

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA DE BÉJAÏA



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Université A. Mira de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique

MÉMOIRE DE MASTER RECHERCHE

EN INFORMATIQUE

SPÉCIALITÉ

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Thème

AUTOMATISATION DES FEUX
TRICOLORES POUR OPTIMISER LE
TRAFIC ROUTIER

Présenté par :

M.DAHMANI Yanis & M.MEHIDI Massine

Soutenu devant le jury composé de :

<i>Président</i>	Mme Ghanem Souhila	M.C.B	U. A/Mira de Béjaïa
<i>Examineur</i>	M Bedjou Khaled	M.C.B	U. A/Mira de Béjaïa
<i>Encadrant</i>	Mme YAICI Malika	M.C.B	U. A/Mira de Béjaïa
<i>Co-Encadrant</i>	Mme ALOUI Soraya	M.C.A	U. A/Mira de Béjaïa

Béjaïa, Juillet 2024.

Remerciements

Nous voudrions adresser des remerciements spéciaux à notre encadrant, Mme Malika YAICI, dont l'expertise, la patience et les conseils avisés ont été inestimables pour l'aboutissement de ce mémoire.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos familles, nos amis et tous ceux qui nous ont soutenus tout au long de cette expérience.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers tous les enseignants, les membres du jury et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Leurs conseils, leurs remarques constructives et leur intérêt pour notre projet ont été d'une grande importance.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	III
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VI
Liste des acronymes	VII
Introduction Générale	1
1 Objets connectés dans la vie quotidienne	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définition des objets connectées	3
1.3 Histoire des objets connectées	3
1.4 Applications des objets connectés dans les domaines clés	4
1.4.1 Maison intelligente	4
1.4.2 Santé	5
1.4.3 Sport et bien-être	7
1.4.4 Industrie	8
1.4.5 Agriculture	10
1.5 Les défis des objets connectés	11
1.6 Conclusion	12

2	Objets connectés dans le transport	13
2.1	Introduction	13
2.2	Les Villes Connectées	13
2.3	Les Objets connectés dans la gestion des bateaux	15
2.4	Objets Connectés et Ferroviaire	16
2.5	Drones et les Objets Connectés dans le Transport Aérien	16
2.6	Objets Connectés dans la Protection des Passagers dans les Transports	18
2.7	Voiture intelligente aux routes connectées	18
2.8	Feux Tricolores Intelligents	20
2.8.1	Réseaux de communication et protocoles pour l’IoT	21
2.8.2	Méthode pour contrôler les feux de circulation	22
2.8.2.1	Approches Classiques	22
2.8.2.2	Approches Basées sur l’IoT	22
2.8.2.3	Approches Basées sur l’IA (Intelligence Artificielle)	23
2.8.2.3.1	Apprentissage Automatique :	23
2.8.2.3.2	Apprentissage par Renforcement :	23
2.8.2.3.3	Systèmes à Multi-Agents :	24
2.8.2.3.4	Vision par Ordinateur :	24
2.8.3	Fonctionnement des Feux Tricolores Automatisés	24
2.9	L’avenir des objets connectés dans le transport	25
2.10	Conclusion	26
3	Etat de l’art	27
3.1	Introduction	27
3.2	Travaux connexes	27
3.3	Tableau comparatif	30
3.4	Synthèse de comparaison	31
3.5	Conclusion	31
4	Optimisation du Temps d’Attente des Véhicules aux Feux Tricolores à l’aide de Techniques de Machine Learning	32
4.1	Introduction	32
4.2	Proposition	32
4.3	Plateformes Utilisées	32

4.3.1	SUMO (Simulation of Urban MObility)	32
4.3.2	Jupyter Notebook	32
4.3.3	Arduino	33
4.3.4	TraCI (Traffic Control Interface)	33
4.4	Configuration de la simulation	34
4.4.1	Configuration de l'Environnement SUMO	34
4.4.2	Définition du Fichier de Configuration	34
4.4.3	Démarrage de SUMO avec TraCI	34
4.5	Collecte de données	34
4.6	Prétraitement des Données	35
4.7	Entraînement du modèle	36
4.8	Évaluation du Modèle	37
4.9	Mise en Œuvre dans un Véritable Feu Tricolore	39
4.9.1	Collecte de Données en Temps Réel	39
4.9.2	Traitement des Données	39
4.9.3	Prédiction en Temps Réel	39
4.9.4	Contrôle des Feux Tricolores	39
4.10	Conclusion	40
	Conclusion Générale	41

TABLE DES FIGURES

1.1	Maison Intelligente Et Internet Des Objets [20].	4
1.2	Internet des objets dans la santé [42].	6
1.3	différents types de technologies d'appareils portables pour le sport [34].	7
1.4	Les technologies clés de l'industrie 4.0.[50]	9
1.5	L'internet des objets dans l'agriculture [43]	10
2.1	Domaines clés à traiter dans une ville intelligente [11].	13
2.2	Les différents types de drone [50].	17
2.3	Représentation des technologies V2V et V2I. (a) communications V2V; (b) Communication V2I [41].	20
2.4	L'inventeur Lester Wire et le premier feu de circulation électrique[1].	21
4.1	Logo de SUMO.	32
4.2	Logo de Jupyter.	33
4.3	Arduino.	33
4.4	Échantillon du code pour configurer la simulation.	34
4.5	Échantillon du code pour configurer la simulation.	34
4.6	Échantillon du code pour configurer la simulation.	34
4.7	Simulation d'un carrefour avec des détecteurs de zone dans SUMO.	35
4.8	Échantillon du code pour transformer en DataFrames.	36
4.9	Tableau de couche du modèle.	37

4.10	Graphe de nombre de perte du modèle.	38
4.11	Matrice de confusion.	38
4.12	Diagramme de mise en œuvre dans un Véritable Feu Tricolore.	40

LISTE DES TABLEAUX

3.1	Tableau comparatif des travaux connexes.	30
-----	--	----

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

- ANN : Artificial neural network
- Capteur IR : Capteur infra rouge
- CAV : Connected & Autonomous Vehicles
- CNN : Convolutional Neural Network
- CoAP : Constrained Application Protocol
- CSSO : Coordinated Speed Optimization
- CTM : Cell Transmission Model
- DOCA : Decentralized Optimization of Coordinated Adaptive
- DOCA : Distributed Optimization and Coordination Algorithm
- EGTSRB : Extended German Traffic Sign Recognition Benchmark
- GPS : Global Positioning System
- GTSRB : German Traffic Sign Recognition Benchmark
- IIOT : Industrial Internet of Things
- IoT : Internet of Things
- IPv6 : Internet Protocol Version 6
- LISA : Labeled Intersection Safety Awareness
- LLM : Large Language Model
- LoRa : Long Range

-
- LoWPAN : Low-Power Wireless Personal Area Networks
 - MINLP : Mixed Integer Nonlinear Programming
 - MIT : Massachusetts Institute of Technology
 - MQTT : Message Queuing Telemetry Transport
 - MPC : Model Predictive Control
 - NFC : Near Field Communication
 - R-CNN : Region Based Convolutional Network
 - RL : Reinforcement Learning
 - SUMO : Simulation of Urban MObility
 - SVM : Support Vector Machine
 - Veins : Vehicle Information and Simulation
 - V2I : Véhicule to Infrastructure
 - V2V : Vehicle to Vehicle
 - V2X : Vehicle to Everything
 - VO : Vision par Ordinateur
 - YOLO : You Only Look Once

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La gestion efficace de la circulation routière est une préoccupation majeure pour les villes modernes confrontées à une croissance démographique rapide et l'augmentation du nombre de véhicules. En tant qu'élément crucial du fonctionnement quotidien des villes, l'optimisation du trafic routier est essentielle pour améliorer la qualité de vie des citoyens et pour minimiser les impacts environnementaux négatifs.

Cependant, malgré les efforts déployés, les embouteillages et les retards restent des défis persistants dans de nombreuses métropoles à travers le monde. Face à ces défis, comment pouvons-nous améliorer les méthodes de gestion de la circulation pour fluidifier le trafic de manière plus efficace? Comment pouvons-nous utiliser l'intelligence artificielle et les technologies de l'Internet des objets (IoT) pour automatiser les feux de circulation et prédire les conditions de trafic en temps réel? Quelles mesures proactives pouvons-nous prendre pour intégrer ces technologies dans les infrastructures urbaines existantes et ainsi maximiser leur efficacité?

Dans le cadre de cette étude, nous proposons une solution moderne basée sur l'intelligence artificielle pour optimiser la gestion des feux de circulation et améliorer la fluidité du trafic routier. Nous commencerons par analyser les différentes approches et technologies disponibles, en mettant l'accent sur les systèmes de gestion du trafic utilisant des techniques avancées de machine learning. Cette approche nous permettra ensuite de simuler et d'évaluer l'impact de ces technologies sur la gestion du trafic urbain, en utilisant des outils de simulation comme SUMO (Simulation of Urban Mobility).

Le premier chapitre de notre étude sera consacré au concept des objets connectés (IoT) et explore comment ces technologies révolutionnent notre interaction avec le monde. Il couvre la définition des objets connectés, leur historique depuis l'invention d'Internet, et diverses applications dans des domaines clés tels que les maisons intelligentes.

Dans le deuxième chapitre, on se concentre sur l'intégration de l'IoT dans les systèmes de transport. Il explore les applications des objets connectés dans les villes intelligentes, mettant en avant comment ces technologies améliorent la gestion des transports.

Le troisième chapitre sera consacré à l'état de l'art dans le domaine de l'automatisation des feux de circulations, en présentant des travaux connexes et en fournissant un tableau comparatif des solutions existantes. Nous discuterons des avantages et des limites de ces solutions.

Enfin, dans le chapitre quatre nous aborderons la modélisation et l'évaluation des modèles d'optimisation des feux tricolores. Nous décrirons l'environnement de développement utilisé, y compris le matériel et les logiciels, ainsi que les étapes de modélisation. Nous terminons ce mémoire par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE

1

OBJETS CONNECTÉS DANS LA VIE
QUOTIDIENNE

1.1 Introduction

Les objets connectés, ou Internet des objets (IoT), ont révolutionné notre manière d'interagir avec le monde qui nous entoure. De nos maisons à nos lieux de travail, en passant par nos déplacements quotidiens, ces dispositifs intelligents sont devenus omniprésents dans notre vie quotidienne. Ce chapitre explore les différents domaines où ces technologies émergentes sont devenues essentielles.

Nous plongerons dans les multiples façons dont les objets connectés transforment nos routines quotidiennes, améliorent notre efficacité et redéfinissent notre manière d'interagir avec le monde numérique en constante évolution. En explorant ces applications diverses et en analysant leurs implications, nous pourrions mieux comprendre le rôle croissant des objets connectés dans notre vie quotidienne et anticiper les tendances futures dans ce domaine en pleine expansion.

1.2 Définition des objets connectés

Les objets connectés font référence à des objets physiques qui sont équipés de capteurs, d'actionneur et de technologies de communication permettant de collecter des données, de les traiter et de les échanger avec d'autres appareils via des réseaux sans fil ou câblés. L'objectif des objets connectés est de rendre ces objets plus intelligents, autonomes et capables d'interagir avec leur environnement et d'autres appareils pour améliorer l'efficacité, la commodité et la qualité de vie [36].

1.3 Histoire des objets connectés

Depuis la naissance d'Internet en 1989, la connexion des objets sur Internet a commencé à se répandre. La cafetière Trojan Room est peut-être la première application de ce type. En 1990, « John Romkey » a créé le premier appareil Internet, un grille-pain pouvant être allumé et éteint via Internet. « Paul Saffo » a donné la première description brève des capteurs et de leur future évolution en 1997. En 1999, le terme « Internet des objets » a été inventé par « Kevin Ashton », directeur exécutif de l'AutoIDCentre du MIT. En 2008, un groupe d'entreprises a lancé l'IPSO Alliance pour promouvoir l'utilisation du protocole Internet dans les réseaux d'objets intelligents et pour permettre l'Internet des objets [51].

1.4 Applications des objets connectés dans les domaines clés

Ce titre mettra en lumière plusieurs applications des objets connectés pour illustrer l'impact de l'Internet des objets sur la vie quotidienne.

1.4.1 Maison intelligente

Une maison intelligente et connectée est une résidence équipée de capteurs, de systèmes et d'appareils pouvant être accessibles, contrôlés et surveillés à distance, généralement via Internet.

Ceux-ci vont des téléphones portables aux ampoules intelligentes en passant par les capteurs de qualité de l'eau. La domotique intelligente est très populaire en raison de ses nombreux avantages dans un domaine prometteur, en utilisant les Iot, cela permet de contrôler tous les appareils électroniques réduisant ainsi l'intervention humaine au minimum.

La figure 1.1 illustre le concept de "Maison Intelligente" en présentant divers appareils et systèmes connectés qui composent une maison intelligente moderne.

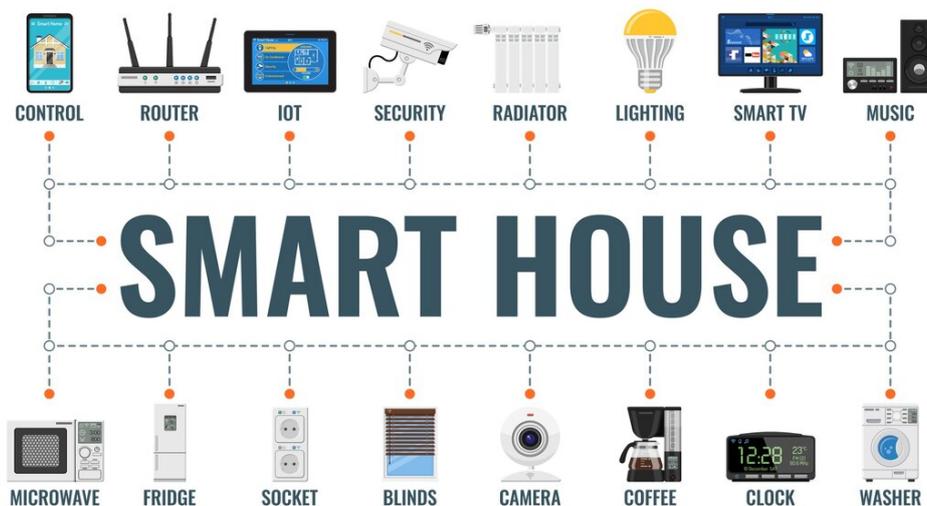


FIGURE 1.1 – Maison Intelligente Et Internet Des Objets [20].

Quelque cas d'utilisation des objets connectés dans les maisons intelligentes :

- Automatisation des tâches ménagères : L'automatisation des tâches ménagères grâce à l'IoT dans les maisons intelligentes révolutionne la manière dont les activités domestiques sont gérées. Grâce à des dispositifs connectés et des systèmes intelligents, il est désormais possible de contrôler à distance une multitude d'appareils ménagers, tels que les lave-linge, les lave-vaisselle et les aspirateurs robotisés, via des applications mobiles dédiées [42].

Cette automatisation permet aux utilisateurs de programmer, d'activer ou d'arrêter ces appareils à distance, offrant ainsi un niveau de confort et de facilité inégalé.

- Services de sécurité : Les systèmes de la catégorie sécurité ciblent généralement les services propositionnels conçus pour surveiller, détecter et contrôler la sécurité et les menaces de sécurité.

Ces systèmes pour maison intelligente varient généralement des services de surveillance des entrées à distance aux systèmes qui identifient automatiquement les menaces physiques, telles qu'un incendie ou une effraction, et agissent automatiquement en conséquence. Cette zone comprend des fonctionnalités pour prendre en charge les systèmes d'alarme, les caméras et les serrures de porte intelligentes [42].

- Énergie : Les Iot dans le domaine énergétique sont conçus pour assurer une consommation et une gestion efficaces de l'énergie de la maison. Le secteur de l'énergie implique souvent l'utilisation de compteurs intelligents, de thermostats intelligents et de systèmes d'éclairage adaptatifs. Les architectures système dans ce domaine peuvent utiliser des systèmes multi-agents intelligents et des stratégies de contrôle pour prédire et maximiser automatiquement l'efficacité énergétique et le confort des utilisateurs [42].
- Divertissement : Le secteur du divertissement implique généralement des systèmes de haut-parleurs intelligents, des téléviseurs connectés et des consoles de jeux [42].

1.4.2 Santé

L'IOT offre des possibilités révolutionnaires. Les dispositifs connectés permettent la surveillance en temps réel des patients, en collectant des données vitales telles que la pression artérielle ou le taux de sucre dans le sang, puis ces informations peuvent être transmises aux professionnels de santé pour un suivi à distance et une intervention rapide en cas de besoin. L'application des IOT dans le domaine de la santé est un espoir mutuel car elle permet aux centres médicaux de fonctionner de manière plus efficace et aux patients d'obtenir un traitement de meilleure qualité. De plus, ils facilitent la gestion des médicaments en assurant un suivi précis de la prise des traitements et en envoyant des rappels aux patients, ils permettent également une meilleure communication entre les patients et les professionnels de santé, offrant la possibilité de consultations à distance et un suivi personnalisé [42].

La figure 1.2 illustre les composantes clés de l'Internet des Objets (IoT) dans le domaine de la santé.

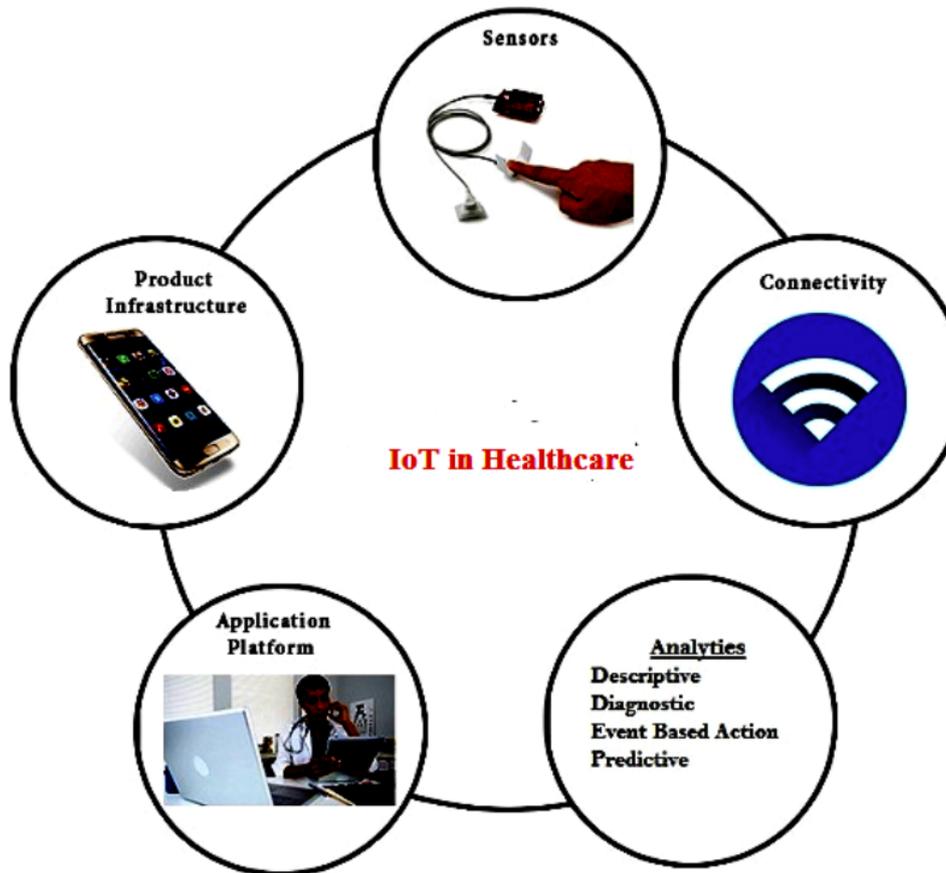


FIGURE 1.2 – Internet des objets dans la santé [42].

Quelque application et gadgets pour le système de santé avec l’IoT :

- Ambulances : Le travail des ambulanciers est stressant car ils traitent des patients graves et doivent prendre des décisions rapides pour sauver des vies. L’utilisation de l’IoT dans les ambulances permet à une équipe médicale à distance de fournir des conseils précieux, assurant ainsi une réponse rapide et efficace aux besoins des patients. Red Ninja¹ a développé un système innovant, appelé LiFE, qui ajuste le trafic routier en temps réel pour permettre aux ambulances d’arriver plus rapidement sur les lieux d’urgence [4].
- Montres Intelligentes : Elles offrent diverses fonctionnalités telles que la surveillance de la fréquence cardiaque, la détection de chutes, le suivi de l’activité physique, la mesure de la pression artérielle, et même des fonctionnalités avancées comme les électrocardiogrammes (ECG). Ces montres connectées permettent aux utilisateurs de surveiller leur santé en temps réel et de partager ces données avec les professionnels de la santé pour un suivi plus personnalisé. Elles jouent un rôle crucial dans la prévention, le diagnostic précoce et la gestion des maladies, offrant ainsi une approche proactive de la santé [4].

1. Une entreprise technologique axée sur la conception basée à Liverpool, Angleterre

- Surveillance de la Glycémie : L'IoT a révolutionné la surveillance de la glycémie en offrant des solutions innovantes pour les patients diabétiques. Grâce à des dispositifs connectés tels que des capteurs de glucose en continu, les patients peuvent surveiller en temps réel leur taux de sucre dans le sang. Ces données sont ensuite transmises à des serveurs et partagées avec des professionnels de la santé pour un suivi et une gestion plus efficaces de la maladie.

L'IoT permet une surveillance continue et précise de la glycémie, facilitant ainsi la prise de décisions éclairées concernant l'alimentation, la prise de médicaments et les activités quotidiennes. Cette technologie contribue à améliorer la qualité de vie des patients diabétiques en offrant un suivi personnalisé et en aidant à prévenir les complications liées à la maladie [4].

- Fauteuil Roulant Intelligent : Ces fauteuils sont équipés de capteurs et de technologies connectées qui permettent de surveiller et d'analyser divers paramètres pour améliorer la vie des utilisateurs.

Les fauteuils roulants intelligents peuvent être équipés de capteurs de mouvement pour détecter les déplacements, de capteurs de pression pour ajuster automatiquement la position du siège, et même de systèmes de navigation pour faciliter les déplacements [4].

1.4.3 Sport et bien-être

Le fitness intelligent est un domaine émergent de la e-santé utilisant des appareils électroniques pour collecter des données sur l'activité physique, la santé et le bien-être.

La figure 1.3 représente quelques types d'appareils portables pour le sport

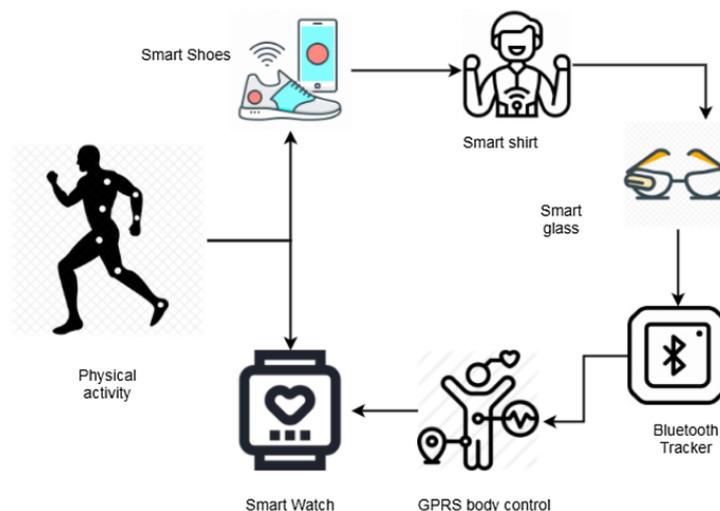


FIGURE 1.3 – différents types de technologies d'appareils portables pour le sport [34].

Quelques exemples d'applications des IoT dans le sport :

- Suivi de la condition physique : Les capteurs IoT intégrés aux vêtements de sport ou aux appareils portables peuvent surveiller les performances physiques des athlètes en temps réel, telles que la fréquence cardiaque, la distance parcourue, les calories brûlées, etc. Cela permet aux athlètes de suivre et d'analyser leurs performances pour améliorer leur condition physique [19].
- Analyse du mouvement : Les capteurs IoT peuvent être utilisés pour analyser et améliorer la technique de mouvement des athlètes. Par exemple, dans des sports comme le football ou le basketball, les capteurs peuvent mesurer la vitesse, l'accélération, et d'autres paramètres pour optimiser les performances des joueurs [19].
- Applications de fitness intelligentes : Les applications de fitness basées sur l'IoT peuvent fournir des retours en temps réel aux utilisateurs sur leurs séances d'entraînement, proposer des plans d'entraînement personnalisés, suivre les progrès, et même recommander des régimes alimentaires adaptés. Ces applications visent à rendre l'entraînement plus efficace et motivant pour les utilisateurs [19].
- Prévention des blessures : Les capteurs IoT peuvent aider à prévenir les blessures en surveillant les mouvements et les charges exercées sur le corps pendant l'entraînement. En détectant les anomalies ou les risques de blessures, les dispositifs IoT peuvent alerter les sportifs et les entraîneurs pour éviter les blessures [19].

1.4.4 Industrie

L'internet industriel des objets est constitué d'une multitude d'appareils connectés par des logiciels de communication, ils peuvent échanger, analyser, surveiller, collecter et agir instantanément sur les informations pour transformer intelligemment leur comportement ou leur environnement, le tout sans intervention humaine. L'IIoT peut être distingué comme un nombre énorme de systèmes industriels connectés qui communiquent et coordonnent leurs analyses de données et leurs actions pour améliorer les performances industrielles et avantager la société dans son ensemble [42].

La figure 1.4 illustre quelques technologies clés de l'industrie 4.0

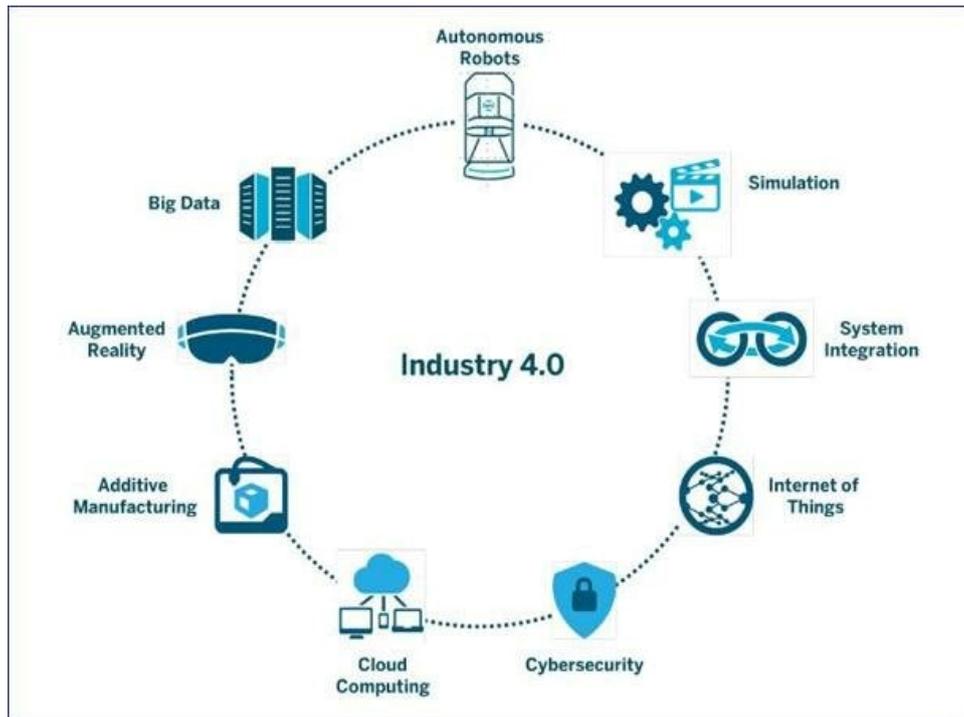


FIGURE 1.4 – Les technologies clés de l'industrie 4.0.[50]

Quelques exemples d'applications des IoT dans l'Industrielle :

— Systèmes de Surveillance et de Contrôle :

Surveiller et contrôler les systèmes de production dans la fabrication, conduisant à une performance et une efficacité accrues. Dans les domaines agro-industriels, les applications de l'IoT sont utilisées pour surveiller les conditions environnementales et contrôler les processus agricoles [27].

— Usines Intelligentes et Industrie 4.0 : Facilitant la création d'usines intelligentes qui améliorent l'efficacité, réduisent les coûts et minimisent les erreurs dans la fabrication, et permet l'automatisation, la maintenance et l'efficacité opérationnelle, contribuant au développement de IIoT [27].

— Logistique et Gestion de la Chaîne d'Approvisionnement : Optimisation de la gestion de la chaîne d'approvisionnement, améliorer le suivi des actifs et accroître l'efficacité opérationnelle globale. Les applications dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire et d'autres industries à haut risque garantissent la sécurité, la fiabilité et l'efficacité grâce à une surveillance détaillée et à la collecte de données [53].

1.4.5 Agriculture

Dans l'agriculture intelligente basée sur l'IoT, un système est mis en place pour surveiller le champ cultivé à l'aide de capteurs tels que la lumière, l'humidité, la température, l'humidité du sol, et pour automatiser le système d'irrigation. Les agriculteurs peuvent surveiller les conditions du champ depuis n'importe quels endroits. Les applications de l'agriculture intelligente basée sur l'IoT ne visent pas seulement les opérations agricoles traditionnelles et importantes, mais pourraient également être de nouveaux leviers pour promouvoir d'autres tendances en plein essor ou courantes dans l'agriculture, comme l'agriculture biologique, l'agriculture familiale et améliorer une agriculture hautement transparente. L'agriculture intelligente basée sur l'IoT peut offrir de grands avantages, notamment une utilisation plus efficace de l'eau. Les tendances récentes de l'IoT dans l'agriculture utilisent la technologie pour prendre des décisions plus intelligentes, réduire les coûts et augmenter la production [42].

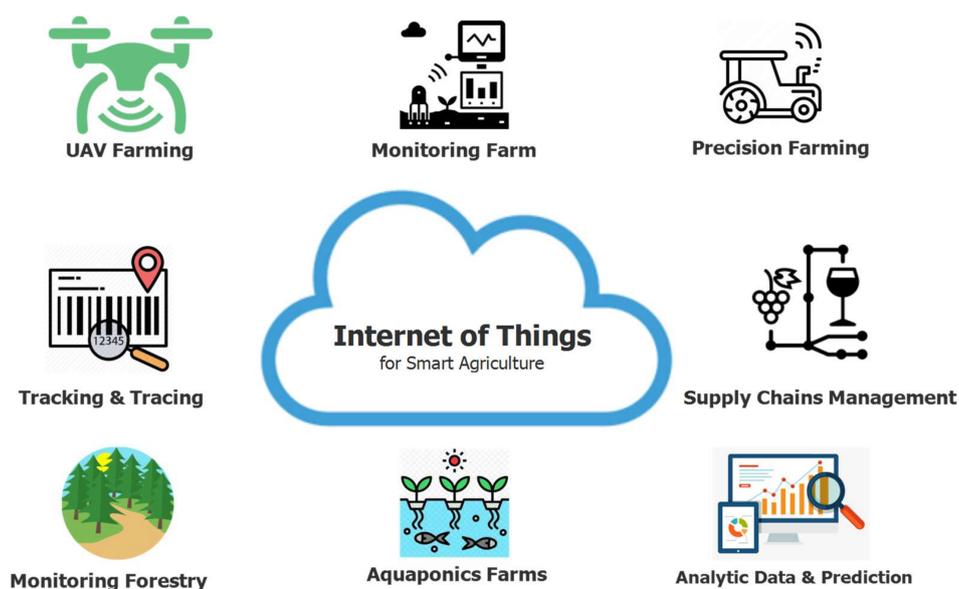


FIGURE 1.5 – L'internet des objets dans l'agriculture [43]

Quelques cas d'utilisation des IoT dans l'agriculture :

- Surveillance des conditions climatiques Les gadgets agricoles intelligents les plus célèbres sont peut-être les stations météorologiques, qui intègrent différents capteurs agricoles intelligents. Situées à travers le champ, elles collectent différentes données de l'environnement et les envoient vers le cloud. Les mesures fournies peuvent être utilisées pour cartographier les conditions climatiques, choisir les cultures adaptées et prendre les mesures nécessaires pour améliorer leur rendement [42].
- Tracteurs autonomes : Les tracteurs autonomes ne sont pas simplement des robots de

conduite sans intelligence. Ils fonctionnent également avec intelligence pour optimiser les compétences agricoles. La robotique a collaboré pour créer des tracteurs qui utilisent des algorithmes de génération de trajectoires pour calculer le motif de couverture de zone le plus efficace dans un champ, en tenant compte du type d'action, du véhicule, de la taille de l'outil, du nombre de véhicules dans le champ et du rayon de braquage de l'outil [42].

- Drones Agricoles : Actuellement, l'agriculture est l'une des principales industries à intégrer les drones. Les drones sont utilisés dans l'agriculture pour améliorer différentes pratiques agricoles. Les façons dont les drones terrestres et aériens sont utilisés dans l'agriculture comprennent la surveillance des cultures, la pulvérisation des cultures, l'évaluation de la santé des cultures, l'irrigation, la plantation, et l'analyse du sol et du champ, etc. Les principaux avantages de l'utilisation des drones comprennent l'imagerie de la santé des cultures, la cartographie SIG intégrée, la facilité d'utilisation, le gain de temps et l'augmentation potentielle des rendements [42].

1.5 Les défis des objets connectés

Bien que l'intégration de l'IA avec l'IoT apportera de nombreux avantages pouvant accroître l'efficacité des données de l'IoT, de nombreux défis se dressent sur le chemin de la convergence réussie de l'IoT avec l'IA. Ces défis comprennent :

1. Complexité : L'IoT est un système complexe car il compte des milliards d'appareils. Par conséquent, effectuer des opérations avec cette grande quantité d'objets/choses rend le processus de coordination très complexe. Intégrer l'IA à ce système complexe ne sera pas une tâche facile car cela nécessite de prendre en compte différentes contraintes de l'IoT telles que la puissance de traitement, la mémoire et le retard dans les applications en temps réel [7].
2. Sécurité et confidentialité : L'un des problèmes les plus difficiles auxquels sont confrontées la plupart des nouvelles technologies est la sécurité et la confidentialité. Comme les systèmes IoT utilisent des capteurs installés dans notre environnement, ces capteurs collectent non seulement des données environnementales, mais aussi nos habitudes, nos dossiers financiers et d'autres informations sensibles. Par conséquent, fournir un système IoT sécurisé est une tâche obligatoire pour poursuivre avec succès ses déploiements dans notre environnement. L'IoT est intrinsèquement vulnérable à la plupart des attaques sans fil courantes car la plupart des appareils IoT sont connectés via des réseaux sans fil dif-

faciles à protéger contre différentes attaques telles que l'attaque de l'homme du milieu et d'autres attaques [7].

3. Normalisation : Il existe de nombreux problèmes liés à la normalisation de l'IoT tels que l'interopérabilité, le niveau d'accès radio, l'interopérabilité sémantique, et la sécurité et la confidentialité. Les normes ouvertes de l'IoT telles que les normes de sécurité, les normes de communication et les normes d'identification pourraient être plusieurs facteurs clés pour l'expansion des technologies IoT. Avec le manque de normes IoT appropriées, l'intégration de l'IoT avec l'IA pourrait rencontrer de nombreux problèmes [7].
4. Précision et rapidité : avec le grand nombre d'appareils IoT qui se compte en milliards, une énorme quantité de données est générée par ces appareils. L'objectif principal de l'IA est d'utiliser ses puissants outils d'analyse pour générer le sens ou la compréhension correcte de ces données en peu de temps, en particulier pour les applications IoT en temps réel [7].
5. Aspects juridiques : Le système IoT comporte de nombreux services intégrés fournis par plusieurs partenaires, des projets collaboratifs et de nouveaux modèles commerciaux qui donneront lieu à des défis juridiques. Des relations juridiques devront être établies entre les parties concernées, notamment en ce qui concerne la responsabilité, la propriété intellectuelle, la confidentialité, la sécurité, l'assurance et d'autres questions réglementaires [7].

1.6 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de plonger dans l'univers fascinant des objets connectés et d'explorer comment ces technologies émergentes ont profondément transformé nos routines quotidiennes.

Les objets connectés jouent un rôle crucial dans notre vie quotidienne en améliorant notre efficacité, en offrant un suivi personnalisé de notre santé, et en redéfinissant notre interaction avec le monde numérique en constante évolution.

CHAPITRE

2

**OBJETS CONNECTÉS DANS LE
TRANSPORT**

2.1 Introduction

L'intégration des technologies de l'IoT dans les transports a profondément transformé ce secteur. En intégrant des capteurs, des dispositifs de communication et des systèmes intelligents, les objets connectés offrent des solutions innovantes pour améliorer la gestion des transports, la sécurité, l'efficacité et l'expérience des utilisateurs.

Ce chapitre explore les diverses applications de l'IoT dans le transport en mettant en évidence les principaux enseignements de plusieurs articles de recherche.

2.2 Les Villes Connectées

Également connues sous le nom de villes intelligentes, sont des environnements urbains qui intègrent des technologies de l'IoT et des technologies de l'information et de la communication pour améliorer la qualité de vie des habitants, optimiser les services urbains et promouvoir la durabilité environnementale.

Dans une ville connectée, divers aspects de la vie urbaine sont interconnectés grâce à des capteurs, des dispositifs intelligents et des réseaux de communication. Ces technologies permettent de collecter des données en temps réel sur différents aspects de la ville, tels que la circulation, la qualité de l'air, la consommation d'énergie, la gestion des déchets, la sécurité publique, etc. Ces données sont ensuite analysées pour prendre des décisions éclairées et améliorer l'efficacité des services urbains [11].



FIGURE 2.1 – Domaines clés à traiter dans une ville intelligente [11].

Une variété d'objets connectés peuvent être déployés pour améliorer la gestion urbaine, la durabilité environnementale, la sécurité publique et la qualité de vie des habitants, tels que :

- Capteurs environnementaux : peuvent être installés pour surveiller la qualité de l'air, la pollution sonore, la qualité de l'eau, les niveaux de radiation, etc. Ces capteurs permettent de collecter des données en temps réel sur l'environnement urbain et d'identifier les zones nécessitant une action corrective [17].
- Caméras de surveillance intelligentes : équipées de technologies intelligentes telles que la reconnaissance faciale, la détection d'objets suspects, la lecture des plaques d'immatriculation, etc., peuvent être utilisées pour renforcer la sécurité publique, surveiller le trafic routier, prévenir la criminalité et améliorer la réponse aux situations d'urgence [11].
- Dispositifs de gestion des déchets : Des poubelles connectées équipées de capteurs peuvent signaler quand elles sont pleines, optimisant ainsi la collecte des déchets et réduisant les coûts opérationnels. De plus, des dispositifs de tri des déchets intelligents peuvent encourager le recyclage et la réduction des déchets [11].
- Systèmes de transport intelligents : Les véhicules connectés, les arrêts de bus intelligents, les systèmes de gestion du trafic, les bornes de recharge pour véhicules électriques, les applications de covoiturage, etc., font partie des objets connectés utilisés pour optimiser les déplacements urbains, réduire la congestion routière et promouvoir la mobilité durable [11].
- Dispositifs de suivi des actifs urbains : Des balises IoT peuvent être utilisées pour suivre et gérer les actifs urbains tels que les vélos en libre-service, les équipements municipaux, les véhicules de service, etc., améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle et la maintenance préventive [11].

Dans le contexte des routes connectées, une gamme d'objets connectés spécifiques est déployée.

- Capteurs de trafic : Les capteurs de trafic installés sur les routes collectent des données en temps réel sur le nombre de véhicules, la vitesse, la densité du trafic et les conditions météorologiques. Ces données sont utilisées pour optimiser la gestion du trafic, détecter les incidents routiers, et améliorer la sécurité des usagers de la route [11].
- Feux de signalisation intelligents : Les feux de signalisation connectés sont capables d'ajuster automatiquement les cycles de feux en fonction du trafic en temps réel, des heures de pointe et des conditions météorologiques. Cela permet d'optimiser le flux de circulation, de réduire les temps d'attente et d'améliorer la fluidité du trafic [11].
- Panneaux d'information dynamique : Les panneaux d'information connectés affichent des messages en temps réel aux conducteurs, tels que des alertes de circulation, des in-

formations sur les conditions de la route, les travaux routiers, les accidents, les déviations, etc. Ces panneaux contribuent à informer les conducteurs et à améliorer la sécurité routière [11].

- Systèmes de gestion du stationnement : Les systèmes de stationnement intelligents utilisent des capteurs pour détecter les places de stationnement disponibles et guider les conducteurs vers ces emplacements. Cela réduit la congestion routière, diminue les émissions de gaz à effet de serre et améliore l'efficacité du stationnement en ville [11].

2.3 Les Objets connectés dans la gestion des bateaux

Les objets connectés jouent un rôle de plus en plus crucial dans la gestion des bateaux, offrant des avantages significatifs en termes d'efficacité opérationnelle, de sécurité et de durabilité. Voici quelques façons dont les objets connectés influencent la gestion des bateaux :

- Surveillance en temps réel : Les capteurs IoT permettent de surveiller en temps réel divers aspects des navires, tels que la consommation de carburant, les performances des moteurs, les conditions météorologiques et la localisation. Cela permet une gestion proactive des opérations et une prise de décision éclairée [21].
- Maintenance préventive : Les objets connectés facilitent la mise en place de programmes de maintenance préventive en surveillant en continu l'état des équipements à bord. Cela permet de détecter les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent des pannes majeures, réduisant ainsi les temps d'immobilisation et les coûts de réparation [21].
- Optimisation des itinéraires : Grâce aux données en temps réel fournies par les objets connectés, les gestionnaires de flotte peuvent optimiser les itinéraires des navires en fonction des conditions météorologiques, du trafic maritime et d'autres facteurs. Cela permet d'économiser du temps et du carburant, tout en améliorant l'efficacité des opérations [21].
- Sécurité des navires : Les dispositifs connectés contribuent à renforcer la sécurité des navires en fournissant des alertes en cas d'incidents, de situations dangereuses ou de violations des normes de sécurité. Cela aide à prévenir les accidents et à garantir la sécurité des équipages et des passagers à bord [21].
- Gestion environnementale : Les objets connectés peuvent aider à surveiller et à réduire l'impact environnemental des navires en optimisant la consommation de carburant, en

contrôlant les émissions polluantes et en favorisant des pratiques de navigation plus durables. Cela contribue à la conformité réglementaire et à la préservation de l'environnement marin [21].

2.4 Objets Connectés et Ferroviaire

Les objets connectés ont le potentiel de révolutionner l'industrie ferroviaire en permettant une surveillance en temps réel, une maintenance prédictive et l'amélioration des services aux passagers. Dans le contexte des opérations ferroviaires, ils peuvent être utilisés pour diverses applications, telles que :

- Suivi des actifs : Les dispositifs IoT peuvent être utilisés pour suivre la localisation et l'état des actifs ferroviaires, y compris les trains, les cargaisons et les composants d'infrastructure. Cela permet une meilleure gestion des actifs et une efficacité opérationnelle accrue [6].
- Maintenance prédictive : Les capteurs connectés peuvent surveiller l'état de l'équipement ferroviaire et de l'infrastructure en temps réel, permettant une maintenance prédictive pour prévenir les pannes et optimiser les calendriers de maintenance [6].
- Systèmes d'information aux passagers : Les dispositifs IoT peuvent améliorer l'expérience des passagers en fournissant des informations en temps réel sur les horaires des trains, les retards, la disponibilité des sièges et les services à bord [6].
- Sécurité : Les caméras, capteurs et alarmes connectés peuvent améliorer la sécurité dans les gares et les trains en détectant les accès non autorisés, en surveillant les niveaux de foule et en identifiant les menaces potentielles à la sécurité [6].

2.5 Drones et les Objets Connectés dans le Transport Aérien

Les objets connectés révolutionnent le transport aérien en permettant une intégration plus étroite entre les systèmes physiques et électroniques des avions. Ces avancées technologiques offrent de nombreux avantages, tels que l'amélioration des temps de rotation des vols aux portes, le contrôle automatique de l'environnement de la cabine, l'optimisation des performances opérationnelles de l'équipage et l'amélioration de l'expérience des passagers. De plus, les systèmes cyber-physiques dans l'aviation permettent de surveiller la santé des passagers, de

détecter des comportements suspects et d'optimiser l'efficacité des opérations de maintenance des aéronefs [45].

Les drones ont aussi leur place dans le transport aérien en introduisant de nouvelles possibilités et applications. Grâce à l'intégration de drones avec l'IoT, le transport aérien bénéficie de diverses avancées, telles que la livraison de colis par des entreprises comme Amazon et FedEx. De plus, l'utilisation de drones pour la surveillance, la recherche et le sauvetage, la gestion logistique, l'océanographie, et d'autres applications civiles et militaires dans le secteur maritime est en plein essor [31].

La figure 2.2 représente les différents types de drone.



FIGURE 2.2 – Les différents types de drone [50].

2.6 Objets Connectés dans la Protection des Passagers dans les Transports

Les objets connectés jouent un rôle essentiel dans la protection des biens et des passagers dans le transport en offrant diverses fonctionnalités de sécurité et de surveillance. Voilà quelques manières dont les objets connectés renforcent la sécurité dans le secteur du transport :

- Suivi des biens : Les dispositifs IoT peuvent être utilisés pour suivre en temps réel la localisation des biens transportés, tels que les colis ou les bagages, ce qui permet de réduire les risques de perte ou de vol. Les capteurs intégrés aux objets connectés peuvent fournir des informations précises sur la localisation et l'état des biens pendant tout le trajet [38].
- Sécurité des passagers : Les objets connectés peuvent être intégrés aux véhicules de transport pour surveiller les conditions de conduite, détecter les incidents tels que les accidents ou les défaillances mécaniques, et envoyer des alertes aux autorités compétentes en cas d'urgence. Cela contribue à renforcer la sécurité des passagers en permettant une réponse rapide en cas de situation critique [38].
- Gestion des opérations : Ils peuvent être utilisés pour optimiser les opérations de transport, en permettant par exemple une meilleure planification des itinéraires, une gestion efficace du trafic et une maintenance préventive des véhicules. Cela non seulement améliore l'efficacité des services de transport, mais contribue également à garantir la sécurité des passagers et des biens transportés [38].

2.7 Voiture intelligente aux routes connectées

L'évolution des voitures connectées et des routes connectées représente une convergence majeure dans le domaine de la mobilité intelligente, offrant des avantages significatifs en termes de sécurité, d'efficacité et de confort pour les usagers. Voici comment ces deux domaines interagissent et se complètent :

- Communication V2I et V2V : Les voitures connectées peuvent communiquer avec les infrastructures routières intelligentes (V2I) et d'autres véhicules connectés (V2V) pour échanger des informations sur les conditions de circulation, les dangers potentiels sur la route et les itinéraires recommandés. Cette communication bidirectionnelle permet une

coordination efficace du trafic et une prise de décision plus éclairée pour les conducteurs [49].

- Sécurité renforcée : L'intégration des voitures connectées avec les routes connectées permet de renforcer la sécurité routière en fournissant des avertissements en temps réel sur les dangers, en optimisant les systèmes d'assistance à la conduite et en facilitant la gestion des situations d'urgence. Cette collaboration contribue à réduire les accidents de la route et à améliorer la réactivité des conducteurs face aux imprévus [49].
- Optimisation des itinéraires et de la gestion du trafic : Grâce à la collecte et à l'échange de données entre les voitures connectées et les infrastructures routières, il est possible d'optimiser les itinéraires en temps réel, de proposer des alternatives en cas de congestion et de coordonner les feux de signalisation pour fluidifier la circulation. Cette approche contribue à réduire les temps de trajet, les émissions de CO2 et les risques d'accidents [49].
- Expérience utilisateur améliorée : L'intégration harmonieuse des voitures connectées et des routes connectées offre aux usagers une expérience de conduite plus personnalisée, intuitive et sécurisée. Les services embarqués, les applications de navigation avancées et les systèmes d'assistance à la conduite contribuent à rendre les déplacements plus agréables et efficaces pour les conducteurs et les passagers [49].

La figure 2.3 illustre un système de Communication V2V et V2I dans les Transports Intelligents.

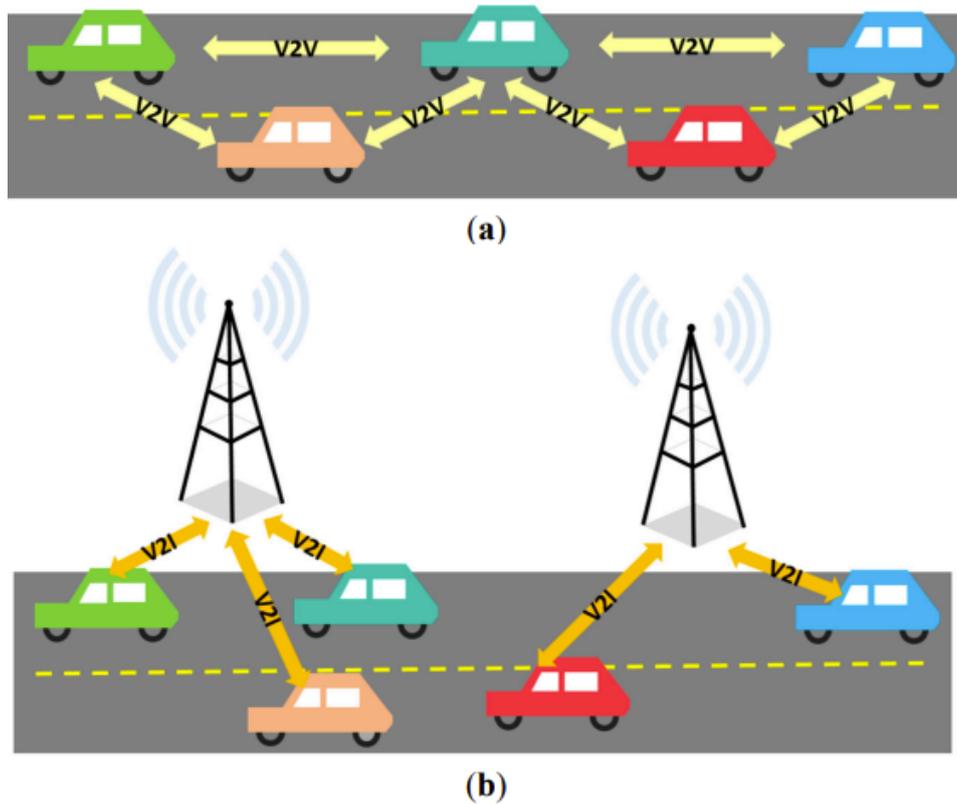


FIGURE 2.3 – Représentation des technologies V2V et V2I. (a) communications V2V ; (b) Communication V2I [41].

2.8 Feux Tricolores Intelligents

Les feux de signalisation, également connus sous le nom de feux tricolores, ont une histoire et une évolution intéressantes. Ils ont été introduits pour la première fois à la fin du XIXe siècle et ont depuis subi des évolutions significatives.

Les premiers feux de signalisation étaient manuels et utilisaient des panneaux ou des bras mobiles pour indiquer aux conducteurs quand s'arrêter ou passer. C'est l'ingénieur britannique nommé John Peake Knight¹ qui a créé le tout premier feu de circulation au monde en 1868 à un carrefour de la ville de Londres. L'appareil était constitué de deux couleurs rouge pour arrêter et vert pour passer, et était alimenté au gaz. Le premier feu de signalisation électrique à deux couleurs a été développé en 1912 par Lester Wire². En 1920, à Détroit dans le Michigan, on a introduit des feux de circulation composés des trois couleurs : Le rouge signifiait s'arrêter, le vert signifiait passer et l'orange signifiait préparez-vous à arrêter [1].

La figure 2.4 représente l'inventeur Lester Wire et le premier feu de circulation électrique.

1. C'était un directeur et inventeur de chemins de fer anglais.
 2. C'était un policier et inventeur américain.

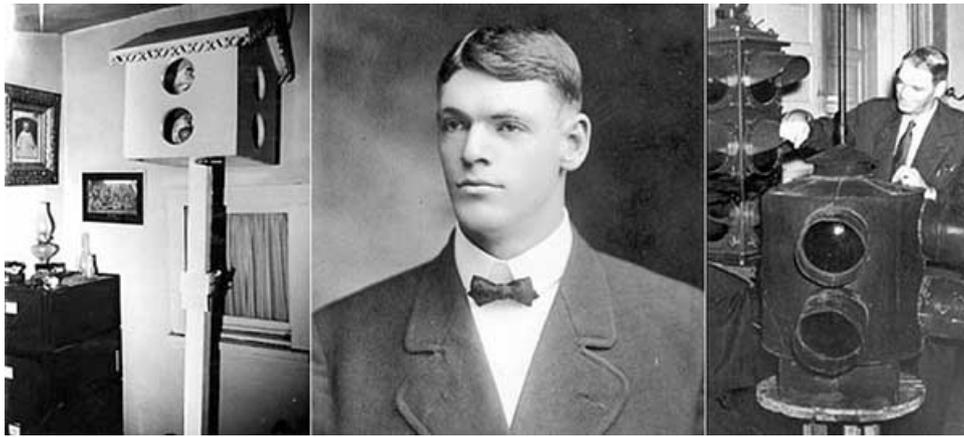


FIGURE 2.4 – L’inventeur Lester Wire et le premier feu de circulation électrique[1].

Au fil du temps, les feux de circulation ont évolué pour inclure des systèmes synchronisés avec des systèmes rudimentaires basés sur des minuteriers mécaniques pour ajuster les cycles des feux. Au fil des décennies, l’introduction de l’électronique et des ordinateurs a permis une coordination plus précise des feux sur des axes routiers plus longs, créant ainsi des "vagues vertes" pour les véhicules. Les systèmes de contrôle du trafic ont ensuite évolué en feux de circulation automatiques qui intègrent des capteurs de trafic, des réseaux de communication et des algorithmes de contrôle avancés pour ajuster les cycles des feux en temps réel en fonction des conditions de circulation [15].

2.8.1 Réseaux de communication et protocoles pour l’IoT

Les réseaux de communication et les protocoles utilisés peuvent varier en fonction des besoins spécifiques de chaque application.

Voici quelques-uns des réseaux de communication et protocoles couramment utilisés dans les systèmes IoT :

- Wi-Fi : Un réseau sans fil couramment utilisé pour connecter les appareils IoT à Internet dans des environnements domestiques ou de bureau [44].
- Bluetooth : Une technologie de communication sans fil à courte portée utilisée pour connecter des appareils IoT à proximité les uns des autres [44].
- ZigBee : Un protocole de communication sans fil à faible consommation d’énergie et à longue portée, souvent utilisé dans les réseaux de capteurs IoT [44].
- LoRa : Une technologie de communication sans fil à longue portée et à faible consommation d’énergie, adaptée aux applications IoT nécessitant une couverture étendue [44].

- NFC : Une technologie de communication sans fil à très courte portée utilisée pour l'appariement rapide et sécurisé des appareils IoT [44].
- MQTT : Un protocole de messagerie léger conçu pour les applications IoT qui nécessitent une communication fiable et à faible bande passante [44].
- CoAP : Un protocole de communication conçu pour les appareils IoT avec des ressources limitées en termes de puissance de calcul et de bande passante [44].
- 6LoWPAN : Un protocole qui permet de transmettre des paquets IPv6 sur des réseaux de capteurs sans fil à faible consommation d'énergie [44].
- V2V : Communication entre véhicules pour échanger des informations sur la circulation et améliorer la sécurité routière [2].
- V2I : Communication entre véhicules et l'infrastructure routière pour transmettre des données sur les conditions de la route et optimiser la gestion du trafic [2].
- V2X : Communication entre véhicules, l'infrastructure routière et d'autres entités pour une coordination efficace du trafic et une sécurité accrue [2].

2.8.2 Méthode pour contrôler les feux de circulation

2.8.2.1 Approches Classiques

1. Contrôle à Temps Fixe : Utilisation de cycles de signalisation à temps fixe, qui changent les feux de circulation à des intervalles réguliers prédéterminés [22].
2. Contrôle par Horloge : Ajustement des cycles de signalisation en fonction de l'heure de la journée, avec des horaires prédéfinis pour les périodes de pointe et les périodes creuses [23].
3. Contrôle Actif du Trafic : Utilisation de boucles d'induction et de capteurs pour détecter la présence de véhicules et ajuster les cycles de signalisation en conséquence [25].
4. Systèmes de Gestion de la Circulation en Temps Réel : Surveillance du trafic en temps réel et ajustement manuel des feux de circulation par les opérateurs du centre de contrôle [56].

2.8.2.2 Approches Basées sur l'IoT

1. Capteurs et Collecte de Données en Temps Réel : Utilisation de capteurs IoT pour collecter des données en temps réel sur le volume de trafic, la vitesse des véhicules et les conditions routières [14].

2. Communication Véhicule-Infrastructure : Utilisation de la communication entre les véhicules et l'infrastructure pour optimiser les signaux de circulation [33].
3. Contrôle Centralisé et à Distance : Utilisation de plateformes IoT pour permettre la gestion à distance des feux de circulation et des ajustements en temps réel [3].
4. Éclairage Intégré et Gestion de l'Énergie : Intégration avec des systèmes d'éclairage public intelligent pour optimiser l'éclairage en fonction des conditions de trafic. Comme la réduction de l'énergie utilisée pour l'éclairage en fonction de la densité du trafic et des conditions routières [40].

2.8.2.3 Approches Basées sur l'IA (Intelligence Artificielle)

Les approches basées sur l'IA utilisent des techniques avancées de traitement des données pour optimiser les systèmes de feux de circulation. Voici les détails de certaines de ces techniques :

2.8.2.3.1 Apprentissage Automatique : Utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser les données historiques et en temps réel du trafic, et pour prédire les flux de trafic futurs afin d'ajuster les timings des feux de circulation.

Par exemple :

- Réseaux de Neurones Artificiels (ANN) : Modèles qui apprennent à partir de grandes quantités de données pour prévoir les schémas de trafic.
- Support Vector Machines (SVM) : Utilisés pour classifier les conditions de trafic et ajuster les feux en conséquence.
- Arbres de Décision : Techniques pour prédire les flux de trafic en fonction de diverses variables (heure de la journée, jour de la semaine, conditions météorologiques) [55].

2.8.2.3.2 Apprentissage par Renforcement : L'apprentissage par renforcement est une technique où un agent apprend à prendre des décisions en recevant des récompenses ou des punitions en fonction de ses actions. Dans le contexte des feux de circulation, l'agent apprend à optimiser les timings des signaux pour améliorer la fluidité du trafic.

Par exemple :

- Deep Q-Learning (DQN) : Utilisation de réseaux de neurones pour estimer les récompenses futures et ajuster les actions des feux de circulation en conséquence [35].

- Policy Gradient Methods : Techniques qui optimisent directement la politique (règle de décision) des feux de circulation en utilisant des gradients de récompense [35].

2.8.2.3.3 Systèmes à Multi-Agents : Les systèmes à multi-agents impliquent plusieurs agents autonomes (par exemple, les feux de circulation à différents carrefours) qui collaborent pour optimiser globalement les timings des feux de circulation.

Par exemple :

- Coordination d'Agents : Utilisation de techniques de communication entre agents pour coordonner les feux de circulation sur plusieurs intersections.
- Optimisation Distribuée : Chaque agent optimise son propre feu de circulation tout en coopérant avec les agents voisins pour améliorer le flux global [48].

2.8.2.3.4 Vision par Ordinateur : Utilisation de techniques de vision par ordinateur pour analyser les images de caméras de surveillance et détecter les conditions de trafic en temps réel.

Exemple :

- Détection de Véhicules : Utilisation de modèles de reconnaissance d'images pour détecter et compter les véhicules à une intersection.
- Analyse de Flux : Analyse des mouvements des véhicules pour déterminer la densité et la vitesse du trafic [30].

2.8.3 Fonctionnement des Feux Tricolores Automatisés

Ces systèmes utilisent diverses technologies et algorithmes pour détecter, classifier et répondre aux conditions de circulation en temps réel. Voici en quelques points leur fonctionnement.

Détection et classification :

Les modèles d'apprentissage profond, tels que Faster R-CNN et d'autres réseaux de neurones convolutifs, sont très efficaces pour détecter et classifier les feux de signalisation, y compris leurs états et types. [9].

Les méthodes basées sur la vidéo utilisant des classificateurs SVM et des caractéristiques de forme peuvent détecter et classifier efficacement les feux de signalisation, même sous des conditions d'éclairage variables [47].

Gestion automatisée du trafic :

Les systèmes de planification automatisée peuvent ajuster dynamiquement les signaux des feux de signalisation en réponse aux données de trafic en temps réel, améliorant ainsi le flux de circulation et gérant les événements imprévus comme les travaux routiers ou une demande excessive [37].

Les contrôleurs de feux de signalisation basés sur la priorité utilisant des contrôleurs d'interface périphérique peuvent faciliter le déplacement des véhicules d'urgence en changeant automatiquement les signaux au vert, assurant ainsi un passage dégagé [24].

Détection des infractions aux feux de signalisation :

Les réseaux de neurones convolutifs et les techniques de traitement d'images peuvent détecter les infractions aux feux de signalisation en identifiant la couleur du feu, la ligne de sécurité blanche et les véhicules franchissant la ligne, réduisant ainsi les faux positifs causés par des déclencheurs non liés aux véhicules [13].

Contrôle des feux de signalisation pour les véhicules automatisés :

Les fonctions de potentiel artificiel et d'autres algorithmes peuvent guider les véhicules automatisés à travers les feux de signalisation, en veillant à ce qu'ils respectent correctement les signaux et se comportent de manière similaire aux conducteurs humains [29].

Le soutien de l'infrastructure, tel que le conseil de vitesse optimale pour feu vert, peut améliorer l'efficacité du trafic en conseillant les véhicules sur les vitesses optimales pour éviter de s'arrêter aux intersections, bien que les algorithmes de contrôle dynamique des feux de signalisation puissent parfois réduire son efficacité [12].

2.9 L'avenir des objets connectés dans le transport

L'avenir des objets connectés dans le transport est prometteur, avec le développement rapide des technologies de l'information et de la communication. Les objets connectés, tels que les véhicules connectés, les capteurs et les infrastructures de transport intelligentes, joueront un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité, de la sécurité et de la durabilité des systèmes de transport [16].

Grâce à la connectivité Internet, les véhicules pourront communiquer entre eux et avec les infrastructures environnantes, permettant une gestion plus intelligente du trafic, des situations d'urgence et des comportements des conducteurs. Les objets connectés dans le transport permettent également de collecter et d'analyser des données en temps réel, offrant ainsi des informations précieuses pour optimiser les déplacements, réduire les congestions routières et améliorer la sécurité routière [16].

En outre, l'intégration des objets connectés dans le transport ouvrira la voie à de nouvelles applications et services innovants, tels que la gestion intelligente du stationnement, la navigation assistée, la conduite automatisée et la logistique intelligente. Ces avancées contribueront à transformer l'expérience de déplacement des individus, en offrant des solutions plus efficaces, durables et personnalisées [16].

2.10 Conclusion

L'intégration des objets connectés dans le domaine du transport a permis de réaliser des avancées significatives en matière d'efficacité opérationnelle, de sécurité et de durabilité. Que ce soit dans le secteur des routes, des bateaux ou des chemins de fer, les objets connectés offrent des solutions innovantes pour améliorer la gestion des transports et l'expérience des utilisateurs.

CHAPITRE

3

ETAT DE L'ART

3.1 Introduction

Dans le domaine du trafic urbain, la fluidité de la circulation routière est une problématique pesante.

Les méthodes traditionnelles ne sont pas toujours optimales pour fluidifier la circulation, d'où la nécessité de les combiner avec des méthodes plus avancées.

Dans ce cadre, ce chapitre vise à explorer l'état de l'art de l'optimisation du trafic routier.

Dans cette étude, nous avons eu une meilleure compréhension des méthodes d'optimisation du trafic routier grâce aux feux tricolores. Les résultats de cette étude pourraient être utiles pour optimiser la circulation routière.

3.2 Travaux connexes

Mohammed Qader Kheder et Aree Ali Mohammed [28] ont utilisé des capteurs IoT (caméras, capteur IR, RADAR, capteur ultrasoniques, GPS) pour surveiller les routes en temps réel. Ils mettent en avant l'importance de la collecte, du stockage et de l'analyse des données de circulation pour améliorer la sécurité routière, réduire la congestion et optimiser les conditions de circulation. Pour cela, ils ont utilisé un algorithme de reconnaissance qui utilise un modèle modifié de LeNet-5, qui est une architecture CNN. Ils ont utilisé un algorithme d'apprentissage profond nommé Inception-V3, un modèle de réseau neuronal convolutif pré-entraîné formé sur le jeu de données du Laboratoire pour les Automobiles Intelligentes et Sécurisées (LISA). Par ailleurs, ils ont utilisé différentes plateformes de développement, comme Firebase pour stocker les données, Google Colaboratory pour l'entraînement des modules d'apprentissage profond, Flutter pour le développement d'application mobile et Arduino pour contrôler et gérer les dispositifs connectés.

Baurzhan Belgibaev, Madina Mansurova, Sanzhar Abdrakhim et Ainur Ormanbekova [10] ont adopté une étude sur l'implémentation de feux de signalisation intelligents avec vision par ordinateur dans les grandes villes du Kazakhstan. L'étude met en avant l'analyse des données de vision par ordinateur pour réguler le trafic, ces données étant des images provenant d'une caméra vidéo en temps réel. Ils ont utilisé pour la détection d'objet YOLO, CNN pour l'analyse d'images et le RNN pour la prédiction des mouvements des véhicules. Le Raspberry Pi 4 Model B est utilisé comme plateforme de développement avec OS Linux pour l'implémentation des algorithmes.

Tushar Sharma, Ashutosh Kumar, Nikhil Saini et Rahul Kumar Gupta [46] ont proposé un prototype de système de contrôle du trafic pour les véhicules d'urgence. L'objectif principal est de créer des voies sans trafic pour les véhicules d'urgence, comme les ambulances, afin de réduire les retards et d'améliorer la sécurité. Pour ce faire, ils ont utilisé des données qui proviennent de capteurs ultrasoniques, capteurs audio pour détecter les véhicules d'urgence, des capteurs visuels pour détecter les véhicules d'urgence en fonction de leur apparence et des données GPS. Ce système utilise la technologie LoRa pour permettre la communication entre les véhicules d'urgence et les feux de circulation, et des microcontrôleurs et des modules de communication sans fil sont utilisés pour transmettre des signaux entre les différentes parties du système. Ils ont utilisé Arduino Uno comme plateforme de développement pour contrôler les capteurs de trafic, Google Cloud pour stocker et traiter les données de trafic collectées par les capteurs, et l'application Android pour permettre aux véhicules d'urgence de contrôler les feux de circulation sans fil.

Asma Ait Ouallane, Ayoub Bahnasse, Assia Bakalia et Mohamed Talea [39] présentent une vue d'ensemble des solutions de gestion du trafic routier basées sur l'IoT et l'IA. Pour la collecte de données, ils utilisent des réseaux de capteurs sans fil (WSN) pour rassembler des arrivées et des départs des véhicules aux intersections, des réseaux ad hoc véhiculaires (VANET) utilisés comme sources de données pour la gestion du trafic. Ils permettent la communication entre les véhicules et avec l'infrastructure routière, et le traitement d'images basé sur des caméras. L'article aborde également des approches de gestion de la circulation, pour l'optimisation de la circulation et la minimisation des embouteillages, comme le système multi-agent qui repose sur la modélisation de systèmes complexes en utilisant des agents autonomes pour résoudre des problèmes de gestion du réseau, des techniques d'imagerie telles que les algorithmes de vision par ordinateur et de détection d'objets, sont utilisées pour surveiller le trafic, détecter et classer les véhicules et des méthodes pour développer des systèmes intelligents capables de prendre des décisions en temps réel comme la logique floue, deep learning, renforcement learning et Deep Reinforcement Learning. Ils ont utilisé SUMO, une plateforme de simulation de trafic routier open-source, qui est utilisée pour modéliser et simuler le trafic routier, y compris les véhicules, les piétons, les deux-roues, OMNeT++ un environnement de simulation open-source pour les réseaux de communication, Apache Hadoop, un framework de traitement distribué et de calcul en mémoire, qui est utilisé pour le traitement et l'analyse de gros volumes de données, y compris les données de trafic collectées en temps réel et Veins, une plateforme de simulation de réseaux ad hoc véhiculaires pour les simulations de trafic routier.

Mehrdad Tajalli, Mehrzad Mehrabipour et Ali Hajbabaie [52] ont proposé une méthodologie pour l'optimisation coordonnée de la vitesse des véhicules et du contrôle des feux de signalisation dans les réseaux de rues urbaines. Ils supposent que tous les véhicules sont connectés et automatisés. Grâce à des capteurs de trafic tels que des capteurs de pression, des caméras de détection de véhicules, capteurs de mouvements, ils collectent des données sur le trafic comme le flux et le temps de trajet, il contient aussi un système de GPS afin de localiser les véhicules. Leur méthodologie pour optimiser de manière coordonnée la vitesse des véhicules et la synchronisation des feux de circulation, est formulée comme un programme non linéaire mixte en nombres entiers (MINLP), visant à maximiser le débit du réseau tout en minimisant les variations de vitesse, un modèle de transmission cellulaire (CTM), et un contrôle prédictif modélisé (MPC) est appliqué pour résoudre le problème dans un temps de planification, et la méthode DOCA utilisée pour l'optimisation distribuée pour résoudre le problème complexe de la coordination de la vitesse des véhicules et de la synchronisation des feux de circulation dans les réseaux urbains. Enfin, ils ont utilisé Vissim, qui est un logiciel de simulation de trafic pour tester et évaluer leur méthode.

Siqi Lai, Zhao Xu, Weijia Zhang, Hao Liu et Hui Xiong [32] ont suggéré le cadre LLM-Light qui utilise des modèles de langage de grande taille pour agir en tant qu'agents de contrôle du trafic dans le cadre de la gestion des feux de signalisation, permettant une prise de décision similaire à l'intuition humaine. Ils ont construit LightGPT, un LLM spécialisé créé pour la gestion des feux de signalisation. Il a été développé à travers un processus d'entraînement par imitation, lui permettant d'adopter des actions de contrôle de haute qualité et des raisonnements issus de GPT-4. Les auteurs ont utilisé neuf ensembles de données dans la ville de Jinan, Hangzhou et New York, sur les flux de trafic, comme des informations sur les intersections, mouvements de véhicules et conditions de circulation en temps réel. Ils ont été collectés grâce à des capteurs de trafic et des caméras. Les expériences ont été menées sur un simulateur open-source, CityFlow, pour évaluer l'efficacité de leur méthode.

3.3 Tableau comparatif

Auteurs	Objectifs	Méthode	Dataset	Plateforme de développement
M Q Kheder, et al [28]	Surveillance du trafic routier en temps réel basé sur l'IoT	LeNet-5, Inception-V3	GTSRB, EGTSRB, LISA	Arduino, Google Fire-base
B. Belgibaev et al [10]	Gestion du trafic urbain pour optimiser les feux de circulation et améliorer la sécurité	YOLO, Microcontrôleurs web	Images de caméras vidéo	Raspberry Pi 4 Model B
T. Sharma et al [46]	Créer un corridor d'urgence sans trafic pour les véhicules d'urgence	LoRA	Données acoustiques, visuelles, GPS	Arduino Uno, Google Cloud, Lora Ra-02
Asma Ait Ouallane et al [39]	Réduction des émissions de CO ₂ et de la consommation de carburant	Traitement d'images, Logique floue, Apprentissage profond, Système multi-agent	Données de caméras, Capteurs sans fil	Apache Hadoop, SUMO, OMNeT++, Veins
Mehrdad Tajalli et al [52]	Maximiser le débit du réseau tout en minimisant les variations de vitesse	MINLP, CTM, MPC, DOCA	Données de trafic routier, GPS	Vissim
Siqi Lai et al [32]	Prendre des décisions de manière intelligente et humaine	Modèle LLM spécialisé (LightGPT)	Flux de trafic de New York, Hangzhou, Jinan	CityFlow

TABLE 3.1 – Tableau comparatif des travaux connexes.

3.4 Synthèse de comparaison

Dans cette comparaison des approches pour les systèmes de circulation, il est important de prendre en compte plusieurs aspects.

Les systèmes basés sur la vision par ordinateur et les véhicules autonomes connectés (CAV) nécessitent des infrastructures plus complexes et coûteuses, alors que les solutions utilisant l'IoT et la technologie LoRa permettent des déploiements plus simples et moins onéreux.

En termes d'efficacité et de réactivité, les feux de circulation intelligents équipés de vision par ordinateur (VO) et les systèmes CAV offrent une réactivité élevée et une adaptation en temps réel, tandis que les systèmes basés sur des capteurs IoT et LoRa, bien que réactifs, peuvent être limités par la qualité des capteurs et la portée de la technologie.

Tous ces systèmes ont pour objectif de réduire les émissions et les congestions en optimisant les flux de trafic, mais ceux intégrant la VO et les CAV peuvent potentiellement offrir des réductions d'émissions plus significatives grâce à une gestion plus précise et en temps réel.

Enfin, les systèmes de vision par ordinateur et CAV sont plus coûteux et complexes à mettre en œuvre, alors que les solutions IoT et LoRa sont plus économiques et moins complexes à déployer, même si elles peuvent offrir des performances légèrement inférieures.

3.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné plusieurs études portant sur l'automatisation des feux de circulation. Ces études ont permis de mettre en évidence différentes méthodes et approches utilisées pour optimiser le trafic routier en automatisant les feux tricolores, grâce aux IoT, au machine learning et au Q-Learning. Ces avancées contribuent à une meilleure fluidité de la circulation.

CHAPITRE

4

OPTIMISATION DU TEMPS D'ATTENTE
DES VÉHICULES AUX FEUX
TRICOLORES À L'AIDE DE
TECHNIQUES DE MACHINE LEARNING

4.1 Introduction

Le trafic urbain est un défi majeur dans de nombreuses villes à travers le monde. L'optimisation des feux tricolores est une solution potentielle pour réduire les embouteillages et améliorer la fluidité du trafic. Cette étude se concentre sur l'utilisation de techniques de machine learning pour prédire et optimiser les temps d'attente des véhicules aux feux tricolores.

4.2 Proposition

Au cours de notre analyse des articles étudiés dans l'état de l'art, nous avons conclu que l'approche avec sumo était la plus convenable pour notre travail. Grâce à celui-ci on a pu simuler une intersection et collecter des données pour ensuite entraîner un modèle ANN pour optimiser le temps d'attente des voitures au feu de circulation et fluidifier la circulation. Ensuite intégrer dans une carte Arduino grâce à des serveurs et une api pour qu'elle contrôle les feux de tricolore de manière dynamique.

4.3 Plateformes Utilisées

4.3.1 SUMO (Simulation of Urban MObility)

C'est un logiciel multiplateforme open-source depuis 2001 de simulation de trafic qui permet de modéliser et de simuler des scénarios de trafic urbain [18]. Elle est utilisée pour générer les données de trafic nécessaires à l'entraînement du modèle séquentiel.



FIGURE 4.1 – Logo de SUMO.

4.3.2 Jupyter Notebook

C'est un projet visant à développer des logiciels open source, des normes ouvertes et des services pour l'informatique interactive dans plusieurs langages de programmation. Il a été issu d'IPython en 2014.[26]

Le principal avantage de Jupyter notebook est de pouvoir intégrer à la fois du texte, des images, des liens et du code Python exécutable.



FIGURE 4.2 – Logo de Jupyter.

4.3.3 Arduino

C'est une plateforme open-source de prototypage électronique [5]. Dans cette étude, Arduino peut être utilisé pour déployer le modèle de machine learning sur un microcontrôleur afin de contrôler les feux tricolores en temps réel.



FIGURE 4.3 – Arduino.

4.3.4 TraCI (Traffic Control Interface)

C'est une interface qui permet de contrôler et de manipuler les simulations de trafic dans SUMO en temps réel [54]. Elle est utilisée pour intégrer le modèle de machine learning dans la simulation de trafic et pour ajuster les feux tricolores en fonction des prédictions du modèle séquentiel.

4.4 Configuration de la simulation

4.4.1 Configuration de l'Environnement SUMO

La première étape consiste à définir le chemin d'installation de SUMO sur le système. Ceci est essentiel pour permettre au script Python de localiser et d'exécuter les fichiers binaires de SUMO.

```
# Définir Le chemin SUMO
os.environ['SUMO_HOME'] = "C:/Program Files (x86)/Eclipse/Sumo/"
SUMO_BINARY = os.path.join(os.environ['SUMO_HOME'], 'bin', 'sumo-gui.exe')
```

FIGURE 4.4 – Échantillon du code pour configurer la simulation.

4.4.2 Définition du Fichier de Configuration

Un fichier de configuration SUMO spécifique (sumo_config.sumocfg) est utilisé pour définir les paramètres de la simulation, tels que le réseau de routes, les flux de trafic, et les paramètres de simulation.

```
# configuration SUMO
sumo_config = 'C:/Users/yan-y/Downloads/intersection/sumo_config.sumocfg'
```

FIGURE 4.5 – Échantillon du code pour configurer la simulation.

4.4.3 Démarrage de SUMO avec TraCI

La simulation est démarrée en utilisant l'interface TraCI, qui permet de contrôler SUMO à partir du script Python. Ceci inclut l'initialisation de la connexion avec le serveur TraCI et la fermeture de la connexion après la simulation.

```
# Démarrer SUMO avec TraCI
traci.start([SUMO_BINARY, '-c', sumo_config])
print("Connected to TraCI server")
traci.close()
```

FIGURE 4.6 – Échantillon du code pour configurer la simulation.

4.5 Collecte de données

Les données de trafic utilisées dans cette étude sont collectées à partir de simulations de 1000 voiture passant dans un carrefour à quatre chemins réalisées avec le simulateur SUMO.

Elles sont collectées grâce à des détecteurs de zone de voie, comme le montre la figure 4.7, qui détectent dans une région de 70 mètres de l'intersection tous les 5 seconde, représentée par les lignes bleues.

Les données comprennent le nombre de véhicules arrêtés, les temps d'attente et les identifiants des véhicules à différents intervalles de temps, ces dernières sont enregistrées dans un fichier JSON.

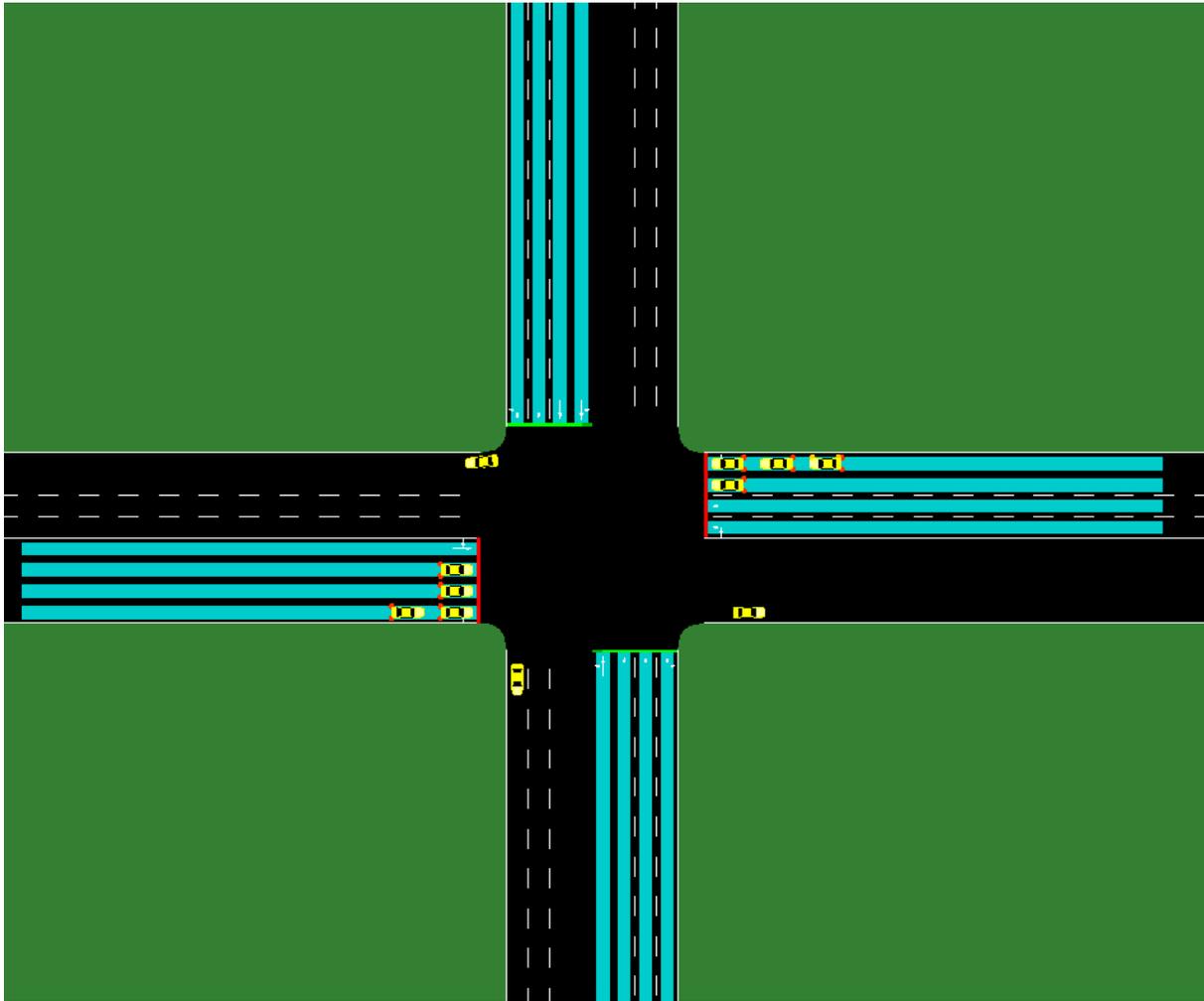


FIGURE 4.7 – Simulation d'un carrefour avec des détecteurs de zone dans SUMO.

4.6 Prétraitement des Données

Nous avons Les nettoyées et transformées données brutes en DataFrames pour faciliter l'analyse. Des caractéristiques supplémentaires, telles que le nombre total de véhicules arrêtés et le temps d'attente moyen, sont également calculées.

```
# Organiser Les données dans des DataFrames
time = data['time']
stopped_vehicle_counts = data['stopped_vehicle_counts']
waiting_times = data['waiting_times']
vehicle_ids = data['vehicle_ids']

df_stopped_vehicle_counts = pd.DataFrame(stopped_vehicle_counts)
df_waiting_times = pd.DataFrame(waiting_times)
df_vehicle_ids = pd.DataFrame(vehicle_ids)

df_stopped_vehicle_counts['time'] = time
df_waiting_times['time'] = time
df_vehicle_ids['time'] = time

df = df_stopped_vehicle_counts.merge(df_waiting_times, on='time').merge(df_vehicle_ids, on='time')
```

FIGURE 4.8 – Échantillon du code pour transformer en DataFrames.

Nous avons ensuite divisées Les données en ensembles d'entraînement et de test pour évaluer la performance du modèle. Ce qui permet de s'assurer que le modèle n'est pas sur-appris et qu'il peut généraliser à de nouvelles données.

4.7 Entraînement du modèle

Le modèle de machine learning grâce aux ANN est développé et entraîné à l'aide de la bibliothèque TensorFlow. Un réseau de neurones artificiels est utilisé pour prédire les temps d'attente des véhicules en fonction des caractéristiques extraites : phases de feux de circulation, identifiants des véhicules, temps d'attente des voitures aux feux rouges et le nombre de véhicules qui attendent.

Son architecture comprend plusieurs couches denses entièrement connectées avec des activations ReLU pour les couches cachées et une activation linéaire pour la couche de sortie, et compilé avec l'optimiseur Adam, qui est utilisé pour la formation de modèles d'apprentissage profond.

La figure 4.9 représente ne nombre de couche et paramètres du modèle

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense (Dense)	(None, 64)	256
dense_1 (Dense)	(None, 32)	2,080
dense_2 (Dense)	(None, 16)	528
dense_3 (Dense)	(None, 8)	136
dense_4 (Dense)	(None, 8)	72
dense_5 (Dense)	(None, 8)	72
dense_6 (Dense)	(None, 8)	72
dense_7 (Dense)	(None, 8)	72
dense_8 (Dense)	(None, 8)	72
dense_9 (Dense)	(None, 8)	72
dense_10 (Dense)	(None, 8)	72
dense_11 (Dense)	(None, 8)	72
dense_12 (Dense)	(None, 8)	72
dense_13 (Dense)	(None, 8)	72
dense_14 (Dense)	(None, 1)	9

FIGURE 4.9 – Tableau de couche du modèle.

4.8 Évaluation du Modèle

La performance du modèle est évaluée sur l'ensemble de test en utilisant la métrique d'erreur quadratique moyenne. Les résultats sont visualisés à l'aide de graphiques pour mieux comprendre le comportement du modèle.

Le coefficient de détermination R^2 , On peut le voir comme l'erreur du modèle divisé par l'erreur d'un modèle basique qui prédit tout le temps la moyenne de la variable à prédire Le score R^2 est d'autant plus élevé que le modèle est performant, indique la proportion de la variance totale de la variable cible qui est expliquée par le modèle. Un R^2 entre 0 et 1 indique la proportion de la variance. Dans notre cas, il est de 0.99.

Et la matrice de confusion, qui permet de visualiser les performances du modèle en termes de nombre de prédictions correctes et incorrectes pour chaque classe. Comme le montre la figure 4.11

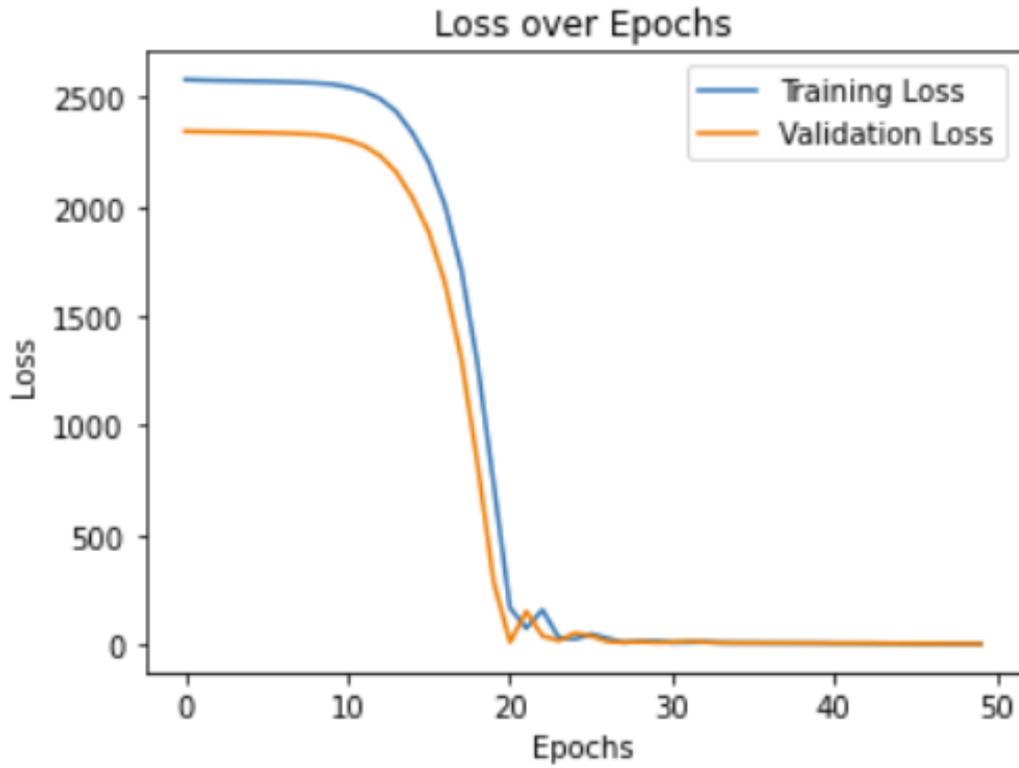


FIGURE 4.10 – Graphe de nombre de perte du modèle.

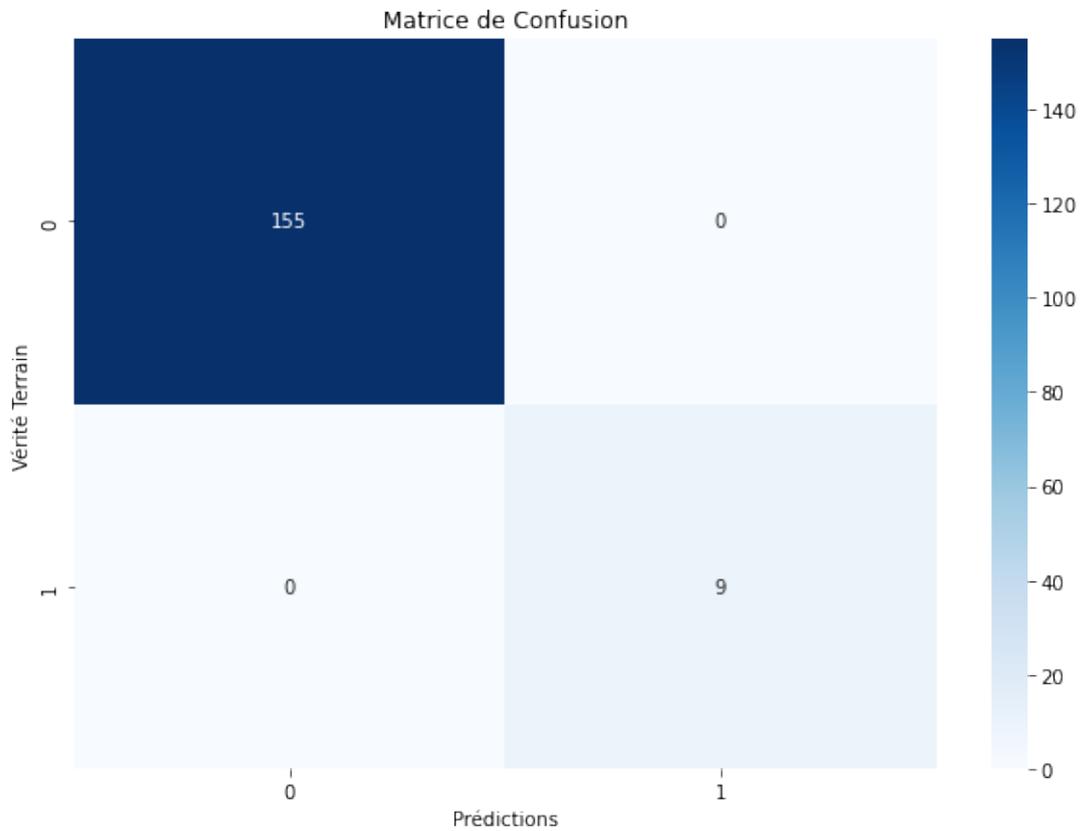


FIGURE 4.11 – Matrice de confusion.

4.9 Mise en Œuvre dans un Véritable Feu Tricolore

On n'a pas pu mettre en œuvre notre système sur un véritable feu tricolore mais voici comment implémenter ce système dans un véritable feu tricolore :

4.9.1 Collecte de Données en Temps Réel

Utiliser des capteurs de trafic pour collecter des données sur le nombre de véhicules et les temps d'attente à chaque intersection. Puis transmettre ces données à un serveur central en temps réel.

4.9.2 Traitement des Données

Utiliser une carte Arduino pour recevoir les données des capteurs. Puis convertir les données en un format JSON pour être envoyé à un serveur où le modèle de machine learning est hébergé.

4.9.3 Prédiction en Temps Réel

Déployer le modèle de machine learning sur un serveur capable de traiter les requêtes en temps réel. Ensuite utiliser une API pour envoyer les données de trafic collectées au modèle et recevoir les prédictions sur les temps d'attente optimaux.

4.9.4 Contrôle des Feux Tricolores

Intégrer les prédictions du modèle dans le système de contrôle des feux tricolores. En utilisant une carte Arduino pour ajuster les cycles des feux tricolores en fonction des prédictions reçues.

Ce déploiement est illustré dans le diagramme de la figure 4.12.

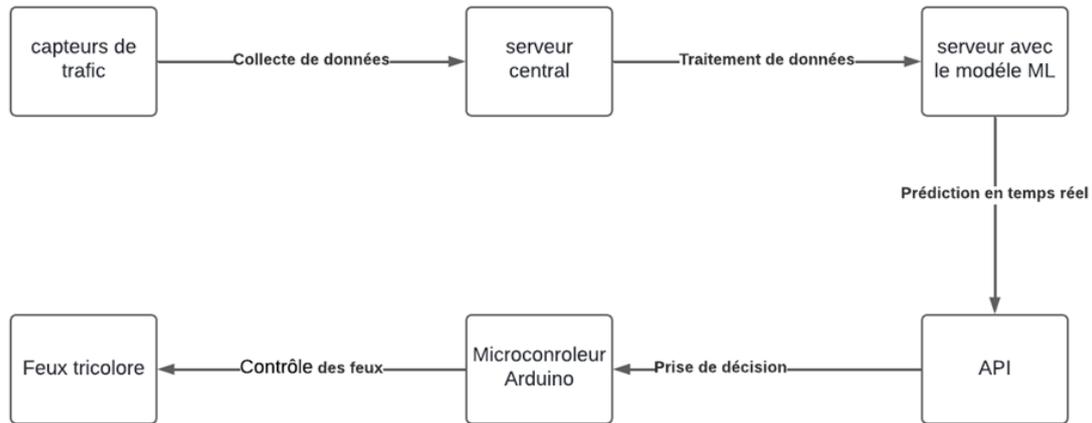


FIGURE 4.12 – Diagramme de mise en œuvre dans un Véritable Feu Tricolore.

4.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré comment optimiser le temps d'attente des véhicules aux feux tricolores en utilisant des techniques avancées de machine learning, et comment mettre en œuvre pratique dans un véritable système de feux tricolores. Cette étude illustre comment les avancées en machine learning peuvent être appliquées de manière innovante pour résoudre des défis urbains complexes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude met en lumière l'importance cruciale des objets connectés dans divers aspects de notre vie quotidienne et leur potentiel à transformer nos environnements en les rendant plus intelligents et plus efficaces. L'impact des IoT est particulièrement notable dans les domaines de la maison intelligente, de la santé, du sport, de l'industrie, de l'agriculture, et du transport.

En premier lieu, nous avons exploré comment les objets connectés ont révolutionné notre quotidien en intégrant des capteurs et des technologies de communication dans des dispositifs variés. Ils permettent l'automatisation des tâches domestiques, améliorent la sécurité des habitations, optimisent la consommation énergétique, et offrent des solutions innovantes dans le domaine de la santé.

Ensuite, l'intégration des objets connectés dans les systèmes de transport a permis d'améliorer la gestion du trafic, la sécurité et l'efficacité des déplacements.

Enfin, L'optimisation des feux tricolores en utilisant un réseau de neurones artificiel offre une solution prometteuse pour réduire les embouteillages et améliorer la fluidité du trafic urbain. Cette étude a démontré la faisabilité de cette approche en utilisant le simulateur de trafic SUMO pour générer des données de trafic réalistes, qui ont ensuite été utilisées pour entraîner un modèle de machine learning.

Au cours de ce mémoire nous avons appris que la fluidité de la circulation est primordiale et que régler ce problème permet de gagner du temps au conducteur. Et aussi à utiliser des outils de simulation de trafic comme SUMO pour modéliser des scénarios urbains réalistes et à collecter des données de trafic pertinentes. On a développé nos compétences en programmation, notamment en utilisant Jupyter Notebook pour l'analyse des données et le développement de modèles de machine learning.

Les perspectives de ce travail seraient les possibilités d'entraîner sur des données plus grande et varier pour augmenter la précision de notre méthode, d'étendre l'optimisation à des réseaux de trafic plus complexes, d'intégrer des données en temps réel grâce à des capteurs caméra, et d'améliorer les modèles de machine Learning. Il serait aussi judicieux de réaliser des tests pratiques du système afin d'évaluer son efficacité et sa résistance, de garantir sa flexibilité pour un déploiement à grande échelle, et de concevoir des interfaces utilisateur pour les opérateurs de trafic.

Enfin, l'évaluation de l'effet environnemental de cette optimisation sur la diminution des émissions de gaz à effet de serre et la consommation de carburant pourrait aider à atteindre des objectifs de durabilité urbaine.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le non-respect du feu rouge. <https://www.stage-de-sensibilisation.fr/art-infraction-le-non-respect-du-feu-rouge-art-88.html#:~:text=C%27est%20en%201868%20qu,%C3%A9tait%20aliment%C3%A9%20par%20du%20gaz>.
- [2] H. Abohashima, M. Gheith, and A. Eltawil. A proposed iot based smart traffic lights control system within a v2x framework. In *2020 2nd Novel Intelligent And Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, 2020.
- [3] Yazan Abualhoul et al. A centralized approach for real-time traffic signal control based on an iot architecture. *Procedia Computer Science*, 134 :385–390, 2018.
- [4] M. S. Al-Kahtani, F. Khan, and W. Taekeun. Application of internet of things and sensors in healthcare. *Sensors*, 22(15) :5738, 2022.
- [5] Arduino. Arduino - open-source electronics platform. <https://www.arduino.cc>, 2024.
- [6] P. Arora, A. Dhar, T. Singh, and A. Mishra. Abandoned object identification and detection system for railways in india. In *IEEE International Conference on Emerging Trends in Computing and Communication Technologies (ICETCCT)*, 2017.
- [7] H. F. Atlam, R. J. Walters, and G. B. Wills. Intelligence of things : Opportunities & challenges. In *IEEE International Conference on Internet of Things (CIoT)*, pages 1–6, 2018.

- [8] N. Azouz. *Approches intelligentes pour le pilotage adaptatif des systèmes en flux tirés dans le contexte de l'industrie 4.0*. PhD thesis, Université Clermont Auvergne, 2019.
- [9] M. Bach, D. Stumper, and K. Dietmayer. Deep convolutional traffic light recognition for automated driving. In *IEEE ITSC*, 2018.
- [10] B. Belgibaev, M. Mansurova, S. Abdrakhim, and A. Ormanbekova. Smart traffic lights with video vision based on a control minicomputer in kazakhstani megacities. *Procedia Computer Science*, 231 :792–797, 2024.
- [11] L. Belli, A. Cilfone, L. Davoli, G. Ferrari, P. Adorni, F. Di Nocera, A. Dall'Olio, C. Pellegrini, M. Mordacci, and E. Bertolotti. Iot-enabled smart sustainable cities : Challenges and approaches. *Smart Cities*, 3(3) :1039–1071, 2020.
- [12] R. Blokpoel and M. Lu. Ict infrastructure for automated driving. In *Institution of Engineering and Technology eBooks*, pages 285–307, 2019.
- [13] B. Bordia, N. Nishanth, S. Patel, M. A. Kumar, and B. Rudra. Automated traffic light signal violation detection system using convolutional neural network. In *Advances in intelligent systems and computing*, pages 579–592, 2020.
- [14] Kang-Li Chang et al. An iot-based traffic information system considering sensor reliability. *IEEE Access*, 8 :154477–154487, 2020.
- [15] L. F. P. De Oliveira, L. T. Manera, and P. D. G. da Luz. Development of a smart traffic light control system with real-time monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, pages 1–1, 2020.
- [16] G. Dimitrakopoulos. Intelligent transportation systems based on internet-connected vehicles : Fundamental research areas and challenges. In *11th International Conference On ITS Telecommunications*, 2011.
- [17] J. Dutta, S. Roy, and C. Chowdhury. Unified framework for iot and smartphone based different smart city related applications. *Microsystem Technologies*, 25(1) :83–96, 2018.
- [18] Eclipse SUMO. Eclipse sumo - simulation of urban mobility. <https://www.eclipse.org/sumo/>, 2024.
- [19] A. Farrokhi, R. Farahbakhsh, J. Rezazadeh, and R. Minerva. Application of internet of things and artificial intelligence for smart fitness : A survey. *Computer Networks*, 189 :107859, 2021.
- [20] Freepik. Bannière horizontale maison intelligente, internet des objets, sécurité, icônes plates, éclairage, iot, routeur, radiateur. <https://fr.freepik.com/vecteurs->

premium/banniere-horizontale-maison-intelligente-internet-objets-securite-icones-plates-eclairage-iot-routeur-radiateur_10853631.htm, 2024. Consulté le 7 juillet 2024.

- [21] L. Gabsalikhova, I. Makarova, V. Shepelev, L. Fatikhova, and E. Belyaev. Connected vehicles fleet expanding problems. In *Proceedings Of The 6th International Conference On Vehicle Technology And Intelligent Transport Systems*, 2020.
- [22] Julius Hagenauer et al. Multi-modal urban traffic control : A survey and future directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021.
- [23] Julius Hagenauer et al. Multi-modal urban traffic control : A survey and future directions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021.
- [24] N. Hashim, F. Idris, A. F. Kadmin, and S. S. J. Sidek. Automatic traffic light controller for emergency vehicle using peripheral interface controller. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(3) :1788, 2019.
- [25] Keyvan Houshmand et al. A review of traffic signal control using vehicular communications and sensing. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(10) :3238–3256, 2018.
- [26] Jupyter. Jupyter - an open source tool for interactive computing. <https://jupyter.org>, 2024.
- [27] I. H. Khan and M. Javaid. Role of internet of things (iot) in adoption of industry 4.0. *Journal Of Industrial Integration And Management*, 7(4) :515–533, 2021.
- [28] M. Q. Kheder and A. A. Mohammed. Real-time traffic monitoring system using iot-aided robotics and deep learning techniques. *Mağalla Al-Kuwayt Li-l-ulūm*, 51(1) :100153, 2024.
- [29] D. Kim. Artificial potential function for driving a road with traffic light. *Jeongbo Gwahakoe Nonmunji*, 42(10) :1231–1238, 2015.
- [30] R. Kulkarni, S. Dhavalikar, and S. Bangar. Traffic light detection and recognition for self driving cars using deep learning. In *IEEE ICCUBEA*, 2018.
- [31] A. Kumar and B. Muhammad. On how internet of drones is going to revolutionise the technology application and business paradigms. In *The 21st International Symposium On Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC-2018)*, 2018.
- [32] S. Lai, Z. Xu, W. Zhang, H. Liu, and H. Xiong. Llmilight : Large language models as traffic signal control agents, December 26 2023. arXiv.org.
- [33] Chaoyang Li et al. A survey of vehicular internet of things : A cyber-physical systems perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1) :26–45, 2019.

- [34] Q. Li, P. Kumar, and M. Alazab. Iot-assisted physical education training network virtualization and resource management using a deep reinforcement learning system. *Complex & Intelligent Systems*, 8(2) :1229–1242, 2021.
- [35] X. Liu, M. Zhu, S. Borst, and A. Walid. Deep reinforcement learning for traffic light control in intelligent transportation systems. 2023.
- [36] Somayya Madakam, R. Ramaswamy, and Siddharth Tripathi. Internet of things (iot) : A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3 :164–173, 2015.
- [37] T. McCluskey and M. Vallati. Embedding automated planning within urban traffic management operations. In *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling*, volume 27, pages 391–399, 2017.
- [38] M. Nawir, A. Amir, N. Yaakob, and O. B. Lynn. Internet of things (iot) : Taxonomy of security attacks. In *3rd International Conference On Electronic Design (ICED)*, 2016.
- [39] A. A. Ouallane, A. Bahnasse, A. Bakali, and M. Talea. Overview of road traffic management solutions based on iot and ai. *Procedia Computer Science*, 198 :518–523, 2022.
- [40] Jae Hyun Park et al. Smart street lighting system based on iot. In *IEEE ICSGEA*, pages 123–126, 2018.
- [41] N. Parrado and Y. Donoso. Congestion based mechanism for route discovery in a v2i-v2v system applying smart devices and iot. *Sensors*, 15(4) :7768–7806, 2015.
- [42] Y. Perwej, K. Haq, F. Parwej, and M. Mumdouh. The internet of things (iot) and its application domains. *International Journal Of Computer Applications*, 182(49) :36–49, 2019.
- [43] V. K. Quy, N. Van Hau, D. Van Anh, N. M. Quy, N. T. Ban, S. Lanza, G. Randazzo, and A. Muzirafuti. Iot-enabled smart agriculture : Architecture, applications, and challenges. *Applied Sciences*, 12(7) :3396, 2022.
- [44] M. Saifuzzaman, N. N. Moon, and F. N. Nur. Iot based street lighting and traffic management system. In *IEEE R10-HTC*, 2017.
- [45] K. Sampigethaya and R. Poovendran. Aviation cyber–physical systems : Foundations for future aircraft and air transport. *Proceedings Of The IEEE*, 101(8) :1834–1855, 2013.
- [46] T. Sharma, A. Kumar, N. Saini, and R. K. Gupta. Traffic-free emergency health corridor. *Scientific African*, 22 :e01960, 2023.
- [47] X. Shi, N. Zhao, and Y. Xia. Detection and classification of traffic lights for automated setup of road surveillance systems. *Multimedia Tools And Applications*, 75(20) :12547–12562, 2014.

- [48] W. Shijie and W. Shangbo. A novel multi-agent deep rl approach for traffic signal control. In *IEEE PerCom Workshops*, 2023.
- [49] I. Stan, V. Suciuciu, and R. Potolea. Smart driving methodology for connected cars. In *Communications Magazine*, 2019.
- [50] M. Stewart and S. Martin. Unmanned aerial vehicles : Fundamentals, components, mechanics, and regulations. In *Unmanned aerial vehicles*, pages 1–70. Nova Science Publishers, 2020.
- [51] P. Suresh, J. Daniel, V. Parthasarathy, and R. H. Aswathy. A state of the art review on the internet of things (iot) history, technology and fields of deployment. In *14th International Conference On Science Engineering And Management Research (ICSEMR)*, pages 1–8, 2014.
- [52] M. Tajalli, M. Mehrabipour, and A. Hajbabaie. Network-level coordinated speed optimization and traffic light control for connected and automated vehicles. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 22(11) :6748–6759, 2021.
- [53] J. M. Talavera, L. E. Tobón, J. A. Gómez, M. A. Culman, J. M. Aranda, D. T. Parra, L. A. Quiroz, A. Hoyos, and L. E. Garreta. Review of iot applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers And Electronics In Agriculture*, 142 :283–297, 2017.
- [54] TraCI. Traci (traffic control interface) documentation. <https://sumo.dlr.de/docs/TraCI.html>, 2024.
- [55] J. Ugirumurera, J. Severino, E. A. Bensen, Q. Wang, and J. Macfarlane. A machine learning method for predicting traffic signal timing from probe vehicle data. 2023.
- [56] Xiaofeng Zeng et al. An overview of real-time traffic management systems. *Transportation Research Procedia*, 25 :4396–4410, 2017.

Résumé

Dans ce mémoire nous explorons l'impact des IoT dans la gestion du trafic urbain pour optimiser les systèmes de feux de circulation à l'aide de techniques d'apprentissage automatique utilisant des plateformes de simulation SUMO. Dans nos recherches en a utilisé un ANN pour réduire les temps d'attente des véhicules aux feux de signalisation, améliorant ainsi le flux de trafic et réduisant la circulation. On s'est concentré particulièrement sur l'application pratique des algorithmes de machine learning pour prédire et optimiser le timing des feux de circulation, en utilisant des données collectées dans des environnements urbains simulés. Les résultats suggèrent que l'intégration de l'IoT et de l'apprentissage automatique dans la gestion du trafic urbain peut améliorer de manière significative l'efficacité du trafic.

Mots clés = Iot, SUMO, Machine Learning, ANN, Feux tricolore

Abstract

In this thesis, we explore the impact of IoT on urban traffic management to optimize traffic light systems using machine learning techniques with SUMO simulation platforms. In Our research we used a ANN to reduce vehicle wait times at traffic lights, thereby improving traffic flow and reducing congestion. We focused particularly on the practical application of machine learning algorithms to predict and optimize traffic light timing using data collected from simulated urban environments. The results suggest that integrating IoT and machine learning in urban traffic management can significantly improve traffic efficiency.

Key words = Iot, SUMO, Machine Learning, ANN, Traffic lights