'analyse des comportements dynamiques [37][40].

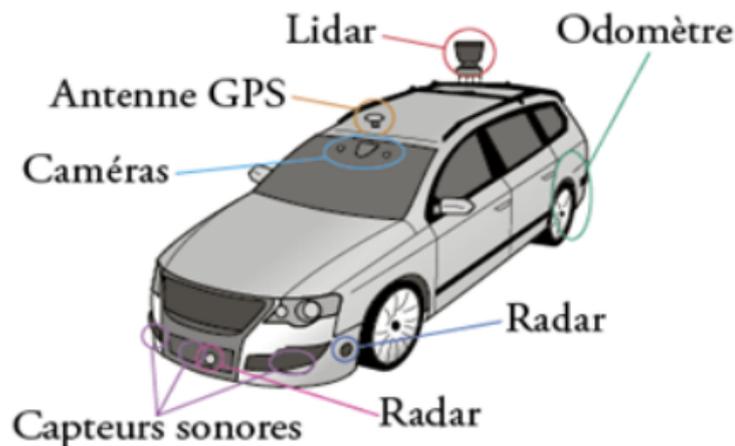


FIGURE 2.4 – Les différents capteurs d’un véhicule autonome et connecté (CAV) [26].

2.4.5 L’intelligence du véhicule connecté et autonome

Lorsqu’un véhicule circule en mode totalement automatique, c’est son logiciel qui doit prendre les bonnes décisions assurant la conduite et la sécurité. Il doit analyser ce qu’il perçoit pour adapter de façon dynamique sa trajectoire. Les systèmes de décision avancés qui équiperont les véhicules autonomes seront par conséquent très complexes.

Les schémas de décision devront incorporer :

- **Des modèles de comportement de différentes usagères et usagers de la route :** L’élaboration des systèmes décisionnels repose sur des techniques d’apprentissage de comportement, et sur des techniques d’intelligence artificielle (deep learning, apprentissage par renforcement, ...) dans lesquelles le système apprend par essais et erreurs. Il est donc nécessaire de collecter des quantités importantes de données couvrant divers scénarios, afin d’alimenter les algorithmes d’apprentissage.
- **Des modèles qui prennent en compte l’intégration du VAC dans le flot routier.**
- **Les interactions avec les autres usagères et usagers de la route : piétonnes, piétons, autres véhicules ...** Par exemple, la gestion des priorités de passages dans les intersections ou les ronds-points, la négociation et la gestion des dépassements, etc.

• **Le partage de la conduite entre le conducteur ou la conductrice et le véhicule automatique** : Ce domaine, appelé « arbitrage », est encore largement inexploré. Il nécessite la connaissance de l'état dynamique du conducteur ou de la conductrice, du système, de la tâche de conduite et des risques potentiels [41].

2.5 La sécurité des communications des véhicules autonomes

Le déploiement des véhicules autonomes et connectés ne pourra se faire sans une profonde adaptation des réseaux de télécommunications, et sans leur sécurisation. L'explosion du nombre d'agents communicants – les véhicules, mais aussi les serveurs informatiques de gestion des réseaux aura un fort impact sur l'occupation des canaux de communication, aujourd'hui déjà largement saturés.

Dans cette perspective, l'IEEE a décidé d'allouer une bande de fréquence autour de 5.9 GHz dédiée aux applications véhiculaires (IEEE 802.11p).

La sécurité routière exige un échange d'informations hautement réactif et fiable entre véhicules voisins, dans n'importe quelles conditions de densité de circulation.

Le défi est donc de concevoir des moyens de communications sans fil fiables dans des scénarios présentant de fortes densités.

Parmi les solutions actuellement étudiées, la technologie VLC (Visible Light Communication) assure une communication sans fil en utilisant la lumière visible, très bien adaptée aux courtes distances, elle a très vite été envisagée pour des applications de véhicules autonomes circulant en convoi, mais pour une utilisation plus générale, il faudra prendre en compte l'hétérogénéité des réseaux de communication : les réseaux cellulaires, les réseaux maillés de faible puissance, le WiFi (faible consommation) et la technologie Bluetooth (faible puissance) peuvent répondre à différents besoins de communication d'un véhicule autonome et connecté. Chacun, cependant, utilise des compromis différents entre la fiabilité, la consommation d'énergie et le débit. Il est donc nécessaire d'étudier les limites de chaque technologie et d'élaborer des critères clairs pour sélectionner celle qui convient le mieux à chaque utilisation.

L'hétérogénéité des réseaux de communication impose aussi de régler la question de la transition d'une technologie à l'autre (« handover »). Cette problématique doit être

étudiée dans le contexte d'un environnement dynamique et dense.

Enfin, pour éviter la saturation des réseaux, une solution possible est de mieux cibler les messages, grâce au réseautage géo-localisé (ou GeoNetworking : Geographic Addressing and Routing). Il consiste à restreindre et à diffuser les informations Communiquées à un périmètre géographique limité et optimisé grâce à des techniques de routage dédiées.

L'un des grands problèmes posés aujourd'hui aux télécommunications reste celui de la vulnérabilité aux attaques externes. Pour les véhicules connectés, la question de l'intégrité et de la confidentialité des informations qui circulent sur les réseaux se pose de manière critique. Le pire scénario que l'on puisse envisager serait, par exemple, la prise de contrôle à distance d'un véhicule connecté. C'est pourquoi la cyber sécurité devient une priorité pour les industriels du transport. Des moyens de protection existent déjà, mais il faut maintenant les intégrer au processus de développement des véhicules.

Les solutions de cyber-sécurité devront assurer :

- des fonctions de pare-feu (firewall) dans les interfaces avec les réseaux extérieurs, la détection des intrusions et la mise en place de protections.
- la sécurisation des communications internes, des communications entre le Véhicule et les systèmes d'information, ou des communications entre les véhicules, par chiffrement et signature.
- le « durcissement » des calculateurs embarqués (protection des données et des programmes) plus globalement.
- la sécurisation des systèmes d'information impliqués dans la circulation des véhicules autonomes et connectés [42].

2.6 Les nouveaux besoins de la mobilité : des enjeux économiques, sociaux et environnementaux

Chaque année, les accidents de la route sont responsables de 1,25 million de morts et jusqu'à 50 millions de blessés dans le monde. Notre planète compte aujourd'hui un véhicule pour dix habitants, chiffre qui risque d'exploser avec le développement des pays émergents. Le coût des accidents de la route est estimé à environ 25 milliards d'euros pour l'économie française.

L'amélioration de la sécurité est donc un enjeu capital. Or, 90% des accidents étant imputables à des erreurs humaines, on peut espérer qu'une automatisation totale ou partielle de la conduite pourrait réduire leur nombre ou leur gravité.

Ce n'est pas le seul défi posé au véhicule autonome : les transports sont responsables de dizaines de millions de tonnes d'émissions de polluants, ainsi que d'environ un quart de la consommation mondiale d'énergie et des émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Le déploiement du véhicule autonome devrait aussi favoriser de nouveaux modes de transports individuels et collectifs (auto-partage, robots-taxis ...) dont on peut espérer qu'ils réduiront sensiblement le nombre de véhicules en circulation.

En 2010, plus de la moitié des habitants de la planète habitaient en zones urbaines et ce chiffre devrait atteindre 75% en 2050. Dans les villes, la question globale de la mobilité va donc devenir cruciale. Comment concevoir la physionomie des transports dans l'avenir ? Peut-on imaginer que les villes du futur pourront supporter le même taux de croissance du parc automobile ? La voiture individuelle, telle que nous la connaissons aujourd'hui, ne pourra à l'évidence pas rester le mode privilégié de transport. Par ailleurs, la révolution numérique en cours conduira également à un changement dans nos besoins de mobilité [37].

2.7 Quelques modèles de conduite coopératifs

Le modèle classique de suivi des véhicules garantit une conduite sans collision dans divers changements de conditions environnementales. De nombreux modèles sont fournis dans la littérature. Chaque modèle est conçu pour assurer une conduite sûre et sans collision. Prenons le modèle « Krauss » et « IDM » comme exemple :

- **Krauß [27]** : C'est un modèle déterministe de suivi de véhicules (voir Eq.2.1). Le modèle s'appuie sur une vitesse sécuritaire v_{safe} permettant au véhicule de s'adapter au freinage du véhicule qui précède et de conserver un contrôle longitudinal sans collision.

$$V_{des}(t + \Delta t) = MAX(0, rand[V_{des} - ea, V_{des}]) \quad (2.1)$$

pour :

- $V_{des}(t + \Delta t)$: la vitesse souhaitée définie en prenant en considération l'imperfection de l'automobiliste humain.

- e : la capacité du conducteur à respecter.

- a : l'accélération maximale du véhicule.

- V_{des} : une vitesse souhaitée (voir Eq.2.2).

Le modèle « Krauß » est suggéré pour arriver à une vitesse finale v à l'instant $t + \Delta t$ où v est le minimum des éléments suivants : une vitesse maximale que le véhicule peut marquer dans son compteur et l'interdiction de dépasser cette vitesse après l'application d'une accélération a , et une vitesse sécuritaire v_{safe} qui autorise au véhicule de s'arrêter en cas d'urgence grâce à une décélération maximale b (Voir Eq.2.3). Ce modèle est décrit dans [28][29].

$$V_{safe}(t) = V_l(t) + \frac{g(t) - V_l(t)t_r}{\frac{V_l(t) + V_f(t)}{2b} + t_r} \quad (2.2)$$

$$V(t + \Delta t) = MIN(V_{safe}(t), V(t) + a\Delta t, V_{max}) \quad (2.3)$$

pour :

- $V(t + \Delta t)$: la vitesse du véhicule à l'instant $t + \Delta t$.

- $V(t) = V_f(t)$: la vitesse du véhicule à l'instant t .

- V_{safe} : une vitesse de sécurité.
- V_{max} : la vitesse maximale du véhicule.
- $a > 0$: l'accélération maximale qu'un véhicule peut atteindre.
- $b > 0$: la décélération maximale.
- t_r : le temps de réaction de l'automobiliste humain.
- $V_l(t)$: la vitesse du prédécesseur (le véhicule leader).
- $g(t)$: la distance qui isole le véhicule contrôlé du véhicule prédécesseur.

De plus, il faut admettre que les accélérations positives et négatives du modèle de "Krauß" sont bornées (ou appartiennent) à cet intervalle : $-b \leq \frac{d_v}{d_t} \leq a$.

Le modèle de "Krauß" aboutit toujours à l'état désiré à l'instant $t + \Delta t$ dû moment que ce modèle applique immédiatement la vitesse V_{des} sur la vitesse du véhicule examiné.

• **IDM [30]** : C'est un modèle de suivi de véhicules, nommé "Intelligent Driver Model" (IDM), et repose sur une méthode d'accélération continue et déterministe et a été suggéré afin de fournir un contrôle longitudinal sans impact (voir Eq.2.4).

$$\frac{d_v}{d_t} = a \left[1 - \left(\frac{v}{v_0} \right)^\sigma - \left(\frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

$$s^*(v, \Delta v) = s_0 + s_1 \sqrt{\frac{v}{v_0}} + T v + \frac{v \Delta v}{2\sqrt{ab}} \quad (2.5)$$

où :

- v : la vitesse du véhicule contrôlé.
- v_0 : la vitesse maximale du véhicule.
- Δv : la vitesse relative qui représente la différence entre la vitesse du véhicule contrôlé

et la vitesse du prédécesseur (le leader).

- s : la distance qui isole le véhicule contrôlé du véhicule leader.

- s^* : l'écart minimum recherché ($s \Rightarrow s^*$) (ex. 2m).

- a : l'accélération maximale du véhicule (ex. $a \in [1,2]$ m/s²).

- b : la décélération maximale du véhicule (ex. $b \in [1,4]$ m/s²).

Le modèle de "IDM" emploie une action $\bar{a} = a \left[1 - \frac{v^\sigma}{v_0}\right]$ sur la vitesse d'un véhicule pour activer, par contre il peut employer une décélération $\bar{b} = -a * (s^*/s)^2$ pour décélérer et éviter toute collision en jeu. En outre, ce modèle admire que ses actions, notamment l'accélération et la décélération, sont déterministes et capables d'aboutir à la vitesse désirée avec clarté [30][31].

le modèle	Le But de modèle	Explication du Modèle
KrauB	Atteindre une vitesse finale v et une vitesse de sécurité v_{Safe} 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 v_{Safe} : 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 où les actions de contrôle sont considérées comme déterministes et précises

FIGURE 2.5 – Quelques modèles de conduite existants [32][33].

2.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une étude détaillée sur les véhicules autonomes et connectés, Actuellement, le développement de ce genre de véhicules connaît une grande concurrence entre les différents industriels de l'automobile afin de pouvoir intégrer plus de fonctionnalités intelligentes dans les voitures du futur tout en respectant toutes les mesures de sécurité des vies humaines et préservation de l'environnement.

L'évolution des véhicules autonomes et connectés peuvent permettre de réduire le stress et de lassitude dans les embouteillages, limiter le nombre d'accidents de la route, réduire les erreurs humaines, prévoir les chemins les plus courts et les plus économiques.

Proposition d'un modèle de contrôle de vitesse coopératif

3.1 Introduction

Dans cette approche on va essayer de proposer un modèle de contrôle de vitesse autonome, afin de permettre au véhicule autonome connecté de prendre des décisions sur sa vitesse en fonction d'autres véhicules, et sans l'intervention de l'humain.

Cette approche est basée sur les données suivantes :

1- La vitesse du véhicule à l'instant (T), cette donnée doit être stockée à chaque changement du facteur du temps (T) et sera récupérée du capteur chargé de la vitesse du véhicule lui-même.

- Notation de la donnée : $V_x(t)$

2- La vitesse du véhicule externe, qu'on va nommer dans notre approche comme étant le véhicule (Y), cette vitesse sera récupérée à l'instant (T) grâce à un capteur qui utilise la communication entre les deux véhicules.

- Notation de la donnée : $V_y(t)$.

3- La distance entre le véhicule autonome et le deuxième véhicule à l'instant (T), Cette donnée aussi sera récupérée grâce à la communication.

- Notation de la donnée : $D_{x,y}(t)$.

4- La distance de sécurité à l'instant (T), cette donnée est récupérée grâce à la communi-

cation avec les infrastructures de l'environnement ou bien avec une formule.

- Notation de la donnée : $D_s(t)$.

Liste des Abréviations :

- $V_x(t)$: Vitesse du véhicule (X) à l'instant T.
- $D_{x,y}(t)$: Distance entre le véhicule (X) et (Y) à l'instant T.
- $D_s(t)$: Distance de sécurité à l'instant T.
- $A_x(t)$: Accélération du véhicule (X) à l'instant T.
- $T_{col}(t)$: Le temps de collision à l'instant T.

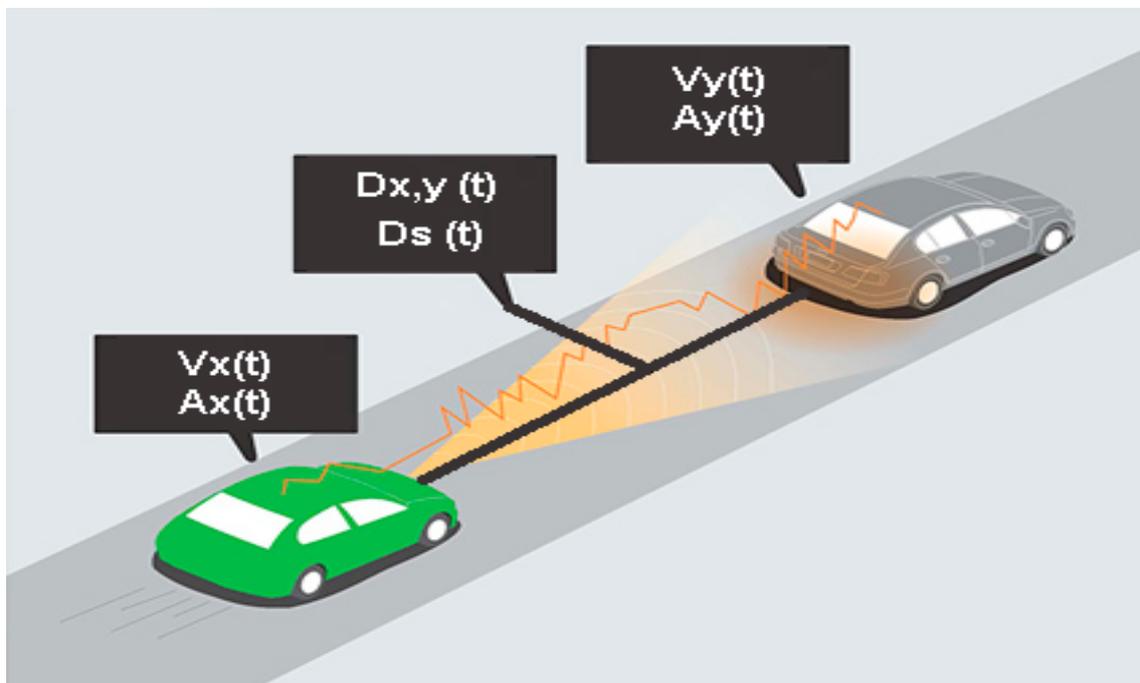


FIGURE 3.1 – Les paramètres du modèle de contrôle de vitesse.

Rappel :

Loi de la vitesse :

$$V = \frac{D}{T} \text{ tel que } V : \text{Vitesse}, D : \text{Distance}, T : \text{Temps.}$$

Loi de l'accélération :

$$A(x) = \frac{V_{(x)finale} - V_{(x)initiale}}{\Delta T} \text{ avec : } A(x) : \text{Accélération}, V(x) : \text{Vitesse de } x, \Delta T : \text{temps entre 2 vitesses.}$$

3.2 Approche proposée

3.2.1 Objectif

- L'objectif de cette approche est de déterminer la vitesse $V_x(t+\Delta t)$ et l'action à appliquer (accélérer ou décélérer) $A_x(t+\Delta t)$ du véhicule (X) à l'instant $(t+\Delta t)$ tout en recevant à l'instant (t) la vitesse du véhicule (Y) : $V_y(t)$ et la distance $D_{x,y}(t)$ entre les deux véhicules.

- Dans ce modèle proposé, on va essayer de respecter la norme de sécurité qui se constitue dans la distance de sécurité ($D_s(t)$) comme élément déterminant dans la conduite sans collision.

- Autrement dit, on va prendre cette distance ($D_s(t)$) comme déclencheur de l'action appropriée au véhicule (X) à l'instant $(t+\Delta t)$.

- Le deuxième paramètre est la comparaison de la vitesse $V_x(t)$ avec $V_y(t)$.

3.2.2 Définition de la distance de sécurité

La distance de sécurité dans notre modèle se constitue dans la distance minimale que doit respecter le véhicule (X) par rapport au véhicule (Y) pour éviter la collision à chaque instant T.

La valeur de la distance de sécurité est une valeur dynamique, change en fonction de l'environnement ou bien elle peut être définie en fonction de la variation de vitesse entre les deux véhicules.

L'objectif préliminaire de cette distance est de participer en tant qu'acteur ayant une priorité maximale dans l'objectif principal d'éviter la collision « Mesure de sécurité ».

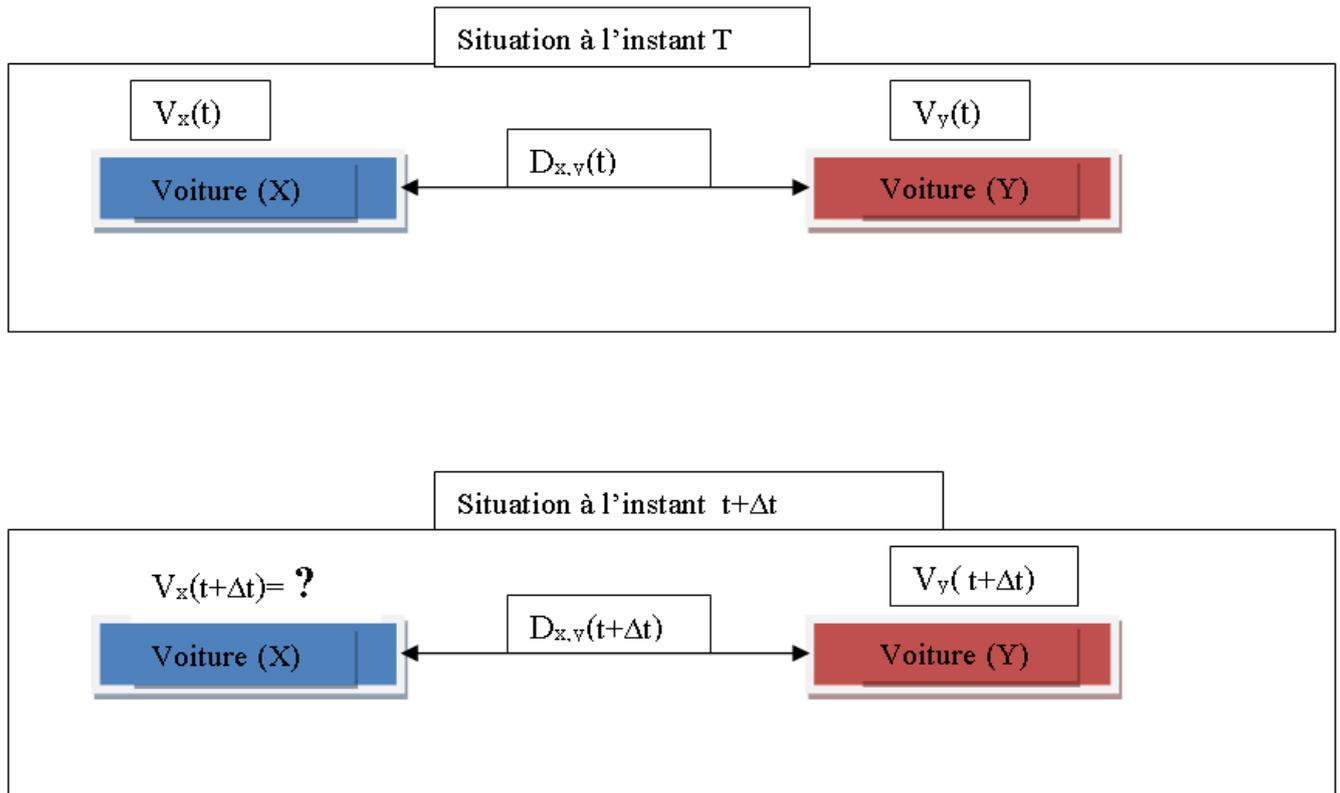


FIGURE 3.2 – Simulation du Scénario de contrôle de vitesse.

Formule de la distance de sécurité :

$$D_s(t) = DS_0 + \text{MAX}\left[0, \left(V_x(t) * \Delta t + \frac{V_x(t) * \Delta V_{x,y}(t)}{2\sqrt{ab}}\right)\right] \quad (3.1)$$

• **Remarque :** Cette formule est démontrée dans la référence [34].

Avec :

a : L'accélération maximale.

b : La décélération souhaitée.

$V_x(t)$: La vitesse du véhicule x.

$\Delta V_{x,y}(t) = V_y(t) - V_x(t)$: La vitesse relative.

DS_0 : L'inter-distance minimale avec le véhicule qui suit.

ΔT : La différence entre 2 temps.

Les paramètres a , b , DS_0 , ΔT doivent être définis lors de l'initialisation pour tous les véhicules contrôlés avec ce modèle.

3.2.3 Approche humaine (Logique)

1er cas :

Si la distance entre les deux véhicules est supérieure à la distance de sécurité, dans ce cas le véhicule autonome peut accélérer quelque soit la vitesse du deuxième véhicule.

2ème cas :

Si la distance entre les deux véhicules est égale à la distance de sécurité, dans ce cas le véhicule autonome doit tester la vitesse du deuxième véhicule, on va avoir 3 cas possibles :

- Si les deux vitesses des deux véhicules sont égaux alors le véhicule autonome doit maintenir sa vitesse, et ne doit ni accélérer ni freiner.
- Si la vitesse du véhicule autonome est inférieure à la vitesse du deuxième véhicule, dans ce cas le véhicule autonome peut accélérer.
- Si la vitesse du véhicule autonome est supérieure à la vitesse du deuxième véhicule, dans ce cas le véhicule autonome doit freiner.

3ème cas :

Si la distance entre les deux véhicules est inférieure à la distance de sécurité, dans ce cas la mesure de sécurité n'est pas respectée ce qui implique qu'on doit tester la vitesse des deux véhicules afin que le véhicule autonome prend une décision selon les cas suivants :

- Si les deux vitesses des deux véhicules sont égaux ou bien la vitesse du véhicule autonome est inférieure à la vitesse du deuxième véhicule, dans ce cas le véhicule autonome va freiner mais juste pour récupérer la distance de sécurité.
- Si la vitesse du véhicule autonome est supérieure à la vitesse du deuxième véhicule, dans ce cas le véhicule autonome doit freiner (freinage exceptionnel) pour éviter la collision (mesure de sécurité).

3.3 Projection et démonstration

3.3.1 Pseudo code (Solution sans prise en charge la coopération)

1er Cas :

- Si ($D_{x,y}(t) > D_s(t)$) alors

$$A_x(t+\Delta t) > 0 \text{ [Remarque 1]}$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$$

2ème Cas :

- Si ($D_{x,y}(t) = D_s(t)$) alors

$$\text{Si } (V_x(t) = V_y(t)) \text{ alors}$$

$$A_x(t+\Delta t) = 0$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t)$$

$$\text{Si } (V_x(t) < V_y(t)) \text{ alors}$$

$$A_x(t+\Delta t) > 0 \text{ [Remarque 2]}$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$$

$$\text{Si } (V_x(t) > V_y(t)) \text{ alors}$$

$$A_x(t+\Delta t) < 0 \text{ [Formule 1]}$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$$

3ème Cas :

- Si $(D_{x,y}(t) < D_s(t))$ alors

Si $(V_x(t) \leq V_y(t))$ alors

$A_x(t+\Delta t) < 0$ [Remarque 3]

$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$

Si $(V_x(t) > V_y(t))$ alors

$A_x(t+\Delta t) < 0$ [Formule 1]

$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$

- **Remarque 1** : Le paramètre $A_x(t+\Delta t)$ doit respecter les mesures de confort, dans ce cas $A_x(t+\Delta t)$ peut être déclaré comme variable statique selon la mesure de confort souhaitée ou bien le mode de conduite espéré (sport, ville, etc.).

- **Remarque 2** : Le paramètre $A_x(t+\Delta t)$ doit respecter les mesures de confort, dans ce cas $A_x(t+\Delta t)$ peut être déclaré comme variable statique selon la mesure de confort souhaitée ou bien le mode de conduite espéré (sport, ville, etc.).

- **Remarque 3** : Le paramètre $A_x(t+\Delta t)$ doit respecter les mesures de confort, dans ce cas $A_x(t+\Delta t)$ peut être déclaré comme variable statique selon la mesure de confort souhaitée, il y'a pas de risque de collision mais on doit atteindre la distance de sécurité (mesure de sécurité).

$$\text{Formule 1 : } A_x(t + \Delta t) = \frac{V_x(t) * V_y(t) - V_x(t)^2}{D_{x,y}(t)} \quad (3.2)$$

3.3.2 Démonstration de la formule 1 (freinage exceptionnel)

- Cette formule détermine l'action de décélération optimale à chaque instant T où la mesure de sécurité est non respectée.
- Calculer $A_x(t+\Delta t)$ afin d'éviter la collision entre X et Y (mesure de sécurité).
- Pour calculer la puissance de freinage à appliquer ($A_x(t+\Delta t)$), on doit éviter la collision en prenant compte de la vitesse de x à l'instant t ($V_x(t)$) pour déterminer le temps nécessaire de la collision par rapport à la distance $D_{x,y}(t)$ et on se basant sur les lois de vitesse et d'accélération , ce qui va donner le résultat suivant :

On a :

$$V = \frac{D}{T} \text{ ce qui implique } T = \frac{D}{V}$$

- On remplace les variables et on aura le résultat suivant : $T_{col} = \frac{D_{x,y}(t)}{V_x(t)}$
- T_{col} : le temps de collision, c'est l'intervalle de temps maximal qu'elle possède la voiture X avant la collision avec le véhicule Y.

$$V_y(t) = V_x(t+\Delta t)_{\text{Finale}} \text{ et } V_x(t) = V_x(t)_{\text{Initiale}}.$$

$$\text{et en se basant sur la règle suivante : } A_x = \frac{V(x)_{\text{finale}} - V(x)_{\text{initiale}}}{T}$$

$$\text{on aura : } A_x(t + \Delta t) = \frac{V_y(t) - V_x(t)}{T_{col}}$$

On remplace les variables et le temps de collision T_{col} , ce qui va nous mener directement à la formule de freinage exceptionnel (Formule 1) :

$$A_x(t + \Delta t) = \frac{V_x(t) * V_y(t) - V_x(t)^2}{D_{x,y}(t)} \quad [\text{Formule 1}]$$

3.4 La coopération

Dans le pseudo code précédent, on s'est basé sur le respect strict de la mesure de sécurité. Ce facteur nous a permis de déterminer les cas où la décision du véhicule autonome est ferme (c'est à dire $A_x(t+\Delta t)$ est déterminé précisément), le reste comme il est renseigné dans les remarques suit le mode de conduite espéré ce qui nous laisse un intervalle de proposition à intégrer sur ce modèle de coopération afin de permettre à l'agent automatique chargé de la décision sur l'action de mesurer $A_x(t+\Delta t)$ en toute sécurité.

3.4.1 Solution proposée

Pour objectif de déterminer $A_x(t+\Delta t)$ pour les cas N°1, cas N°2 et cas N°3 cités dans notre pseudo code, on estime créer ce qu'on appelle un modèle prédictif de la vitesse du deuxième véhicule.

Autrement dit, on va essayer d'estimer la vitesse $V_y(t+\Delta t)$, ce qui va nous permettre de définir plus précisément $A_x(t+\Delta t)$.

A cet effet, on a appliqué le même raisonnement de la première partie, c'est-à-dire la logique humaine, et l'approche du monde réel ce qui va nous donner les résultats qu'on va voir dans les sections prochaines.

3.4.2 Logique

- Le changement de vitesse du véhicule signifie mathématiquement le passage d'un chiffre vers un autre chiffre plus haut s'il y'a une accélération et plus bas s'il y'a une décélération ou bien un freinage.
- Ce changement varie en fonction du temps, c'est-à-dire à chaque Δt il existe un $\Omega V(t)$ qui signifie la différence de vitesse réalisée dans ce laps de temps.

- $\Omega V(t)$ est positif si le véhicule accélère et il est négatif si le véhicule freine.
- $\Omega V(t) = 0$ signifie que le véhicule maintient la vitesse précédente.
- La valeur de $\Omega V(t)$ représente clairement les taux de changement de vitesse ou bien l'accélération du véhicule $A(t)$.
- C'est-à-dire avec $\Omega V_y(t)$ on peut réellement déterminer $A_y(t)$ (l'accélération du deuxième véhicule).
- Pour pouvoir estimer la vitesse du deuxième véhicule, il suffit de suivre le changement de $A_y(t)$ en fonction du temps pour déterminer sa vitesse à l'instant $(t + \Delta t)$.
- Sachant que le changement de cette vitesse est progressif, on peut estimer que l'accélération de ce véhicule sera au minimum proche ou égale à la moyenne entre les deux dernières accélérations passées.
- On calcule la différence de l'action entre l'instant t et l'instant $t - \Delta t$.

$A_{diffy}(t) = A_y(t - \Delta t) - A_y(t)$, tel que $A_{diffy}(t)$ est la différence de l'accélération du véhicule (Y) entre l'instant t et l'instant $t - \Delta t$.

- Si on suppose que Δt est tellement minime, et la variation de la vitesse du véhicule (Y) dans ce petit laps de temps est vraiment petite, on peut alors prédire que le changement de vitesse sera encore très minime.
- Pour ne pas négliger cette variation de vitesse on va supposer que le changement de l'accélération ne sera que la continuité de la variation et la valeur de changement de l'accélération sera la moyenne du changement précédent. c'est à dire : $A_{diffy}(t + \Delta t) = \frac{A_{diffy}(t)}{2}$
- Avec ce résultat on obtient : $A_y(t + \Delta t) = A_y(t) + \frac{A_{diffy}(t)}{2}$ (Accélération prévue).
- La vitesse du véhicule (Y) prévu sera calculée comme suit : $V_y(t + \Delta t) = V_y(t) + A_y(t + \Delta t)$

Analyse de l'hypothèse :

L'analyse de l'accélération du véhicule Y ($A_y(t + \Delta t)$) nous démontre 3 cas possibles :

- 1- $A_y(t + \Delta t) > 0$ alors le véhicule (Y) monte la vitesse.
- 2- $A_y(t + \Delta t) < 0$ alors le véhicule (Y) descend la vitesse.
- 3- $A_y(t + \Delta t) = 0$ alors le véhicule (Y) garde la vitesse précédente.

Avec ces données on pourra alors estimer $V_y(t + \Delta t)$ à chaque instant T :

$$V_y(t + \Delta t) = V_y(t) + A_y(t + \Delta t).$$

Exemples :

N° Cas	Type d'action	$A_y(t-\Delta t)$	$A_y(t)$	$A_{diffY}(t)$	$A_{diffY}(t+\Delta t)$	$A_y(t+\Delta t)$ Prévu
1	Accélération	2	3	1	0.5	3.5
		2	2	0	0	2
2	Décélération	-3	-4	-1	-0.5	-4.5
		-3	-3	0	0	-3
3	Maintient de la vitesse	0	0	0	0	0

TABLE 3.1 – Les résultats des différents paramètres d'accélération par application de la coopération.

3.4.3 Intégration de la solution dans l'ancien pseudo code

1er Cas :

Dans ce cas l'accélération du premier véhicule est positive, mais elle n'est pas déterminée. Si on intègre la coopération, c'est-à-dire l'interaction avec la vitesse du deuxième véhicule, on pourra optimiser cette formule selon le raisonnement suivant :

- Si la vitesse du véhicule (Y) à l'instant $(t + \Delta t)$ est inférieure à la vitesse du véhicule autonome, ce dernier peut décider de maintenir sa vitesse tant que la distance de sécurité est respectée.

Nouveau pseudo code pour le 1er Cas :

- Si $(D_{x,y}(t) > D_s(t))$ alors

Si $(V_y(t+\Delta t) > V_x(t))$ alors

$$\mathbf{A}_x(t+\Delta t) = \mathbf{0}$$

Sinon

$$A_x(t+\Delta t) > 0 \text{ [Remarque 1]}$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$$

2ème Cas :

Dans ce cas, si la vitesse du véhicule (Y) à l'instant $(t+\Delta t)$ est supérieure à la vitesse du véhicule autonome, cela signifie que la distance de sécurité ne sera pas respectée à cet instant, ce qui implique l'application de la décélération (freinage exceptionnel) à l'instant $(t + \Delta t)$ selon la formule 1.

Nouveau pseudo code pour le 2ème Cas :

- Si $(D_{x,y}(t) = D_s(t))$ alors

Si $(V_x(t) = V_y(t))$ alors

Si $(V_y(t+\Delta t) > V_x(t))$ alors

$$\mathbf{A}_x(t+\Delta t) < \mathbf{0} \text{ [Formule 1]}$$

Sinon

$$A_x(t+\Delta t) = 0$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t)$$

Si $(V_x(t) < V_y(t))$ alors

Si $(V_y(t+\Delta t) > V_x(t))$ alors

$A_x(t+\Delta t) < 0$ [Formule 1]

Sinon

$A_x(t+\Delta t) > 0$ [Remarque 2]

$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$

Si $(V_x(t) > V_y(t))$ alors

$A_x(t+\Delta t) < 0$ [Formule 1]

$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$

3ème Cas :

Dans ce cas si la vitesse du véhicule (Y) à l'instant $(t+\Delta t)$ est supérieure à la vitesse du véhicule autonome, cela signifie que la distance de sécurité peut être récupérée grâce à l'accélération du véhicule (Y), alors le véhicule (X) peut garder sa vitesse à l'instant (T).

Nouveau pseudo code pour le 3ème Cas :

• Si $(D_{x,y}(t) < D_s(t))$ alors

Si $(V_x(t) \leq V_y(t))$ alors

Si $(V_y(t+\Delta t) > V_x(t))$ alors

$A_x(t+\Delta t) = 0$

Sinon

$$A_x(t+\Delta t) < 0 \text{ [Remarque 3]}$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$$

Si ($V_x(t) > V_y(t)$) alors

$$A_x(t+\Delta t) < 0 \text{ [Formule 1]}$$

$$V_x(t+\Delta t) = V_x(t) + A_x(t+\Delta t)$$

3.5 Implémentation

Dans cette section, on va s'intéresser à l'implémentation du modèle non coopératif "ModelM2" et du modèle coopératif "CoopModelM2".

Le travail a été réalisé avec le langage JAVA en utilisant l'IDE "Eclipse", pour cela on a créé deux classes JAVA nommées comme suit : "ModelM2" et "CoopModelM2" et qui implémentent les pseudos-code précédents.

- **La classe "ModelM2"** : qui représente le modèle non coopératif (ModelM2), et qui contient le pseudo code de ce modèle traduit en langage JAVA, cette classe hérite de la classe "Krauss".

- **La classe "CoopModelM2"** : qui représente le modèle coopératif (CoopModelM2), et qui contient le pseudo code de ce modèle traduit en langage JAVA, cette classe hérite de la classe "ModelM2".

```

1 package simmu.cfm;
2
3 public class ModelM2 extends KraussOrig1{
4     public double defineNextAction(double followSpeed) {
5         if (followSpeed < 0.01 && Math.abs(followSpeed - getSpeed()) < 0.01) return -0.01;
6         double nextAction = followSpeed - getSpeed();
7
8         if (nextAction>0) {
9             return MIN2(nextAction,this.getMaxAccel());
10        }else {
11            return MAX2(nextAction,-this.getMaxDecel());
12        }
13    }
14
15    @Override
16    public double followSpeed() {
17        double vitesse = 0;
18        //TODO implement your algorithm to calculate velocity at t+delta t
19        //TODO calculate d_sec
20        double safeGap = 2 + MAX2(0,
21            super.getSpeed()*1+(
22                super.getSpeed()*(super.getSpeed() - super.getLeadSpeed())
23                )/(2*Math.sqrt(super.getMaxAccel()))
24            );
25
26        //TODO case 1:
27        if (super.getGap()>safeGap) {
28            System.out.print("Case 1:"+getSpeed());
29            return super.getSpeed()+super.getMaxAccel();
30        }
31        //TODO case 2:
32        if (Math.abs(super.getGap()-safeGap)<0.01) {
33            System.out.print("Case 2:"+getSpeed());
34            if (Math.abs(getSpeed()-getLeadSpeed())<0.01)
35                return getSpeed();
36            if (getSpeed() < getLeadSpeed())
37                return getSpeed()+(getLeadSpeed()-getSpeed());
38            if (getSpeed() > getLeadSpeed()){
39                //if (getSpeed())<0.1) return 0;
40                return (getSpeed()+(getSpeed()*getLeadSpeed()-Math.pow(getSpeed(), 2))/getGap())-0.1;
41            }
42        }
43    }
44 }

```

FIGURE 3.3 – Un extrait de la classe JAVA "ModelM2" représentant le modèle non coopératif.

```

1 package simmu.cfm;
2
3 import simmu.perception.VehicleState;
4
5 public class CoopModelM2 extends ModelM2{
6
7     //private VehicleState leader; //état précédent du véhicule leader
8
9     private double lastLeadSpeed1 = -1;
10    private double lastLeadSpeed2 = -1;
11    private double lastvehicleAction;
12
13
14    public void update_lastLeadSpeed(){
15        lastvehicleAction = getAction();
16        lastLeadSpeed2 =lastLeadSpeed1;
17        lastLeadSpeed1=getLeadSpeed();
18
19    }
20
21    public boolean model_coop_prepared(){
22
23        if ( (lastLeadSpeed1 == -1) || (lastLeadSpeed2 ==-1)) { return false;}
24        else {return true;} }
25
26
27    public double coopLeadSpead(){
28
29        double predicateLeadVelocity =0;
30        double lastActionLead = lastLeadSpeed1-lastLeadSpeed2;
31        //TODO tester la valeur de l'ancienne action du leader
32        if (lastActionLead ==0 ){
33            predicateLeadVelocity= lastLeadSpeed1; }
34
35        else if ((lastActionLead) >0 || (lastActionLead<0)) {
36            predicateLeadVelocity= ((lastLeadSpeed1-lastLeadSpeed2)/2 ) + lastLeadSpeed1; }
37
38
39
40        return predicateLeadVelocity;

```

FIGURE 3.4 – Un extrait de la classe JAVA "CoopModelM2" représentant le modèle coopératif.

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a pu démontrer mathématiquement la validité de notre approche et prouver théoriquement le respect strict de la mesure de sécurité dans le contrôle de vitesse du véhicule autonome et connecté.

Reste à tester cette approche avec le simulateur de conduite, afin de démontrer à travers des résultats réels pour pouvoir analyser les avantages et inconvénients de cette solution, ce qui se fera dans le chapitre suivant.

Expérimentations et analyses des résultats

4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter une analyse et des résultats détaillés de notre modèle "ModelM2" (comparaison de la vitesse et l'accélération ou l'action effectuée et aussi la distance entre le véhicule autonome et le véhicule leader) selon deux scénarios différents.

Nous ferons aussi une comparaison entre notre modèle avec le modèle IDM et le modèle de Krauss.

Sans oublier l'intégration de la coopération à notre modèle «CoopModelM2» afin d'améliorer les résultats et le confort. Nous finirons ce chapitre par une petite conclusion.

Notre étude se base principalement sur les éléments clés suivants : la distance de sécurité, l'accélération (l'action effectuée), la distance entre le véhicule autonome et le véhicule leader, la vitesse du véhicule autonome et la vitesse du véhicule leader.

4.2 Présentation de l'environnement de la simulation

Nous présentons dans cette section l'environnement de simulation, précisément l'outil SiMMU. Afin de lancer une simulation de contrôle de vitesse d'un véhicule autonome ce qui nous permet aussi de conduire une étude comparative entre notre modèle (ModelM2)

avec les modèles : IDM et Krauss, Nous avons besoin de configurer l'environnement de simulation. Pour cela, nous suivons les étapes suivantes après l'exécution de SiMMU.

- **SiMMU** : C'est la plateforme de simulation.

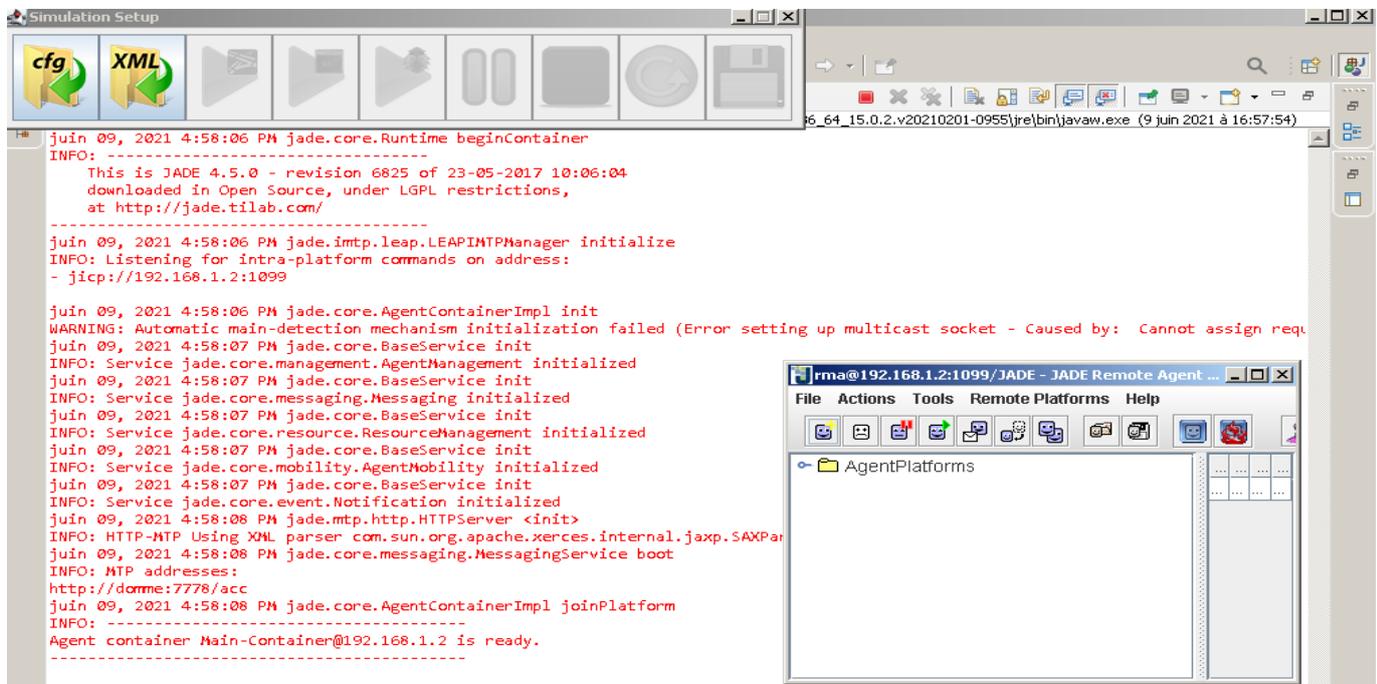


FIGURE 4.1 – L'environnement de simulation.

- **SUMO** : C'est le simulateur.

- **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 décrit 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.

- **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», Exemple : appliquer le modèle «ModelM2» ou «CoopModelM2» (modèle avec coopération) au véhicule autonome dont l'ID est 3, Model = « ModelM2 » ou Model = « CoopModelM2 » avec id = « vehAuto.3 ».

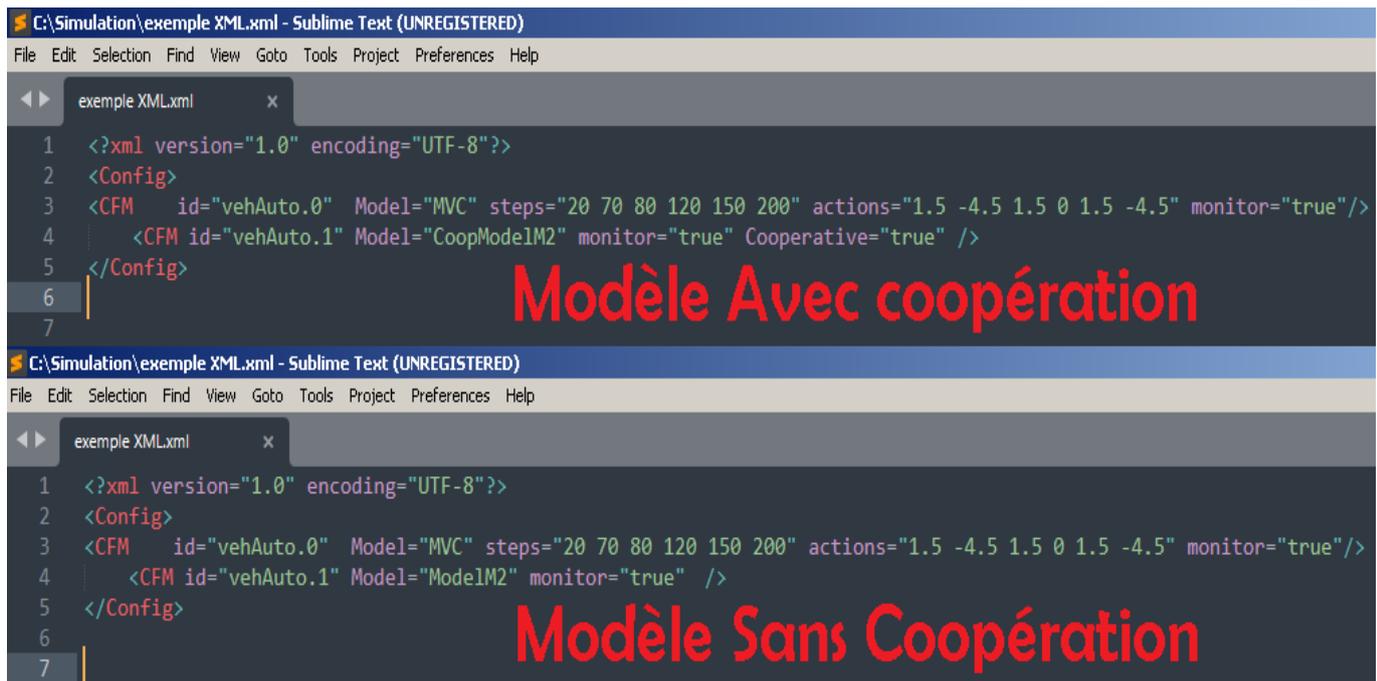


FIGURE 4.2 – Choix du fichier XML.

- **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 besoin 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 du mode de la simulation.

Durant l'exécution, l'état du véhicule contrôlé est affiché sur la console nous permettant de l'examiner en temps réel, et d'avoir des résultats précis et claires (est-ce qu'il y'a une collision ou pas? et les véhicules concernés par la collision et le temps exacte de la collision, la vitesse du véhicule autonome, la vitesse du véhicule leader, la distance entre ces véhicules, l'accélération des véhicules, etc.) et ceci quelque soit le modèle appliqué aux véhicules, le cas du véhicule autonome : le modèle sans coopération «ModelM2» ou le modèle avec coopération «CoopModelM2».

VehID	Speed	LeadSpeed	Gap	Act(t-1)	slope	CO	CO2	HC	PMx	NOx	fuel	Elec
-----CFM-Step:20.0-----												
vehAuto.0	28,50m/s	-1,00m/s	-1,00m	1,50m/s ²	0.0	284.96	16446.51	1.71	0.4	7.02	7.07	0.0
vehAuto.1	7,50m/s	28,50m/s	255,00m	1,50m/s ²	0.0	105.14	5025.66	0.6	0.1	2.13	2.16	0.0
-----CFM-Step:21.0-----												
vehAuto.0	30,00m/s	-1,00m/s	-1,00m	1,50m/s ²	0.0	317.36	17527.22	1.89	0.43	7.5	7.53	0.0
vehAuto.1	9,00m/s	30,00m/s	276,00m	1,50m/s ²	0.0	101.04	5611.82	0.59	0.11	2.37	2.41	0.0
-----CFM-Step:22.0-----												
vehAuto.0	25,50m/s	-1,00m/s	-1,00m	-4,50m/s ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
vehAuto.1	10,50m/s	25,50m/s	291,00m	1,50m/s ²	0.0	99.54	6233.31	0.6	0.12	2.63	2.68	0.0
-----CFM-Step:23.0-----												
vehAuto.0	21,00m/s	-1,00m/s	-1,00m	-4,50m/s ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
vehAuto.1	12,00m/s	21,00m/s	300,00m	1,50m/s ²	0.0	100.65	6890.12	0.62	0.13	2.9	2.96	0.0
-----CFM-Step:24.0-----												
vehAuto.0	16,50m/s	-1,00m/s	-1,00m	-4,50m/s ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
vehAuto.1	13,50m/s	16,50m/s	303,00m	1,50m/s ²	0.0	104.37	7582.26	0.66	0.15	3.19	3.26	0.0
-----CFM-Step:25.0-----												
vehAuto.0	12,00m/s	-1,00m/s	-1,00m	-4,50m/s ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
vehAuto.1	15,00m/s	12,00m/s	300,00m	1,50m/s ²	0.0	110.69	8309.72	0.7	0.17	3.49	3.57	0.0
-----CFM-Step:26.0-----												
vehAuto.0	7,50m/s	-1,00m/s	-1,00m	-4,50m/s ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
vehAuto.1	16,50m/s	7,50m/s	291,00m	1,50m/s ²	0.0	119.63	9072.51	0.76	0.19	3.82	3.9	0.0

FIGURE 4.4 – Les résultats de la simulation.

Maintenant pour exporter ces résultats vers un fichier Excel (.csv*), il faut d'abord arrêter la simulation en cliquant sur le Bouton «STOP» au moment désiré (nous l'avons choisi au moment 200 : STEP 200), ensuite il faut cliquer sur le Bouton «Sauvegarder» pour effectuer l'export des résultats vers le fichier (.csv*) (Voir la figure), notons que le stockage des résultats dans un fichier EXCEL est très important pour faire des analyses et élaborer des graphes de comparaisons et des discussions ou des commentaires sur les résultats obtenues, ce que nous allons voir dans la section suivante.

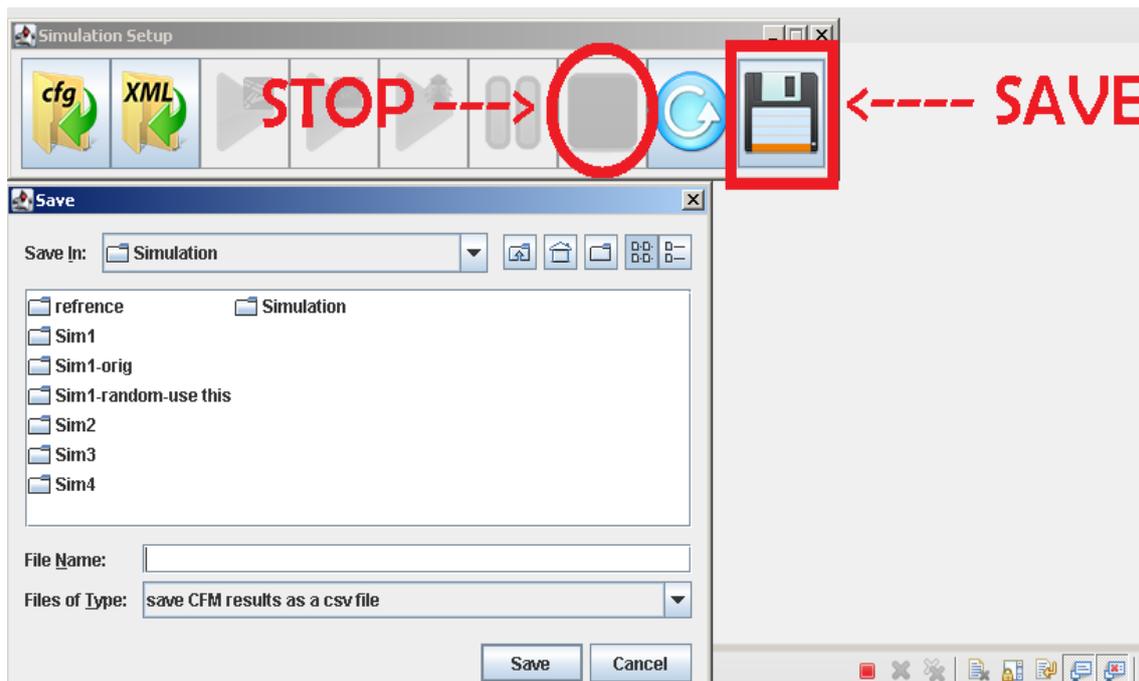


FIGURE 4.5 – La procédure d'export des résultats vers un fichier excel.

4.3 Résultats et discussion de simulation

Scénarios de simulations : Dans la phase de simulation, on va utiliser deux scénarios avec la plateforme SiMMU, afin de valider notre modèle nommé "ModelM2" en terme de sécurité et de confirmer l'amélioration de ces résultats en terme de confort avec la prise en charge de la coopération dans le modèle "CoopModelM2".

Sans oublier de faire une comparaison de notre modèle avec deux autres approches de contrôle de vitesse : Krauss et IDM.

4.3.1 1er Scénario : Scénario circulaire avec un seul véhicule leader

Ce scénario touche plusieurs aspects en terme de temps et en terme d'action afin de pouvoir tester notre modèle d'une manière plus optimisée et dans les conditions les plus extrêmes.

Pour réaliser les tests, on a créé deux véhicules dans la plateforme de simulation comme suit :

1- Un véhicule leader avec les caractéristiques suivantes :

- Accélération maximale : 1.5 m/s^2 .
- Décélération maximale : -4.5 m/s^2 .

Temps (s)	0 - 20	21 - 70	71 - 80	81 - 120	121 - 150	150 - 200
Accélération (m/s^2)	1.5	-4.5	1.5	0	1.5	-4.5

TABLE 4.1 – Les actions du véhicule leader en fonction du temps.

2- Un véhicule autonome avec les caractéristiques suivantes :

- Accélération maximale : 1.5 m/s^2 .
- Décélération maximale : -4.5 m/s^2 .

et l'entrée en action va être à l'instant $T = 15\text{s}$.

Les réactions du véhicule Autonome vont être gérés par notre modèle.

- 1ère Étape : (De 0 à 20 secondes)

Dans cette étape le véhicule leader va prendre de la vitesse et de la distance jusqu'à à l'instant $T=15\text{s}$, qui signifie l'entrée du véhicule autonome en action.

Le véhicule leader va appliquer son accélération maximale qui égale $A = 1.5 \text{ m/s}^2$.

- 2ème Étape : (De 21 à 70 secondes)

Dans cette phase d'action, le véhicule leader va appliquer une décélération maximale (freinage à force) qui égale $A = - 4.5 \text{ m/s}^2$, Dans l'objectif d'arrêter ce véhicule pour nous permettre d'observer la réaction du véhicule autonome.

- 3ème Étape : (De 71 à 80 secondes)

Dans cette étape, le véhicule leader redémarre à nouveau avec une accélération maximale qui égale $A = 1.5 \text{ m/s}^2$, et le véhicule autonome est sensé suivre son action.

- 4ème Étape : (De 80 à 120 secondes)

Dans cette étape, on va tester le cas de maintien de vitesse par le véhicule leader, afin d'observer toujours la réaction du véhicule autonome.

L'action qu'il va appliquer le véhicule leader dans cette phase de test est $A = 0 \text{ m/s}^2$.

- 5ème Étape : (De 121 à 150 secondes)

Dans cette phase, on instruit au véhicule leader d'augmenter son accélération vers le maximum, avec $A = 1.5 \text{ m/s}^2$, afin d'augmenter sa vitesse.

- 6ème Étape : (De 151 à 200 secondes)

C'est l'étape finale du test, dans cette dernière phase on va appliquer une décélération maximale du véhicule leader avec $A = -4.5 \text{ m/s}^2$, pour terminer sa course, et obtenir les chiffres finales du test.

4.3.1.1 Analyse des résultats du modèle non coopératif "ModelM2"

Le lancement de la simulation dans la plateforme SiMMU a démontré la validation de notre modèle selon notre algorithme.

La validation d'un modèle signifie la finition du processus de test de contrôle de vitesse sans collision.

Le test de contrôle de vitesse dans cette simulation a pris en compte un intervalle de temps de 200 secondes.

Les résultats du test sont représentés dans un tableau qui contient les valeurs des différents paramètres à chaque instant T Les paramètres suivis dans ce test sont :

- 1- Véhicule leader : Vitesse, accélération.
- 2- Véhicule Autonome : Vitesse, accélération, distance, Vitesse du véhicule leader.

Ces résultats sont représentés dans des graphes indépendants, en fonction du temps et chaque graphe représente la variation d'un paramètre unique.

- Analyse des résultats du véhicule leader et autonome :

- La vitesse :

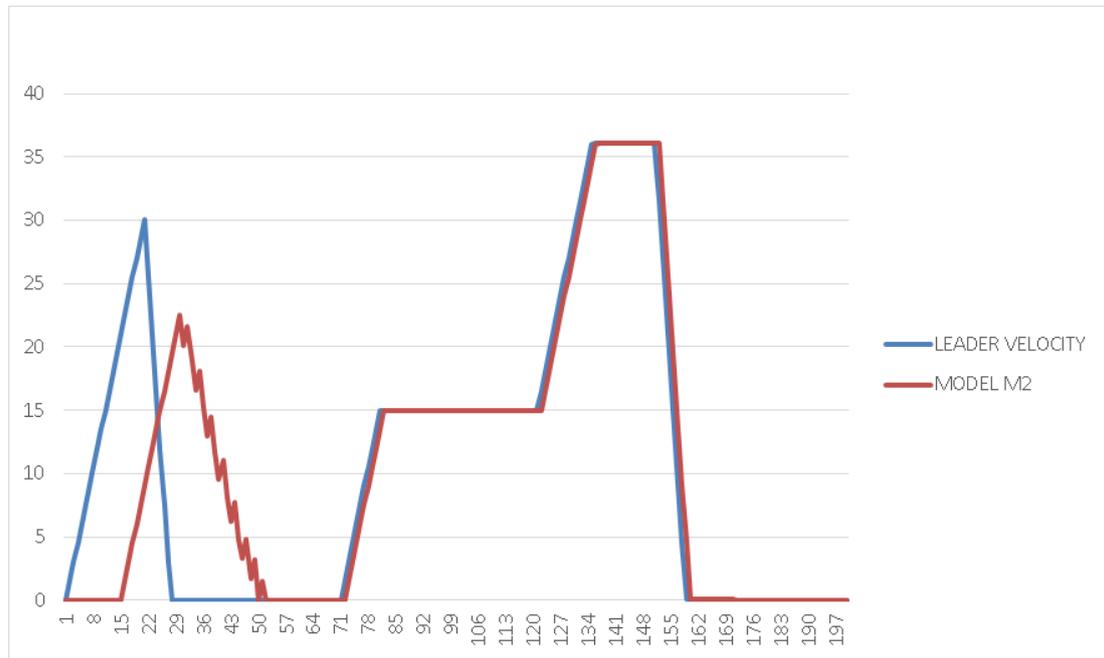


FIGURE 4.6 – Une comparaison de vitesses entre le véhicule leader et le véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2".

Dans ce graphe, nous suivons la variation de vitesse de notre véhicule autonome par rapport à la vitesse du véhicule leader.

Nous remarquons dans ce graphe deux phases principales.

1ère Phase (De 0 à 51s) :

Dans cette phase notre modèle a démarré l'augmentation de la vitesse à l'instant $t=15$.

L'instant $t=30$ représente la vitesse maximale de notre véhicule autonome dans cette phase.

La descente de vitesse de notre véhicule autonome dans cette phase était progressive, avec des augmentations légères de vitesses ce qui est très logique vu le changement de la distance de sécurité à chaque instant t .

2ème Phase (De 52 à 200s) :

Dans cette phase, on remarque dans le graphe qu'il y'a un suivi très stable du véhicule autonome de notre modèle avec la vitesse du véhicule leader, ceci est justifié par le redémarrage simultané des deux véhicules ce qui a permis la stabilité dans la distance de sécurité.

- L'accélération :

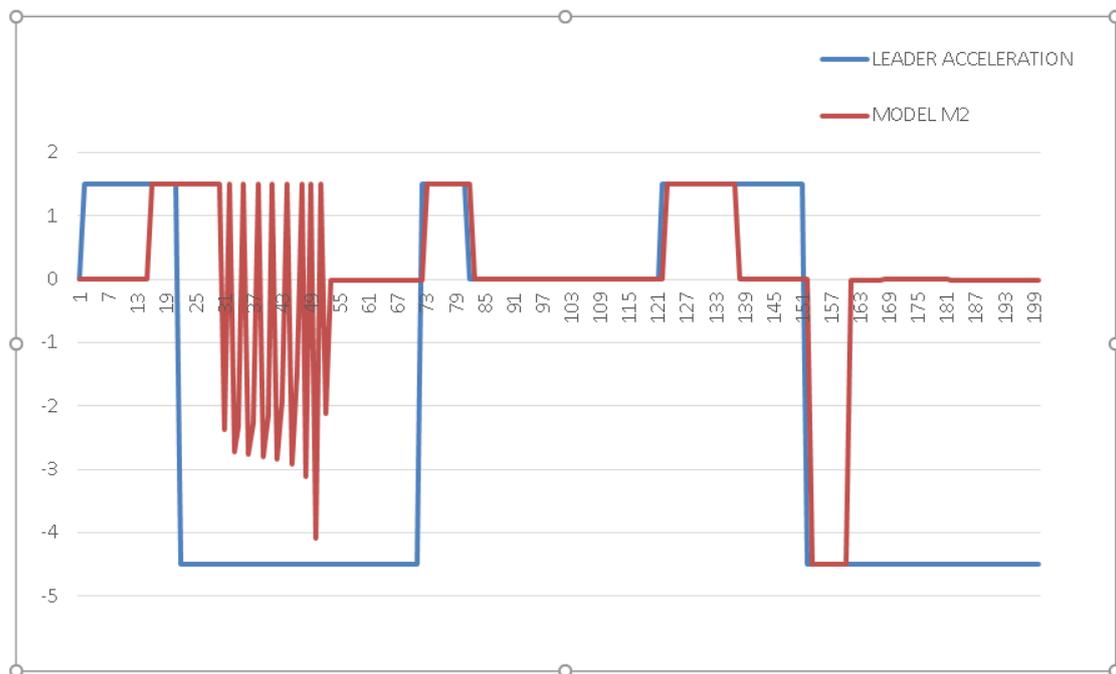


FIGURE 4.7 – L'accélération du véhicule leader et du véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2".

Dans ce graphe, nous faisons la comparaison entre les deux véhicules en terme d'accélération, ce qui nous permet de déduire les résultats suivants :

- L'instant $t = 15s$: Le démarrage du véhicule autonome avec une accélération $= 1.5m/s^2$.
- De 29 à 51s : notre véhicule autonome fait plusieurs accélérations et décélérations, Dans cet intervalle de temps le véhicule leader était en train de faire une décélération maximale égale à $-4.5 m/s^2$.
- Cette réaction de notre modèle est dû à la variation de la distance de sécurité, et l'absence de la coopération dans ce modèle (conduite aveugle, la seule information disponible est la distance entre les deux véhicules et la vitesse du véhicule leader).

- A partir de l'instant 52s : on remarque une stabilité dans les actions d'accélération de notre modèle par rapport au véhicule leader, ceci est du au redémarrage simultané des deux véhicules.

- **La distance :**

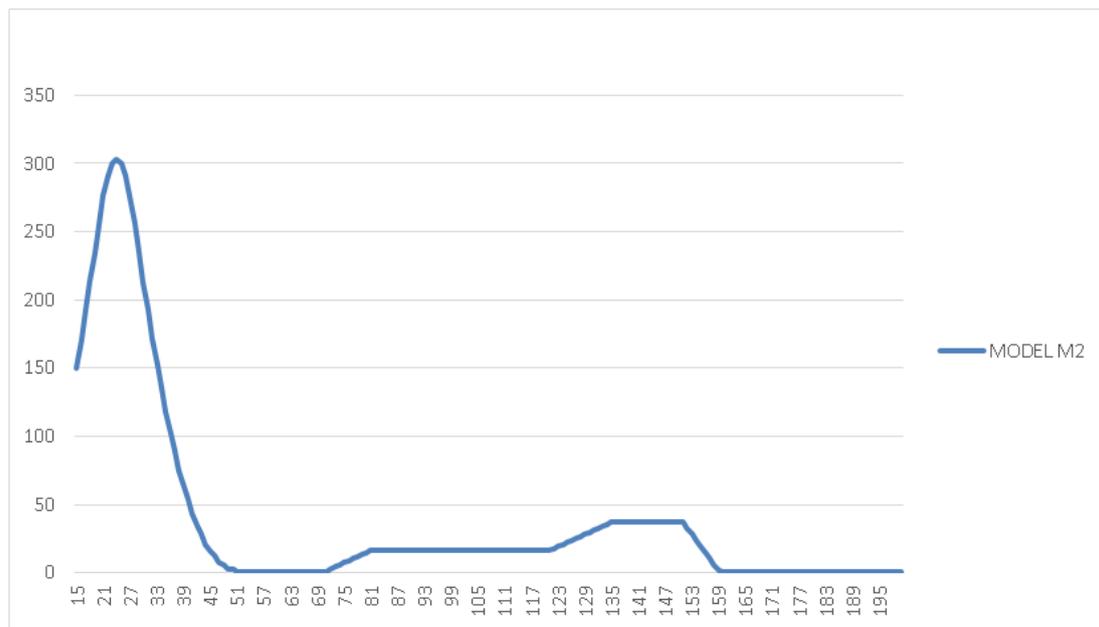


FIGURE 4.8 – La distance entre le véhicule autonome et le véhicule leader dans le modèle non coopératif "ModelM2".

Ce graphe représente la réaction de notre modèle afin d'atteindre une distance optimale dans la conduite, cette distance doit être toujours proche à la distance de sécurité a chaque instant T et en fonction des deux vitesses des deux véhicules (autonome et leader).

On remarque dans ce graphe, qu'au début du scénario, la distance entre les deux véhicules s'agrandit à cause du démarrage tardif de notre véhicule autonome, ce qui a permet au véhicule leader de prendre plus de distance vu que sa vitesse était plus grande au début de la course.

A partir de l'instant 52s, la distance entre les deux véhicules est toujours stable et raisonnable (entre 32.66 m à grande vitesse jusqu'à 0.20 m à l'arrêt).

4.3.1.2 Comparaison entre le modèle non coopératif "ModelM2" avec les approches "IDM" et "Krauss"

- La vitesse :

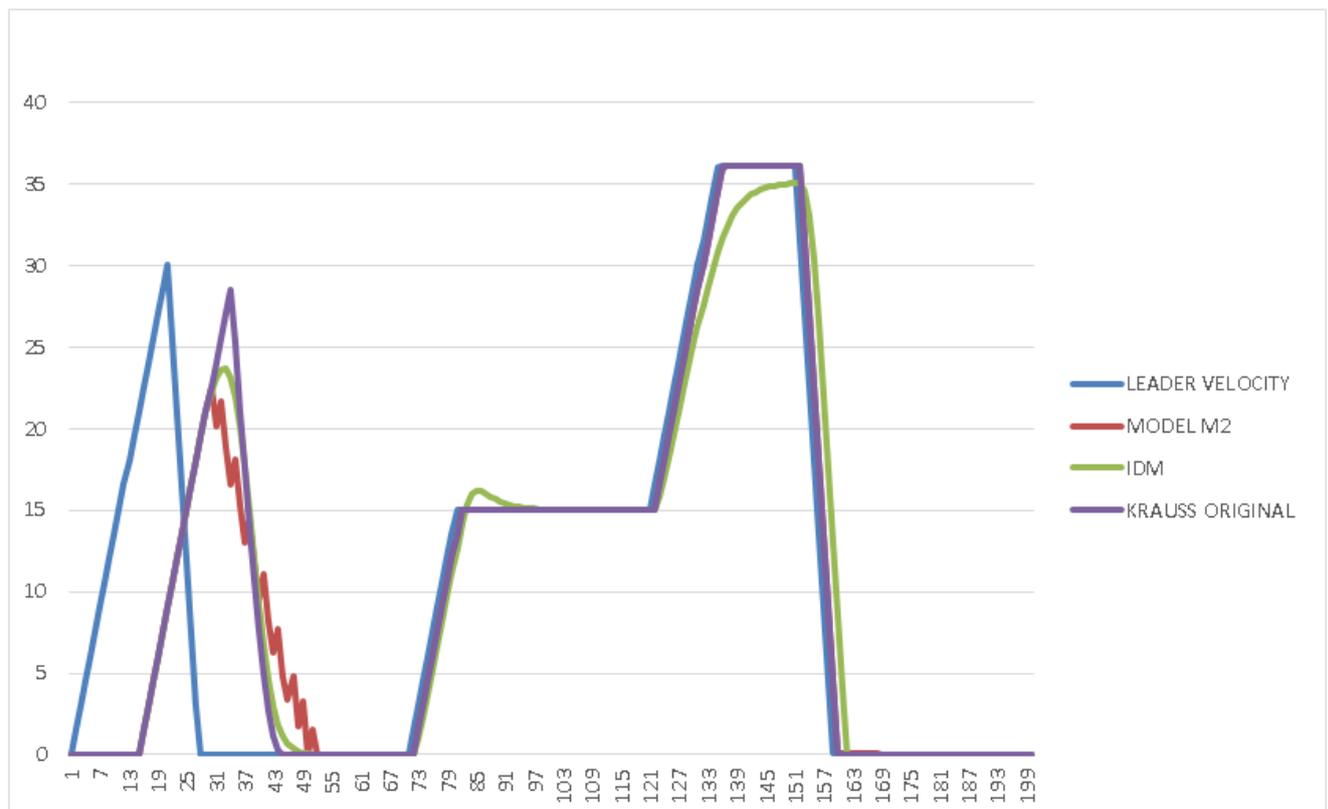


FIGURE 4.9 – Les vitesses des véhicules autonomes dans le modèle non coopératif "ModelM2" et les approches "IDM" et "Krauss".

Ce graphe représente les variations des vitesses du véhicule autonome en utilisant le modèle de Krauss, le modèle IDM, et notre modèle "ModelM2" par rapport à la vitesse du véhicule leader.

Dans ce graphe on remarque que les courbes sont presque congruentes tout au long de la course.

La différence remarquable dans ces graphes, c'est dans la vitesse maximale atteinte par chaque modèle dans la première phase (lors du démarrage tardif) après le freinage du véhicule leader.

Les vitesses maximales atteintes par le véhicule autonome de chaque modèle :

- IDM a atteint une vitesse maximale de 23.65 m/s à T=33s.
- Krauss a atteint une vitesse maximale de 28.5 m/s à T=34s.
- ModelM2 a atteint une vitesse maximale de 21.62 m/s à T=32s.

- **L'accélération :**



FIGURE 4.10 – Les accélérations des véhicules autonomes dans le Modèle non coopératif "ModelM2" et les approches "IDM" et "Krauss".

En terme d'accélération, nous ne pouvons pas faire la comparaison vu la différence de vitesse du véhicule autonome à chaque instant T ce qui reflète sur ses actions suivant chaque modèle et selon chaque situation.

Cependant, on remarque que les actions dans chaque modèle (accélération et décélération) sont toujours proportionnelles aux actions du véhicule leader, ce qui valide le raisonnement de contrôle de vitesse en terme d'actions.

- La distance :

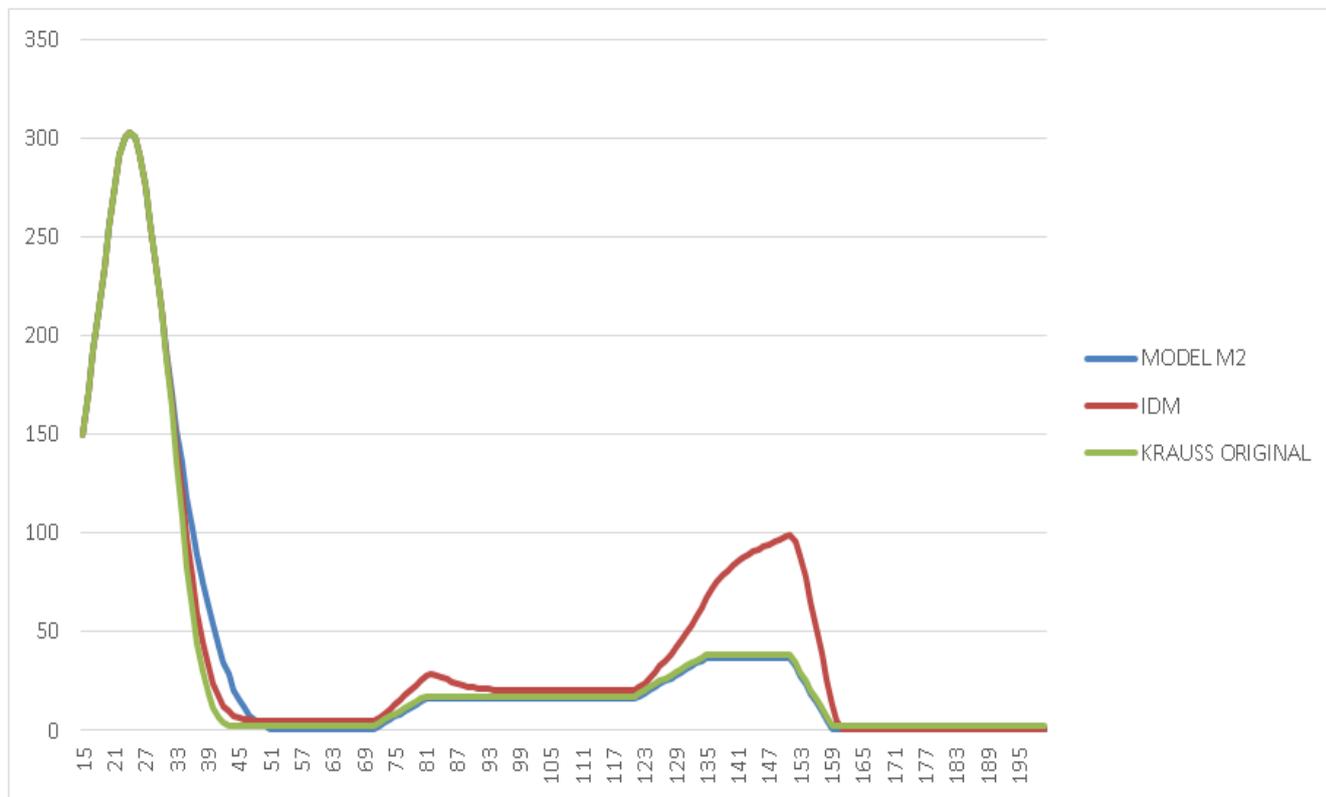


FIGURE 4.11 – Le changement des distances dans les modèles "ModelM2" "IDM" et "Krauss".

Ce graphe représente une comparaison entre les trois modèles en terme de distance à chaque instant T.

Les courbes sont presque congruentes, et la variation de distance dans chaque modèle suit les actions du véhicule autonome.

Le principe fondamentale dans la distance est le respect de la mesure de sécurité (c'est à dire l'absence de la collision).

Dans ce graphe le véhicule autonome termine sa course dans chaque modèle avec les distances suivantes :

- IDM : 0.46 m.
- Krauss : 2.48 m.
- ModelM2 : 0.20 m.

4.3.1.3 Analyse des résultats du modèle coopératif "CoopModelM2"

L'intégration de la coopération dans notre modèle permet l'amélioration du comportement du véhicule autonome, et donne plus de stabilité à ses actions durant toute la période du test.

Les résultats de notre modèle coopératif sont représentés en terme des différents facteurs et en comparaison avec notre modèle sans coopération.

- **La vitesse :**

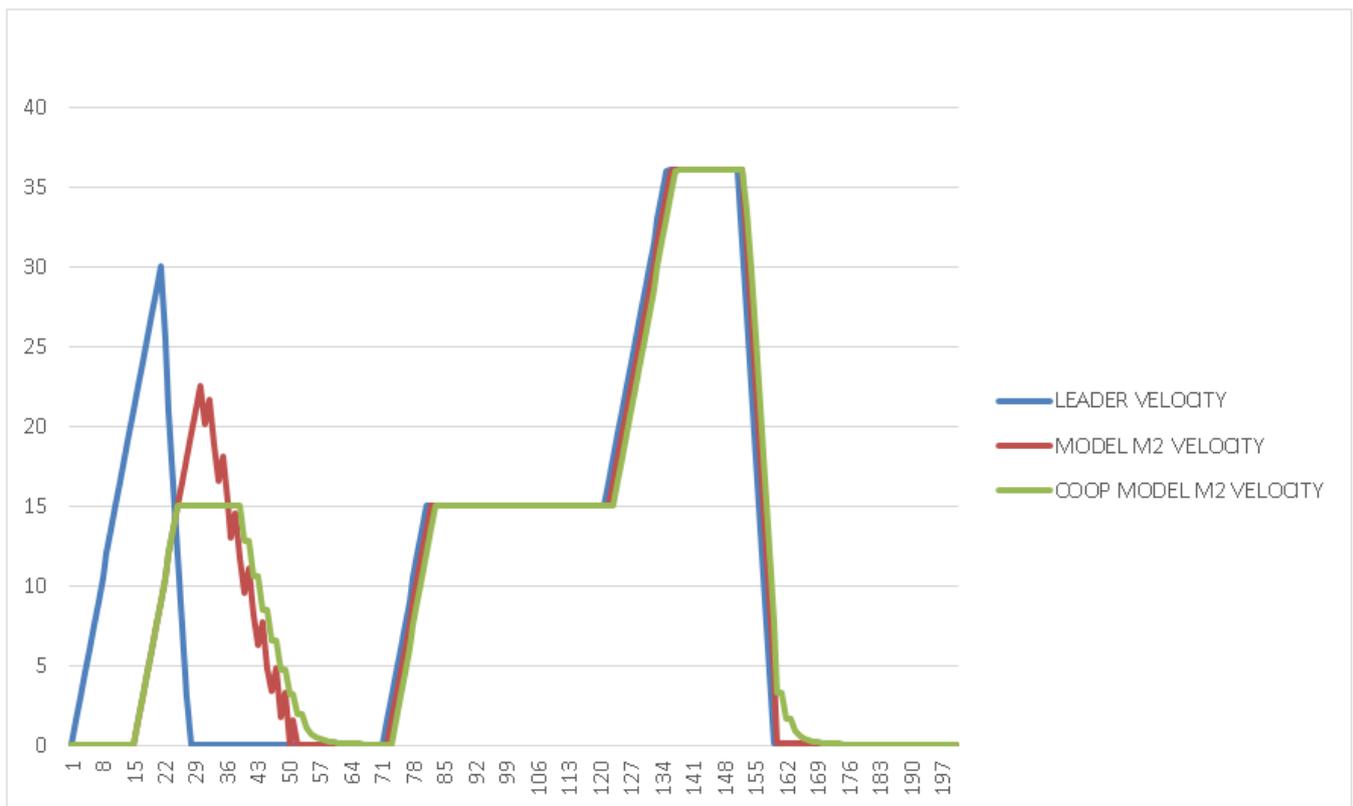


FIGURE 4.12 – La vitesse du véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2" et le modèle coopératif "CoopModelM2".

Ce graphe nous permet de voir les avantages de la coopération d'une manière plus claire.

Dans la première phase de la course, la vitesse maximale atteinte dans notre modèle avec coopération est égale 15 m/s.

A l'instant $t=26s$ représente dans ce graphe l'intersection des courbes (les vitesses sont égaux dans chaque modèle avec la vitesse du véhicule leader).

La différence remarquable est après cet instant :

- La vitesse du véhicule leader est en baisse permanente.
- Dans le modèle "ModelM2" (sans coopération) le véhicule autonome a continué son accélération, cependant dans le modèle "CoopModelM2" (avec coopération), la prédiction de la vitesse du véhicule leader a permis au véhicule autonome de maintenir sa vitesse jusqu'au moment où la distance de sécurité est atteinte.

- **L'accélération :**

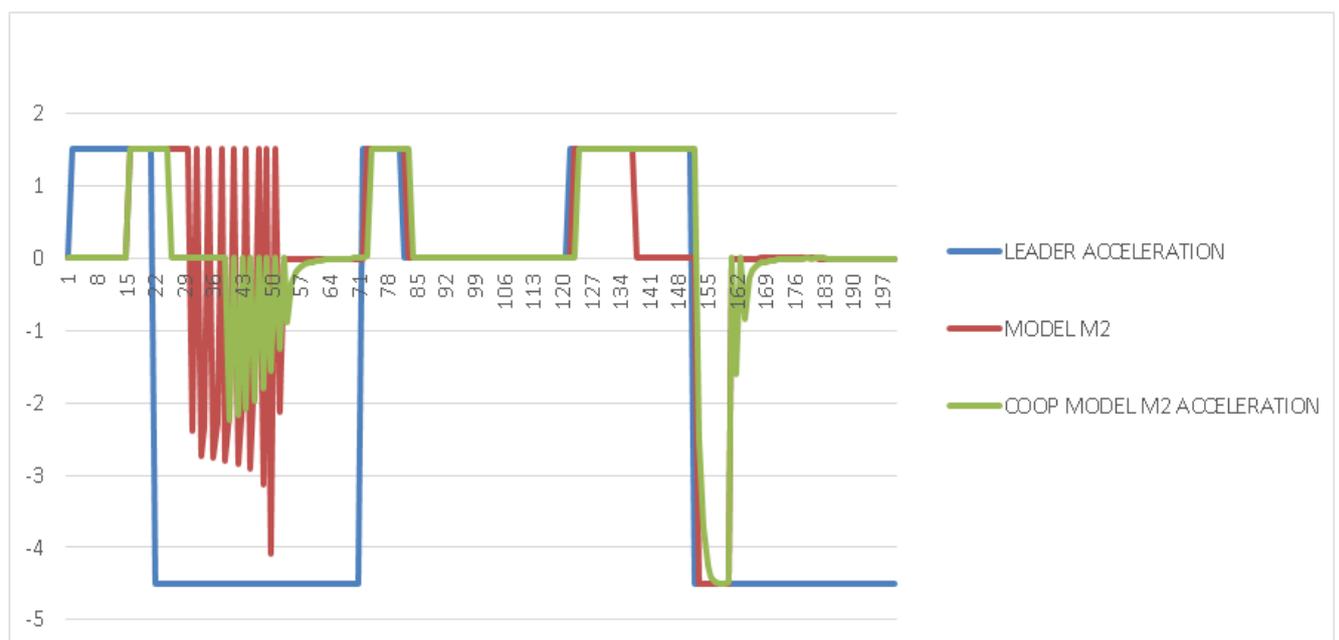


FIGURE 4.13 – L'accélération du véhicule autonome dans le modèle non coopératif "ModelM2" et le modèle coopératif "CoopModelM2".

Dans ce graphe, on remarque une amélioration dans les actions du véhicule autonome dans ses actions lorsqu'il utilise la coopération.

Les actions d'accélération et de décélération tendent vers la stabilité, ce qui maximise le confort dans la conduite.

- La distance :

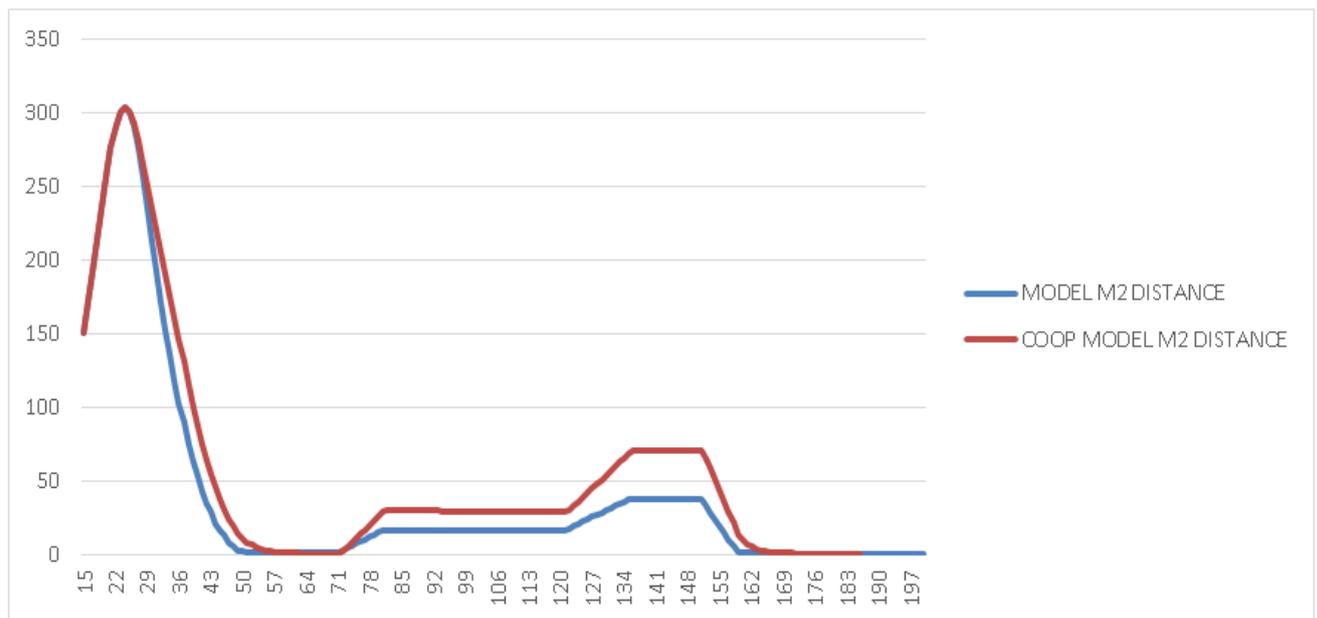


FIGURE 4.14 – La variation de distance dans le modèle non coopératif "ModelM2" et le modèle coopératif "CoopModelM2".

En terme de distance, on remarque que dans le modèle avec coopération "CoopModelM2" y'a plus de longues distances durant toute la course, ceci est dû à la réaction du véhicule autonome avec la prédiction des actions du véhicule leader.

La distance finale dans le modèle coopératif "CoopModelM2" à l'arrêt égale 0.65 m.

4.3.2 2ème Scénario : la ville avec plusieurs véhicules

Dans ce scénario, nous allons intégrer le véhicule autonome dans une simulation d'une ville avec plusieurs voitures dans le circuit de conduite.

Le véhicule autonome rejoint le circuit à l'instant $T = 50s$.

Les caractéristiques des autres véhicules sont aléatoires et gérés par la plateforme SiMMU, cependant on garde les mêmes caractéristiques pour le véhicule autonome comme suit :

Le véhicule autonome avec les caractéristiques suivantes :

- Accélération maximale : 1.5 m/s^2 .
- Décélération maximale : -4.5 m/s^2 .

et l'entrée en action va être à l'instant $T = 50s$.

Les réactions du véhicule autonome vont être gérés par notre modèle.

La simulation dans ce scénario à pour objectif de confirmer la validité de notre modèle nommé "ModelM2" (modèle sans coopération) en terme de sécurité et d'améliorer ses résultats avec la prise en charge de la coopération dans le modèle "CoopModelM2" (avec coopération) en terme de confort, c'est-à-dire plus de stabilité dans ses actions.

L'analyse des résultats va être basée sur la comparaison des réactions du véhicule autonome en utilisant chaque modèle.

Le lancement de la simulation nous a mener aux résultats que nous allons voir dans les sous-sections suivantes.

4.3.2.1 Comparaison des vitesses

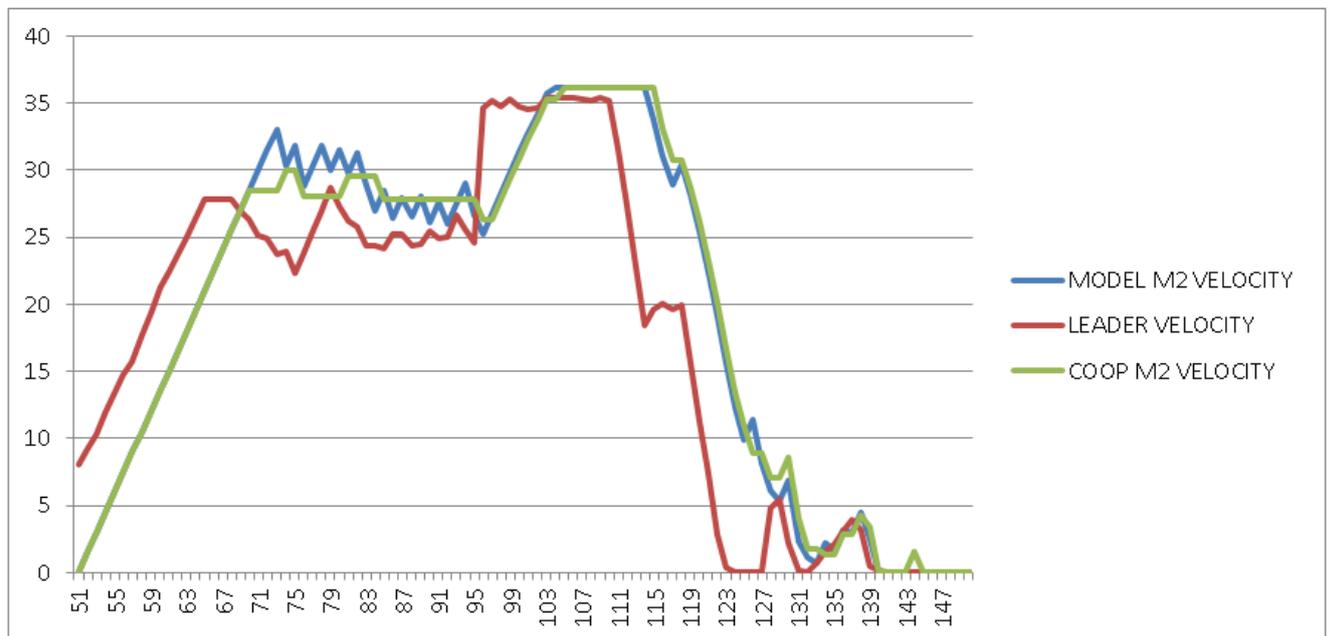


FIGURE 4.15 – La variation des vitesses du véhicule autonome et leader dans le modèle coopératif et le modèle non coopératif.

Ce graphe représente les variations des vitesses du véhicule autonome par rapport aux changements de vitesse du véhicule leader en utilisant le modèle coopératif et le modèle non coopératif.

On remarque que les vitesses du véhicule leader dans le modèle coopératif sont plus stables dans leurs variations par rapport au "ModelM2" (modèle sans coopération) ce qui se projette positivement sur le comportement du véhicule lors de la conduite, aussi qui confirme l'amélioration du modèle non coopératif en terme de confort.

Cette remarque est bien claire sur l'intervalle de temps [67,99]s.

4.3.2.2 Comparaison des accélérations

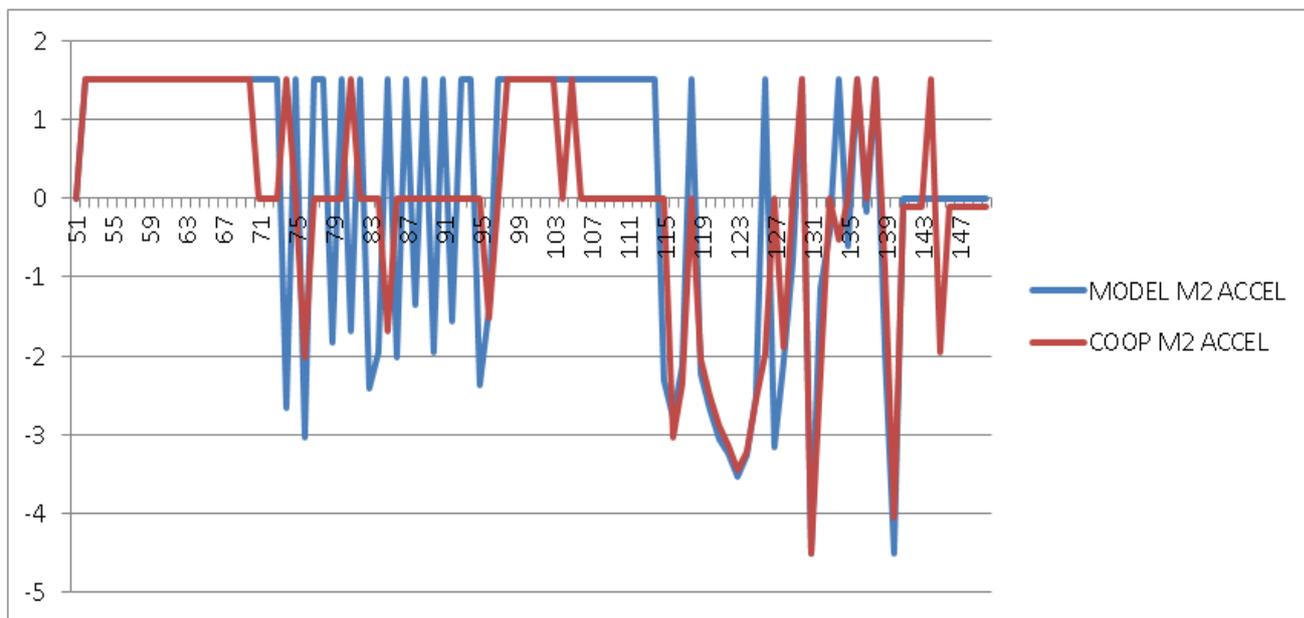


FIGURE 4.16 – La variation d'accélération du véhicule autonome dans le modèle coopératif et le modèle non coopératif.

Ce graphe comparatif d'actions confirme les résultats déclarés dans le graphe précédent (graphe des vitesses). Car on remarque que les actions du véhicule autonome dans le modèle "CoopModelM2" (modèle avec coopération) sont moins variantes que dans le "ModelM2" (modèle sans coopération), ceci confirme la validité de notre vision de la coopération sur l'amélioration du comportement du véhicule en termes de confort.

4.3.2.3 Comparaison des distances

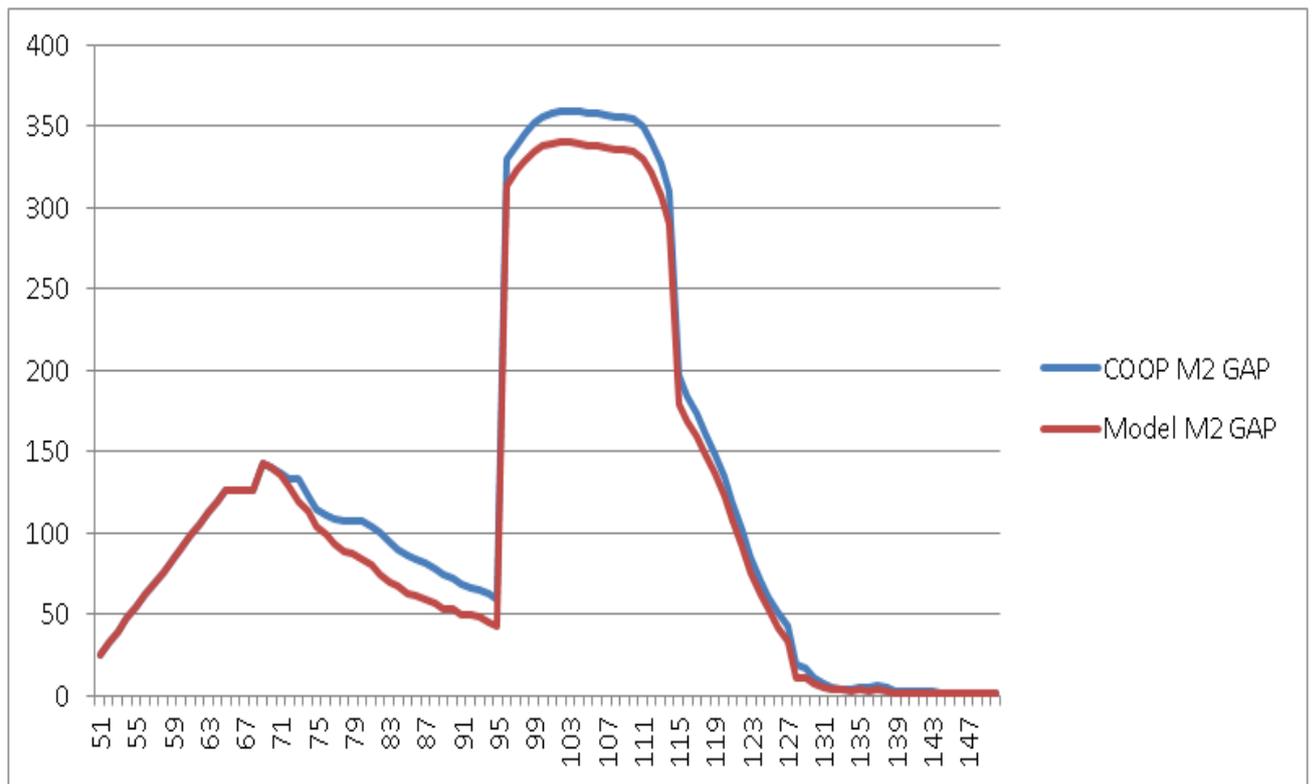


FIGURE 4.17 – La variation des distances dans le modèle coopératif et le modèle non coopératif.

Dans ce graphe, nous voyons bien clair que la courbe de distance dans le modèle coopératif "CoopModelM2" est toujours plus haute que celle du modèle non coopératif "ModelM2", ceci est dû au fait que le véhicule autonome dans la coopération prend toujours plus de distance car ses actions sont dans la plupart des cas basées sur l'incertain (la prédiction implique plus de prévention).

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons lancé la simulation sur la plateforme SiMMU, en utilisant deux scénarios différents afin d'obtenir les résultats et de les représenter sous forme de graphes qui montrent les variations des actions du véhicule autonome par rapport au véhicule leader en fonction de vitesses, et aussi les variations d'accélération et de distances.

On a comparé ces résultats, avec les résultats des deux approches existantes (Krauss et IDM).

nous avons terminé ce chapitre par une comparaison avec les résultats du modèle coopératif pour confirmer l'amélioration de notre approche ou bien le modèle non coopératif "ModelM2".

Conclusion générale et perspectives

Dans ce travail de recherche, on a imaginé, créé, démontré et validé une nouvelle vision sur le contrôle de vitesse dans les systèmes de conduite autonome.

Cette nouvelle approche basée principalement sur les distances permet de libérer les actions du véhicule autonome tout au long de son trajet ce qui signifie l'autonomie du mode de conduite (choix du mode de conduite peut être déterminé et modifié dans le même trajet) contrairement aux autres travaux basés principalement sur la détermination de la vitesse de sécurité (mode de conduite statique).

Ce point de vue dans notre approche est considéré comme l'avantage principale de notre modèle, aussi comme étant le nouveau paradigme du raisonnement afin de permettre plus d'autonomie au véhicule autonome dans le contrôle de sa vitesse.

Ensuite, nous avons intégré la coopération à ce modèle en se basant sur la prédiction des actions du véhicule leader dans le futur pour permettre de stabiliser les variations des actions du véhicule autonome afin d'améliorer son mode de conduite en terme de confort et d'éviter les changements agressifs des actions dans les trajets.

À la fin, on a terminé ce mémoire par les différents tests de simulations, et on a obtenu des résultats qui confirment notre hypothèse que ca soit en terme de sécurité dans le modèle sans coopération "ModelM2" et en terme de confort dans le modèle avec coopération "CoopModelM2".

Perspectives :

Prochainement, les travaux de recherche pour l'amélioration de notre modèle se baseront sur les objectifs suivants :

- Intégrer de nouveaux agents autonomes chargés de gérer le mode de conduite dans ce modèle et qui permettent le basculement d'un mode vers un autre dans la même course.
- Améliorer le modèle de la coopération pour la prise en charge des actions du véhicule Post-Leader (c'est-à-dire le véhicule qui se trouve devant le véhicule leader).

Bibliographie

- [1] Wooseok Do, Omid M. Rouhani and Luis Miranda-Moreno; Simulation-Based Connected and Automated Vehicle Models on Highway Sections, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, 817 Sherbrooke Street West, Montreal, QC H3A 0C3, Canada. Claudio Roncoli; 2020, Volume 2019 page 01 and 02.
- [2] <https://www.retresco.de/lexikon/kuenstliche-intelligenz/#was-ist-k%C3%BCnstliche-intelligenz> DV : 18/05/2021.
- [3] <https://master-iesc-angers.com/ia-et-intelligence-humaine/>; Raminoson-goni Sitraka, 20/01/2020 DV : Mai 2021.
- [4] <https://www.bmdw.gv.at/Themen/Digitalisierung/Strategien/Kuenstliche-Intelligenz.html> DV : 18/05/2021.
- [5] Groupe VIP 360. L'intelligence artificielle, de l'humain à la machine; Livre blanc, Juillet 2018.
- [6] <https://www.ionos.fr/digitalguide/web-marketing/vendre-sur-internet/quest-ce-que-lintelligence-artificielle/> DV : Mai 2021.
- [7] <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-4-types-artificial-intelligence-ai-bernard-marr> DV : Juin 2021.
- [8] Saleh, Ziyad. (2019). Artificial Intelligence Definition, Ethics and Standards; Page 04-06.
- [9] <https://tpe-artificial-intelligence.jimdo.com/iv-1-influence-de-l-ia-dans-la-soci%C3%A9t%C3%A9/pour-ou-contre/avantages/> DV : Mai 2021.
- [10] http://www.tpeia.sitew.fr/Avantages_Inconvenients.B.htm#Avantages_Inconvenients.B DV : Mai 2021.
- [11] Velik, Rosemarie. (2012). AI Reloaded : Objectives, Potentials, and Challenges of the Novel Field of Brain-Like Artificial Intelligence. BRAIN Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience. 3. 25-54.
- [12] <http://www2.agroparistech.fr/ufr-info/membres/cornuejols/Teaching/AGRO/Cours-IA/Tr-cours-IA-1-v2018x4.pdf> DV : Mai 2021.
- [13] <https://www.tbs-education.fr/actualite/lintelligence-artificielle-data-for-good/> DV : Mai 2021.

- [14] <https://www.onisep.fr/Pres-de-chez-vous/Hauts-de-France/Amiens/Informations-metiers/Le-numerique-et-l-intelligence-artificielle/L-intelligence-artificielle-et-ses-domaines-d-application> DV : Mai 2021.
- [15] <https://www.intelligence-artificielle-school.com/secteurs-impactes/> DV : Mai 2021.
- [16] Adamopoulou, Eleni & Moussiades, Lefteris. (2020). Chatbots : History, technology, and applications. *Machine Learning with Applications*. 2. 10.1016/j.mlwa.2020.100006 page 04.
- [17] Lefort, Benoîte & Aglzim, El-Hassane & Gechter, Franck & Romet, Pierre & Senouci, Sidi-Mohammed. (2019). *La Place Du Véhicule Autonome Dans Une Mobilité Propre*; Page 06.
- [18] *L'intelligence artificielle en plein boum.pdf* page 07.
- [19] Adam, Carole. (2017). Jeux vidéo et IA. 10.13140/RG.2.2.12114.56006. Vol 87,page 40.
- [20] Peter Habermehl;Intelligence Artificielle, Master 1ère année Informatique Université de Paris 7. 2005-2006.
- [21] Adjoudj, Reda. (2006). Intelligence Artificielle.
- [22] *agentsIntelligents.pdf*
- [23] Stuart Russell, Peter Norvig;Intelligence artificielle : Avec plus de 500 exercices (Artificial Intelligence : A Modern Approach). France;Edition française supervisée par Fabrice Popineau, 2010.
- [24] ROXIN, I., BOUCHEREAU A., "Ecosystème de l'Internet des Objets", dans Bouhai N. et Saleh I., (dir.) "Internet des objets : Evolutions et Innovations ", ISTE Editions Londres, Mai 2017.
- [25] Diallo Abdoulaye et Diallo Alpha Issaga, *Les voitures connectés*; Université de Haute Alsace. 2015/2016.
- [26] 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.
- [27] Stefan Krauß. *Microscopic modeling of traffic flow : Investigation of collision free vehicle dynamics*. Thesis, Universit at zu K oln,Germany, 1998.
- [28] Nils Eissfeldt & Peter Wagner. Effects of anticipatory driving in a traffic flow model. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, vol. 33, no. 1, pages 121–129, 2003.
- [29] Michael Schreckenberg & Dietrich E Wolf. *Traffic and granular flow'97* : Gerhard-mercato-universit at duisburg, germany, 6-8 october 1997. Springer Verlag, 1998.
- [30] Martin Treiber, Ansgar Hennecke & Dirk Helbing. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations. *Physical review E*, vol. 62, no. 2, page 1805, 2000.
- [31] Martin Treiber & Dirk Helbing. Memory effects in microscopic traffic models and wide scattering in flow-density data. *Physical Review E*, vol. 68, no. 4, page 046119, 2003.
- [32] PeterWagner. NE. Effects of anticipatory driving in a trafic ow model. *The European Physical Journal B Condensed Matter and Complex Systems.*, vol. 33, no. 1, pages 121.
- [33] 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.

- [34] Christel Baier and Joost-Pieter Katoen; Principles Of Model Checking, volume 950. 2008.
- [35] Marie-Ange Lebre. De l'impact d'une décision locale et autonome sur les systèmes de transport intelligent à différentes échelles. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Université de Lyon, 2016. Français. fNNT : 2016LYSEI007ff. fftel-01347351v2; page 24-26.
- [36] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT> DV : Mai 2021.
- [37] Inria, Livre blanc « Véhicules autonomes et connectés »; Les défis actuels et les voies de recherche. France, 2018.
- [38] Johan Arcile, Jeremy Sobieraj, Hanna Klaudel, and Guillaume Hutzler. Combination of simulation and model-checking for the analysis of autonomous vehicles' behaviours : a case study. In 15th European Conference on Multi-Agent Systems, 2018.
- [39] Martin Treiber and Arne Kesting. Elementary Car-Following Models. In Traffic Flow Dynamics, pages 157–180. 2013.
- [40] Marie-Ange Lebre. De l'impact d'une décision locale et autonome sur les systèmes de transport intelligent à différentes échelles. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Université de Lyon, 2016. Français. fNNT : 2016LYSEI007ff. fftel-01347351v2.
- [41] M. Saifuzzaman and Z. Zheng, "Incorporating human-factors in car-following models : a review of recent developments and research needs," Transportation Research Part C : Emerging Technologies, 2014.
- [42] A. Olia, S. Razavi, B. Abdulhai, and H. Abdelgawad, "Traffic capacity implications of automated vehicles mixed with regular vehicles," Journal of Intelligent Transportation Systems, 2018