

« Conception d'un système de gestion de la circulation basé sur l'internet des objets pour les intersections intelligentes »

RASOLOFONDRAIBE Victor Thiery Laurent R.V.T.L1, Ramanantsihoarana Harisoa Nathalie R.H.N2, Rastefano Elisée R.E3

1. Doctorant, École Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation EDSTII, Equipe d'accueil : Systèmes et Dispositifs Électroniques
2. Maître de conférences, École Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation EDSTII, Equipe d'accueil : Systèmes et Dispositifs Électroniques
3. Professeur, École Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation EDSTII, Equipe d'accueil : Systèmes et Dispositifs Électroniques

Auteur correspondant: RASOLOFONDRAIBE Thiery

Adresse : École Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénierie et de l'Innovation EDSTII, Equipe d'accueil : Systèmes et Dispositifs Électroniques

E-mail: rasolofondraibe.laurent@gmail.com

Téléphone : +261 34 89 680 09

Résumé

Les systèmes de gestion du trafic intelligents (ITS), basés sur l'Internet des objets (IoT), émergent comme une solution prometteuse pour optimiser la fluidité du trafic et améliorer la sécurité routière. Cet article propose la conception d'un système intelligent de gestion du trafic, spécifiquement destiné aux intersections, intégrant des capteurs IoT pour collecter des données en temps réel sur le trafic. Ces données sont analysées par un serveur central afin de prévoir l'état futur du trafic, déclencher des alertes pour les conducteurs et les piétons, et activer un système de freinage automatique en cas de risque de collision. Le système repose sur le concept de Temps jusqu'à Collision (TTC) pour évaluer les risques de collision aux intersections. Trois niveaux de risque sont définis : un risque élevé ($TTC < 3$ secondes), un risque moyen ($3 \leq TTC \leq 5$ secondes) et un faible risque ($TTC > 5$ secondes). En cas de risque élevé, le système déclenche des alertes et, si nécessaire, active un freinage automatique pour éviter une collision, même si le conducteur tente d'accélérer. Les résultats montrent que ce système peut significativement réduire les accidents aux intersections, améliorer la fluidité du trafic et protéger les usagers de la route. L'article conclut que l'intégration de l'IoT dans les systèmes de transport intelligents offre des perspectives prometteuses pour transformer la gestion du trafic et renforcer la sécurité routière, tout en soulignant la nécessité de poursuivre les recherches pour optimiser ces systèmes dans divers contextes urbains.

Mots clés :

Temps jusqu'à Collision, Internet des objets, systèmes de transport Intelligent, zone de conflit, interconnexion entre le véhicule et le véhicule, intersection intelligente

Abstract

Intelligent traffic management systems (ITS), which are based on the Internet of Things (IoT), are emerging as a promising way to optimize traffic flow and enhance route security. This article suggests the development of an intelligent traffic management system, specifically for crossings, that incorporates Internet of Things sensors to gather real-time traffic data. A central server analyzes these data in order to forecast traffic conditions in the future, send out alerts to drivers and pedestrians, and activate an automated braking system in the event of a collision. The system uses the Time to Collision (TTC) concept to assess the collision risks at crossings. There are three different risk levels: low risk ($TTC > 5$ seconds), medium risk ($3 \leq TTC \leq 5$ seconds), and high risk ($TTC < 3$ seconds). When there is a high risk, the system sounds an alarm and, if required, automatically engages the brakes to prevent an accident, even if the driver tries to accelerate. The results show that this system can significantly reduce intersection accidents, improve traffic flow, and protect road users. The article concludes that integrating the Internet of Things (IoT) into intelligent transportation systems offers promising perspectives to improve traffic management and bolster road safety while highlighting the need to continue research to optimize these systems in various urban contexts.

Keywords:

Time to Collision, Internet of Things, Intelligent Transportation Systems, conflict zone, Vehicle-to-Vehicle interconnection, smart intersection.

1. Introduction

La congestion et la sécurité du trafic représentent des défis majeurs pour les villes à l'échelle mondiale, avec des implications significatives sur le bien-être des citoyens, la performance économique et l'impact environnemental. Les embouteillages prolongent les temps de trajet, réduisent l'efficacité des transports et exacerbent la pollution atmosphérique due aux émissions des véhicules à l'arrêt [1]. Face à ces enjeux, les systèmes de gestion du trafic intelligents (ITS, *Intelligent Transportation Systems*) émergent comme une solution prometteuse, exploitant les technologies de l'information et de la communication pour optimiser la fluidité du trafic, améliorer la sécurité routière et réduire l'empreinte écologique [2]. Les systèmes traditionnels de contrôle du trafic reposent sur des infrastructures telles que des capteurs, des caméras et des équipements de surveillance pour collecter des données sur le flux de circulation. Ces informations sont ensuite analysées pour réguler les feux de signalisation, ajuster les

panneaux dynamiques et adapter les limites de vitesse, dans le but de minimiser les conflits entre usagers de la route [3]. Cependant, ces systèmes présentent des limites notables. Leur coût d'implémentation et de maintenance élevé restreint leur déploiement dans de nombreuses zones urbaines, en particulier dans les régions à ressources limitées [4]. De plus, ils ne garantissent pas toujours une sécurité optimale, notamment aux intersections, où les interactions complexes entre véhicules, piétons et cyclistes augmentent les risques d'accidents [5].

Dans ce contexte, l'Internet des objets (IoT) offre des perspectives innovantes pour repenser la gestion du trafic, en particulier aux intersections, points névralgiques des réseaux routiers. Les systèmes IoT permettent une collecte de données en temps réel via des capteurs embarqués, une communication sans fil efficace et une analyse centralisée des informations pour une prise de décision dynamique [6]. Plusieurs études ont démontré le potentiel de l'IoT pour améliorer la sécurité et l'efficacité des intersections. Par exemple, [7] a proposé un système basé sur l'IoT pour la détection des collisions, tandis que [8] a exploré l'utilisation de capteurs IoT pour optimiser les cycles des feux de signalisation en fonction du trafic en temps réel. Néanmoins, des défis subsistent, notamment en ce qui concerne la fiabilité des capteurs, la latence des communications et l'intégration des données provenant de sources hétérogènes [9].

Cet article s'inscrit dans cette lignée de recherche en proposant la conception d'un système intelligent de gestion du trafic basé sur l'IoT, spécifiquement dédié aux intersections. Ce système intègre des détecteurs IoT pour la collecte de données en temps réel sur le trafic, qui sont transmises à un serveur central pour une analyse approfondie. En s'appuyant sur des algorithmes prédictifs, le système fournit des prévisions sur l'état futur du trafic, déclenche des alertes pour les conducteurs et les piétons, et active un mécanisme de freinage automatique en cas de risque imminent. Cette approche vise à améliorer la sécurité et l'efficacité des intersections tout en réduisant les coûts d'infrastructure associés aux systèmes traditionnels.

2. Méthodologie

2.1. Structure générale d'un système de signalisation et de freinage automatique autour du carrefour

Le système est conçu pour émettre des alertes afin d'éviter des collisions à un carrefour. Si des édifices occultent la vue des véhicules, les chauffeurs ne sont pas informés de l'arrivée d'autres véhicules à une intersection depuis une autre voie. L'application de sécurité automobile se base sur la diffusion d'informations relatives au mouvement et à la localisation des véhicules. Si un véhicule communique sa

position et son état de manière périodique, il sera possible pour d'autres véhicules de détecter l'approche de ce véhicule caché et d'adopter les actions requises pour prévenir une collision. Si le conducteur reçoit l'avertissement et s'y conforme. Il va ralentir et son auto finira par s'immobiliser. Donc, il n'y a pas de chevauchement. Si le conducteur ne réagit pas aux alertes, l'intelligence artificielle (machine learning) entre en jeu pour garantir la sécurité. Ce système mettra en place un freinage automatique et même si le conducteur tente d'accélérer, l'appareil se déclenche pour arrêter la voiture, bloquant tout mouvement en avant.

Le système est constitué de divers composants reliés entre eux, tels que les véhicules, l'infrastructure routière (routes et carrefours), le réseau sans fil ainsi que le serveur central. La Figure 1 représente la structure générale d'un système.

2.2. Modélisation de l'environnement

2.2.1. Système de traitement des données

L'incorporation de l'IoT dans la gestion des données facilite l'anticipation des flux de circulation en analysant les données collectées par divers capteurs et appareils connectés en temps réel. Cela améliore aussi la synchronisation des données, ce qui augmente l'efficacité des systèmes de transport intelligent. Dans l'environnement de traitement des données, trois formes de communication sont à la base du fonctionnement du système. La communication véhicule à véhicule (i) V2V : cette méthode de communication autorise une interaction directe d'informations entre les véhicules. Par le biais de technologies comme les réseaux ad hoc et les protocoles de communication sans fil, les véhicules ont la capacité d'échanger des informations relatives à leur emplacement, leur vitesse et leur orientation. La communication entre le véhicule et l'infrastructure (ii) V2I : ce dispositif crée une connexion entre les automobiles et les structures routières telles que les feux de signalisation et les détecteurs de circulation. Cette communication permet aux véhicules d'obtenir des renseignements en direct concernant l'état du trafic, les restrictions de vitesse, la localisation des véhicules dissimulés par des édifices, et aussi sur les chantiers de route. Et la communication entre le véhicule et les piétons (iii) V2P : ce genre de communication cherche à établir un partage d'informations entre les véhicules et les piétons, en se servant d'outils comme des applications sur smartphones ou des capteurs portatifs. Les automobiles sont donc capables de repérer la présence de piétons à proximité et de leur fournir des renseignements sur le trafic, alors que les piétons reçoivent des notifications sur l'arrivée des voitures [17]. La figure 2 illustre les plans de circulation à l'intersection pour ces trois formes de communication.

Il est possible de réaliser ces trois systèmes sous l'appellation V2X (communication véhicule-à-tout). V2X facilite la création de services de qualité supérieure pour le système de transport intelligent, contribuant ainsi à l'amélioration de la circulation routière. Cela est synthétisé dans le tableau 1.

2.3. Module de communication

2.3.1. Capteurs connectés

Les capteurs IoT recueillent des informations sur le trafic (nombre de véhicules et de piétons), la vitesse des voitures et l'état des routes, ce qui permet une analyse en direct [11].

2.3.2. Connectivité

La connectivité est un facteur essentiel pour l'efficacité d'un système dans les carrefours. Ce dispositif fonctionne sur un réseau sans fil facilitant une interaction en direct et cohérente entre différents éléments, tels que les capteurs, les feux de circulation et le système de contrôle centralisé [12] [14]. La technologie 5G peut être utilisée comme fondement pour le réseau sans fil, qui doit s'étendre sur toute l'intersection et ses zones avoisinantes afin d'assurer une communication efficace entre tous les capteurs et dispositifs connectés.

2.3.3. Architecture de communication

L'établissement d'une liaison conceptuelle entre les quatre sous-systèmes (piétons, infrastructure, serveur central et véhicule) qui composent le système de transport intelligent (Intelligent Transport System : ITS) [16], favorise l'intégration des secteurs du transport et des télécommunications. Ceci facilite le développement et la mise en application efficace d'une large gamme de services destinés aux utilisateurs de ce système. L'architecture du système de communication des ITS est illustrée dans la figure 3.

2.4. Module de vision

Le système offre la possibilité d'évaluer le nombre de pré-collisions identifiées dans la zone de conflit, de déterminer l'écart entre le véhicule et la zone de conflit au niveau de l'intersection, ainsi que de situer le véhicule selon un repère absolu.

2.4.1. Système d'alerte et de sécurité

Le mécanisme d'avertissement de sécurité autour de la zone de conflit intègre des systèmes d'alerte en direct, conçus pour détecter les situations de circulation inhabituelles, les accidents éventuels et les zones à risque [11]. Le modèle suggéré pour le système est illustré à la figure 4.

2.4.2. Algorithme et formule mathématique pour le système

Un algorithme pour un système comprend la collecte et l'analyse de données, la prise de décisions, l'adaptation dynamique, la communication et l'établissement de priorités intelligentes [18].

2.4.2.1. Algorithmes de contrôle

On met en œuvre les algorithmes de contrôle afin de gérer les composantes du réseau routier, en utilisant les informations collectées par les capteurs IoT. Ces algorithmes déterminent les stratégies de régulation les plus efficaces pour améliorer la circulation et garantir la sécurité. La distance entre le véhicule et la zone de conflit est l'un des critères les plus couramment surveillés parmi les paramètres fréquents. La figure 5 illustre la distance entre le véhicule V1 et la zone de conflit, ainsi que celle entre le véhicule V2 et cette même zone.

La distance entre le véhicule V1 et la zone conflictuelle est déterminée en recourant à la formule de la distance euclidienne.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

Pour le véhicule V1 positionné en (2,3) et la zone de conflit C localisée en (5,7), la distance séparant V1 de C est de 5, où (x1, y1) représentent les coordonnées du véhicule et (x2, y2) à celles de la zone de conflit. La figure 6 illustre cette distance.

L'écart entre une coordonnée GPS et une coordonnée de géoréférence, ou l'erreur planimétrique [13], peut être évalué en fonction de la précision demandée et de l'éloignement entre ces deux positions (les coordonnées GPS (λ_{GPS} , ϕ_{GPS}) et les coordonnées de référence (λ_{ref} , ϕ_{ref})).

$$dh = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \quad (2)$$

où :

$\Delta X = (\lambda_{GPS} - \lambda_{ref}) \times \cos(\phi_{ref}) \times R$, $\Delta Y = (\phi_{GPS} - \phi_{ref}) \times R$ et R : Rayon terrestre (~6371 km)

Cette distance est aussi exprimée par l'équation (3) (4) (5) en utilisant la formule de Haversine

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos(\phi_{\text{GPS}}) \cos(\phi_{\text{ref}}) \sin^2\left(\frac{\Delta y}{2}\right) \quad (3)$$

$$c = 2 \times \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (4)$$

$$dh = R \times c \quad (5)$$

où: $\Delta\phi = \phi_{\text{GPS}} - \phi_{\text{ref}}$, $\Delta Y = \lambda_{\text{GPS}} - \lambda_{\text{ref}}$ et **atan2** est la fonction arc-tangente à deux arguments

L'écart entre le véhicule V1 (positionné à l'ouest de l'intersection) et la zone de conflit, de même que celui entre le véhicule V2 (localisé au nord de l'intersection) et la zone de conflit, est déterminé en utilisant la formule euclidienne pour calculer les distances. Pour les véhicules V1(2,3), V2(5,10) et la zone de conflit C(5,7), nous calculons la distance entre chaque véhicule et la zone de conflit en utilisant l'équation (1). La figure 7 représente ces distances qui séparent les véhicules de l'intersection.

2.4.2.2. Algorithmes de prédiction

Les algorithmes de prédiction examinent les informations recueillies par les capteurs IoT pour prévoir l'état futur du trafic. Ils évaluent des paramètres clés comme le nombre de véhicules, leur vitesse et leur orientation. Grâce à l'IoT, les systèmes captent en temps réel des informations sur la circulation, qui sont ensuite utilisées pour calculer divers indicateurs de performance du trafic (Key Performance Indicator : KPI), comme le temps de parcours moyen, le taux de congestion, la durée nécessaire pour parcourir une distance donnée et le nombre d'accidents. Par ailleurs, le Temps Jusqu'à Collision (TTC) permet d'évaluer le laps de temps restant avant qu'un véhicule n'entre en contact avec un autre objet ou véhicule dans la zone de conflit aux intersections. Cet algorithme donne au conducteur un laps de temps pour éviter une collision, en lui permettant soit de choisir de rester à son emplacement actuel, soit d'estimer les implications d'une poursuite de son parcours (danger de collision, dégâts matériels, blessures ou pertes humaines).

Le temps de parcours moyen est un indicateur essentiel de la performance du trafic, utilisé pour juger l'efficacité d'un réseau routier et déterminer la durée nécessaire à un véhicule pour couvrir une certaine distance. Il est calculé en utilisant la formule qui suit :

$$T_m(t) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i(t)}{n(t)}$$

Où, $T_m(t)$ est le temps de parcours moyen à l'instant t , $T_i(t)$ est le temps de parcours du véhicule i à l'instant t et $n(t)$ est le Nombre de véhicules ayant terminé le trajet au temp t . La figure 8 illustre la progression du temps de parcours moyen.

Le Temps Jusqu'à Collision (TTC) a estimé le temps restant avant qu'un objet en déplacement ne rencontre un obstacle, en supposant que la vitesse reste constante. Cette durée est déterminée par l'équation suivante :

$$TTC = \frac{d}{v_r} \quad (7)$$

Où v_r la vitesse relative

$$v_r = v_A - v_B \quad (8)$$

v_A est la vitesse de l'objet A et v_B celle de l'objet B, d est la distance entre eux (distance du véhicule à l'intersection en m). La représentation graphique dans la figure 9 illustrera la distance restante de chaque véhicule en lien avec le temps restant avant l'impact. Le Véhicule 1 (V1) se déplace d'ouest en est à une vitesse de 15 m/s, tandis que le véhicule 2 (V2) progresse du nord vers le sud à une vitesse de 10 m/s. V1 est situé à 60 mètres du carrefour, tandis que V2 se trouve à une distance de 40 mètres.

D'après ces 2 paramètres, on peut estimer les conditions de risque de collision [17]:

- Si les véhicules atteignent l'intersection simultanément ou si la différence entre leurs TTC [13] ($|TTC_{v_1} - TTC_{v_2}|$) est inférieure à 3 secondes, le risque de collision est élevé. Des actions immédiates doivent être prises pour éviter l'impact. (Collision prévue dans le futur, niveau de risque =1).
- Si les véhicules atteignent l'intersection à des moments différents et que le TTC est entre 3 à 5 secondes, le risque est moyen. Le conducteur de véhicule a une marge de prendre de décision pour éviter la collision ou déterminer son impact. (Niveau de risque = 0,5).
- Si les véhicules atteignent l'intersection à des moments différents et que le TTC est supérieur à 5 secondes, le risque de collision est faible. Le véhicule 1 n'entrera pas en conflit avec le passage du véhicule 2 dans la zone d'intersection. (Pas de collision, niveau de risque = 0). La figure 10 illustrant ces conditions et les niveaux de risque en fonction de la différence de TTC.

2.4.2.3. Algorithme de contrôle prédictif

Cet algorithme combine les algorithmes de contrôle et de prédiction. Il se sert des données recueillies par les capteurs IoT pour déterminer les stratégies de contrôle les plus efficaces en fonction de la prévision de l'état du trafic à venir. La figure 11 présente le diagramme d'activité du fonctionnement du système en cas de collision probable [23] ainsi qu'un algorithme qui suit la logique de ce schéma en

déteçant un risque de collision, transmettant des alertes aux conducteurs et mettant en marche le freinage automatique si nécessaire [19] [23]. Il comprend cinq phases : (i) l'acquisition des données via les capteurs IoT, (ii) la diffusion de ces informations par les modules de communication IoT, (iii) le traitement des données sur le serveur central afin d'identifier un potentiel accident, (iv) l'évaluation de la réponse du conducteur, et pour finir, (v) le contrôle de la vitesse du véhicule pour le stopper si besoin.

2.4.3. Règle de prioritaire et de gestion des avertissements

(i) Priorité 1 : Le véhicule au type de véhicule d'urgence (Ambulance), autorité, ...

(ii) Priorité 2 : Règle de priorité sur l'intersection

Le système identifie le type de véhicule en circulation. Lorsqu'un véhicule d'urgence est détecté, une alerte est envoyée à l'ensemble des autres véhicules et les procédures de communication adéquates sont mises en œuvre. S'il n'y a pas de véhicule d'urgence, il respecte les règles de priorité aux carrefours et envoie une notification aux véhicules non prioritaires ou ceux qui doivent céder le chemin pour qu'ils se stoppent. Le système continue alors de fonctionner en fonction des situations [19].

2.4.4. Scénarios de communications sur l'intersection

Pour évaluer un système d'avertissement et de freinage automatique dans notre dispositif de prototypage, nous prenons en compte les trois types d'événements suivants :

(i) Risque de collision : cette situation se produit lorsque le TTC est inférieure à 3 secondes

(ii) Temps de réponse de conducteur : le système offre une marge pour la prise de décisions.

(iii) Assistance dans un freinage automatique : le Machine Learning [21] est mis en œuvre pour établir un système de freinage automatique et contrôler l'accélération si le conducteur n'intervient pas à l'avertissement et essaie d'accélérer le véhicule. La figure 12 illustre les trois types d'événements, ainsi que l'algorithme de contrôle représentant ce schéma de communication entre les véhicules et la zone conflictuelle à l'intersection.

2.5. Création d'interface graphique

Une interface intuitive pour les contrôleurs de trafic dans le serveur central facilite l'observation des données en temps réel et la prise de décisions basées sur les informations délivrées par le système [23]. La figure 13 présente l'interface de gestion du contrôle de circulation dans le serveur central.

2.6. Diagrammes d'interaction entre composants

Les schémas facilitent une représentation visuelle du déroulement des processus, des transferts d'informations et des chaînes décisionnelles critiques. Les diagrammes d'interaction, qui structurent les

échanges essentiels entre les capteurs, les calculateurs embarqués et les infrastructures, ainsi que les processus décisionnels allant de la détection à l'action corrective, tout en démontrant la coordination temporelle des communications V2X (Vehicle-to-Everything). La figure 14 illustre le processus de communication entre les divers éléments du système (capteurs, algorithmes), permettant ainsi de visualiser les interactions.

3. Résultats

Les résultats de cette recherche indiquent que ces systèmes peuvent grandement améliorer la fluidité du trafic et la sécurité. Ces systèmes sont en mesure de rassembler des informations sur le trafic en temps réel, facilitant ainsi des prises de décision plus performantes pour assister les conducteurs désireux d'arriver à leur destination sans incident et d'obtenir une connaissance précise de la situation routière. Le graphique 14 illustre la trajectoire du scénario de communication entre les véhicules et la zone de conflit à l'intersection lors d'une collision.

Le texte décrit les diverses zones :

Danger de collision (Rouge - Zone $\leq 3s$) : si le Temps Avant Collision (TTC) est inférieur à 3 secondes, le danger d'une collision devient majeur. Délai de réaction du conducteur (Jaune - Entre 3s et 5s) : le conducteur dispose d'une période de grâce pour effectuer un choix. Assistance au freinage automatique (Vert - $\geq 5s$) : si l'automobiliste reste inactif, le système enclenche le freinage de lui-même et contrôle l'accélération [8]. Le tableau 2 illustre les avantages du système.

4. Discussion

Un véhicule muni d'un système de freinage présente des bénéfices notables en termes de sécurité, de réactivité et de circulation fluide comparé à un véhicule ordinaire. Un véhicule classique repose entièrement sur le conducteur pour faire face aux situations critiques et assurer la sécurité, tandis qu'un véhicule équipé d'un système d'assistance offre une aide précieuse en améliorant la fluidité du trafic et en fournissant des renseignements sur les conditions de circulation. En outre, un véhicule doté de ce dispositif met en œuvre des algorithmes d'apprentissage automatique afin de repérer de façon anticipée les périls et d'actionner automatiquement les freins en présence d'une collision imminente, garantissant ainsi une sécurité accrue pour l'ensemble des conducteurs sur la route [24]. Le tableau 3 présente la comparaison entre le système avancé de freinage d'urgence (AEBS) et le système de signalisation et de freinage automatique aux intersections. La figure 16 illustre l'opération de deux systèmes.

Ces conclusions suggèrent que l'incorporation des systèmes de signalisation et de freinage automatique dans les réseaux de transport peut grandement réduire la fréquence des accidents aux intersections.

Toutefois, il est crucial de noter certaines restrictions possibles de ces systèmes. Tout d'abord, le recours à la technologie peut entraîner des complications, en particulier lors d'une panne technique où le système pourrait ne pas opérer comme envisagé. De plus, des conditions météorologiques défavorables comme la pluie, la neige ou le brouillard peuvent nuire à l'efficacité des capteurs, mettant par conséquent en péril la capacité du système à identifier les dangers de manière efficiente. Enfin, les algorithmes de machine learning, même s'ils se montrent performants dans diverses situations, peuvent être confrontés à des contraintes lors de circonstances inattendues ou inhabituelles, risquant ainsi de provoquer des fautes d'appréciation et des réponses inadaptées du système. Des études ultérieures pourraient analyser l'impact de ce dispositif sur le comportement des automobilistes dans différentes situations de circulation et explorer des améliorations potentielles

5. Conclusion

L'internet des objets est un système de communication entre les objets physiques et les systèmes informatiques. Il autorise les appareils connectés à rassembler, stocker et diffuser des informations en temps réel, établissant ainsi un réseau de communication intelligent. Les objets connectés inclure des appareils ménagers, des automobiles, des capteurs de monitoring, du matériel médical et des machines industrielles. L'IoT est utilisé dans divers secteurs notamment la santé, l'industrie, l'agriculture, les villes intelligentes [10]. Il offre plusieurs avantages comme l'amélioration des procédures, la diminution des dépenses, l'élévation de la qualité de vie et la sauvegarde de l'environnement. Toutefois, il suscite aussi des inquiétudes concernant la sécurité et la protection de la vie privée des données. Les technologies diverses employées par les systèmes de transport intelligents participent à la transformation du système de transport et à l'optimisation des performances des infrastructures routières. L'identification et la gestion dynamique adaptative des véhicules d'urgence revêtent une grande importance pour minimiser les délais et assurer le respect des temps de réponse exigés [11]. Par conséquent, il est crucial de réduire les impacts négatifs des accidents de la route sur les vies humaines et les biens matériels, tout en renforçant la sécurité de ceux qui ne sont pas concernés. L'évolution des systèmes IoT offre la possibilité de surveiller et d'anticiper le trafic routier, ce qui constitue l'une des priorités des systèmes de transport intelligents. L'objectif est de signaler aux usagers de la route les dangers avant même qu'ils n'aient un aperçu visuel, dans le but d'améliorer la sécurité aux intersections, l'efficacité et la praticité de la conduite.

6. Références

- [1] Zhang, Y., & Wang, X. (2020). "Traffic Congestion and Air Pollution: A Global Perspective." **Journal of Environmental Management**, 260, 110065.

- [2] Ghazal, T. M., et al. (2021). "IoT-Based Intelligent Transportation Systems: A Comprehensive Review." **Sensors**, 21(12), 4145.
- [3] Papageorgiou, M., et al. (2003). "Review of Road Traffic Control Strategies." **Proceedings of the IEEE**, 91(12), 2043–2067.
- [4] Al-Sakran, H. O. (2015). "Intelligent Traffic Information System Based on Integration of Internet of Things and Agent Technology." **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, 6(2), 37–44.
- [5] Elhenawy, M., et al. (2020). "Intersection Safety: A Review of Recent Advances and Future Directions." **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, 21(9), 3656–3670.
- [6] Zanella, A., et al. (2014). "Internet of Things for Smart Cities." **IEEE Internet of Things Journal**, 1(1), 22–32.
- [7] Li, F., et al. (2019). "IoT-Based Collision Detection System for Intelligent Transportation." **IEEE Sensors Journal**, 19(17), 7602–7610.
- [8] Priyadarshini, R., & Barik, R. K. (2020). "IoT-Enabled Smart Traffic Light Control System for Congestion Management." **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, 11(11), 4567–4576.
- [9] Al-Turjman, F. (2020). "IoT in Smart Cities: Challenges and Future Directions." **Sustainable Cities and Society**, 59, 102231.
- [10] B. Christophe, M. Boussard, M. Lu, A. Pastor, and V. Toubiana, "The web of things vision: Things as a service and interaction patterns," *Bell Labs Technical Journal (John Wiley & Sons, Inc.)*, vol. 16, 2011.
- [11] B. Fabian, "Secure name services for the Internet of Things," *Thèse, HumboldtUniversität zu Berlin, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät*, 2008.
- [12] A. Nawaf, S. A. Anthony, and A. Akbar Sheikh, "Application of ZigBee and RFID Technologies in Healthcare in Conjunction with the Internet of Things," *Proceedings of International Conference on Advances in Mobile Computing; Multimedia, Vienna, Austria*, 2013.
- [13] Horst, R. Time-to-collision as a cue for decision-making in braking. *Vis. Veh.* 1991,
- [14] S Gopalakrishnan. A survey of wireless network security. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2014.
- [15] Tim Dierks. The transport layer security (TLS) protocol version 1.2. 2008.
- [16] Union internationale des télécommunications, "Système de transport intelligents : Manuel sur les communications mobiles terrestres (y compris l'accès hertzien)", vol.4, 2021.
- [17] Nadeen Salameh, Conception d'un système d'alerte embarqué base sur les communications entre véhicules. *Thèse de doctorat. INSA de Rouen*, 2011
- [18] Adrien Hemmer. Méthodes de détection pour la sécurité des systèmes IOT Hétérogènes. *Thèse de doctorat. INSA de Rouen*, 2023
- [19] Bourekba Iman, Lakhial Soraya. La gestion intelligente des intersections urbaine, *Mémoire de Master en Informatique, Spécialité : Génie des systèmes Informatique, Université AMO de Bouira*, 2021

- [20] Bentadjine Amel, Conception d'un modèle de contrôle adaptif du trafic, Mémoire de Master en Informatique, université 8 Mai 1945 Guelma, Juin 2022
- [21] W. Gender. Reinforcement Learning Traffic Signal Control. Thèse de doctorat. McMaster University. Hamilton, Ontario (Civil Engineering). 2018
- [22] R.B. Langley. The Evolution of the GPS Receiver. GPS WORLD, 2000.
- [23] Mohammed Misbahuddin, Machine-to-Machine Collaboration Utilizing Internet of Things and Machine Learning, Octobre 2023
- [24] Han, I.C.; Luan, B.C.; Hsieh, F.C. Development of Autonomous Emergency Braking Control System Based on Road Friction; Hua-Chung

7. Tableaux

Tableau 1 : Services offerts par le système V2X [16]

Système de communication	Connectivité	Services créer
V2I	Entre Véhicule et infrastructure	Navigation du conducteur, avertissement de la présence d'autre véhicule ou de piéton à droite ou à gauche de l'intersection
V2P	Entre Véhicule et piéton	Avertit un conducteur si un piéton s'approche de son véhicule
V2C	Entre Véhicule et serveur centrale	Information sur la circulation routière, fournir une estimation future de trafic (Emission sur le véhicule d'urgence, différents alerte, obstacle)
V2V	Entre Véhicule et Véhicule	Echanger des formations en temps réels (Distance, vitesse, type de véhicule, direction),

Tableau 2: Avantages du système

Numéro	Avantages
---------------	------------------

1	Réduction significative des accidents de la route à l'intersection, en particulier les collisions impliquant des véhicules masqués par des immeubles ou des changements de signalisation.
2	Protection des piétons traversant l'intersection en détectant et en réagissant aux situations dangereuses impliquant des véhicules.
3	Amélioration de la fluidité du trafic à l'intersection en réduisant les temps d'arrêt et les manœuvres dangereuses.
4	Réduction des coûts liés aux accidents de la route, y compris les dommages matériels, les blessures et les pertes de vies humaines.

Tableau 3 : Evaluation du système avec l'AEBS

	Système de freinage d'urgence avancé (Advanced Emergency Braking System : AEBS) [24]	Système d'alerte et de freinage automatique aux intersections.
Fonctionnalité	<ul style="list-style-type: none"> . Le système détermine la distance de sécurité qui existe entre les véhicules. . Si la limite de distance est dépassée, le système émet d'abord un signal d'avertissement. . Si le chauffeur ne réagit pas au signal, l'AEBS prend le relais et applique les freins si une collision est imminente 	<ul style="list-style-type: none"> . Le système est capable de détecter l'approche d'autres véhicules vers une intersection depuis une direction différente, en se basant sur la distance et le TTC. . Si le $TTC < 3$ secondes, un risque est signalé et le système notifie alors le conducteur. . Dans le cas où le conducteur n'agit pas sur l'avertissement, le système engage le freinage automatique. . Lorsque le chauffeur actionne la pédale d'accélération, le mécanisme de freinage automatique s'active pour stopper la voiture.
Environnement	sur la route	Aux alentours de l'intersection, sur une distance d'environ 300 mètres.

8. Figures

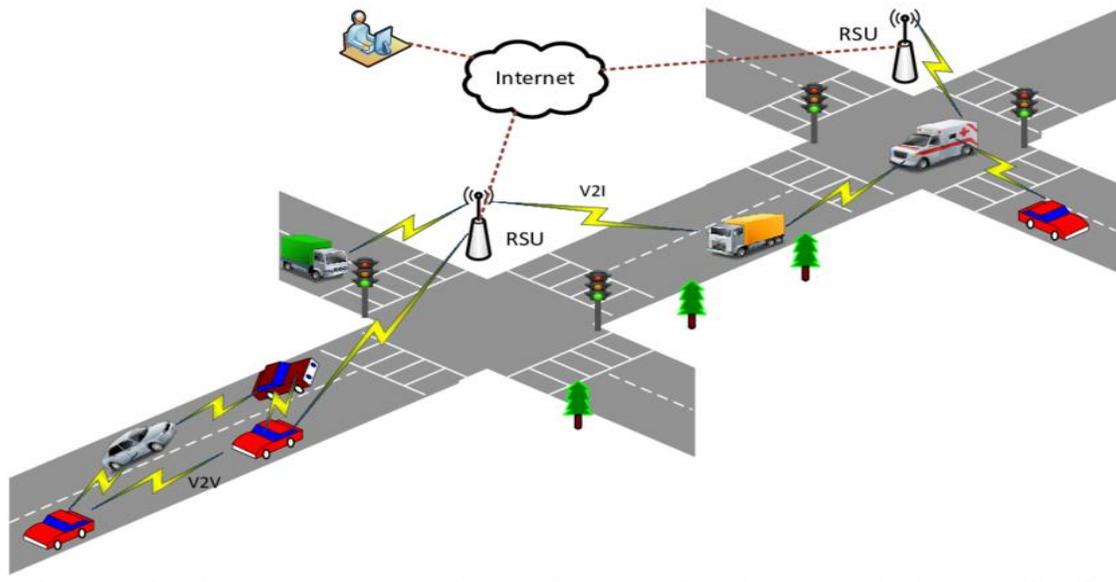


Figure 1 : Structure d'un système

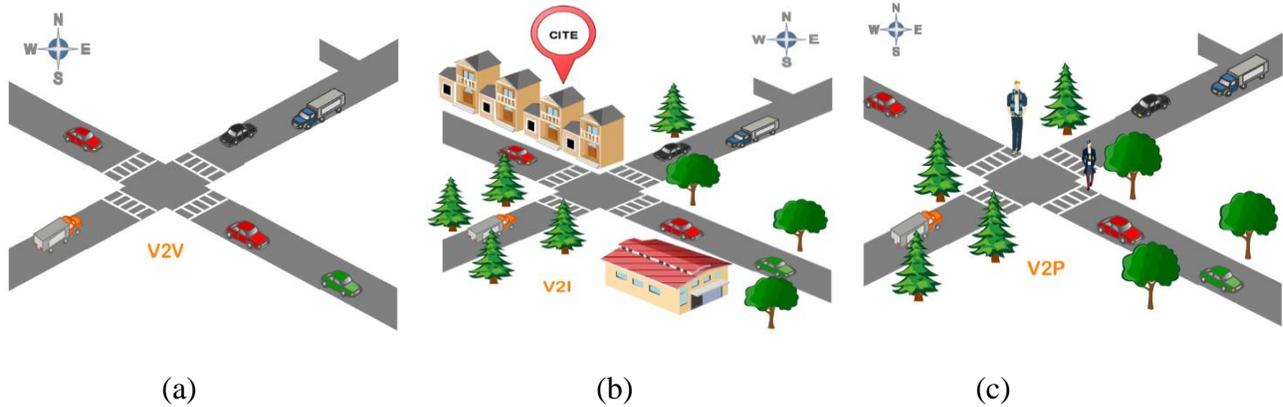


Figure 2 : Carte de l'intersection, avec les 3 types de communication (a) V2V, (b) V2I, (c) V2P

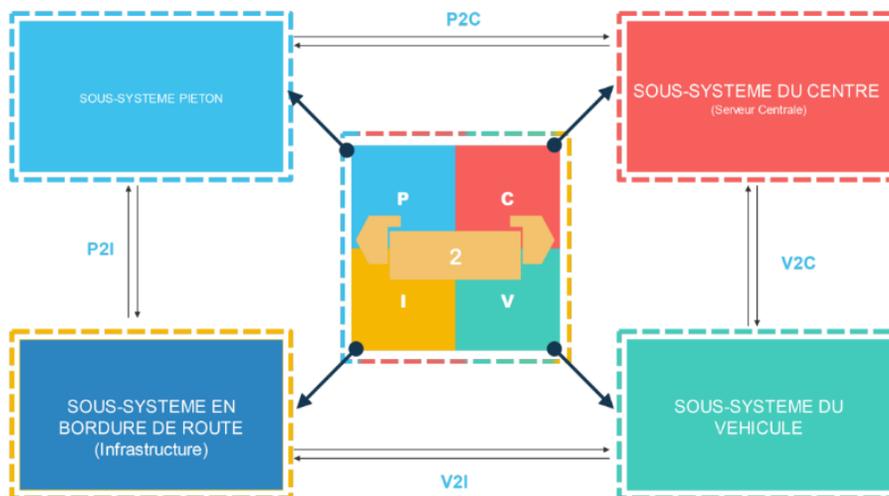


Figure 3 : Architecture de système de communication ITS

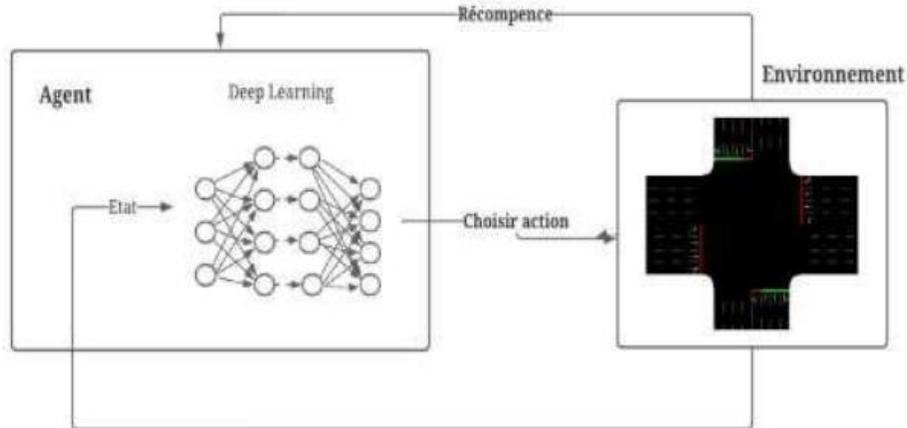


Figure 4 : Modèle proposé pour le système [20]

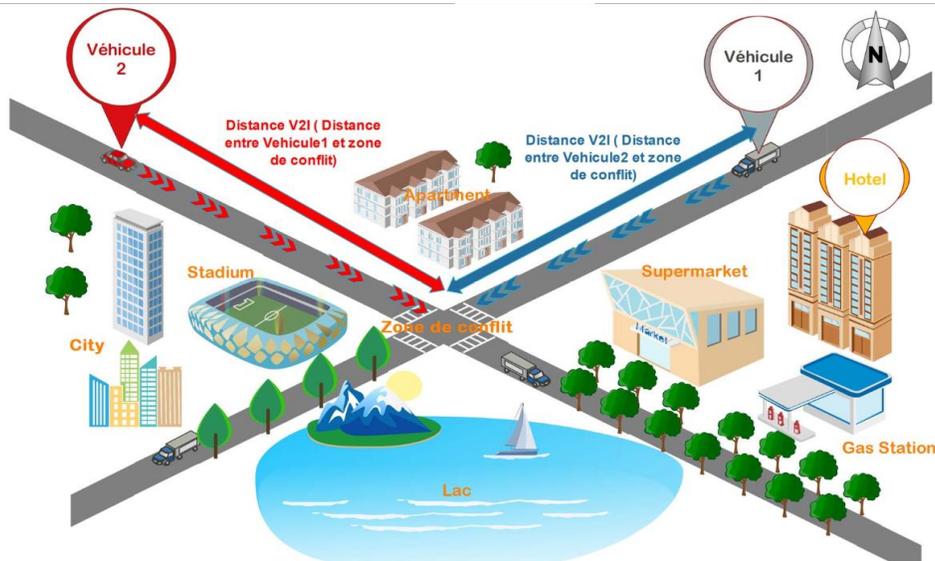


Figure 5 : Distance entre le véhicule et le zone de conflit

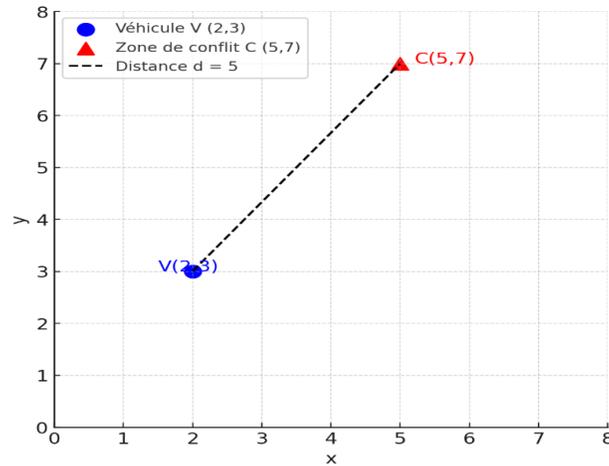


Figure 6 : Calcul de distance de véhicule et le zone de conflit

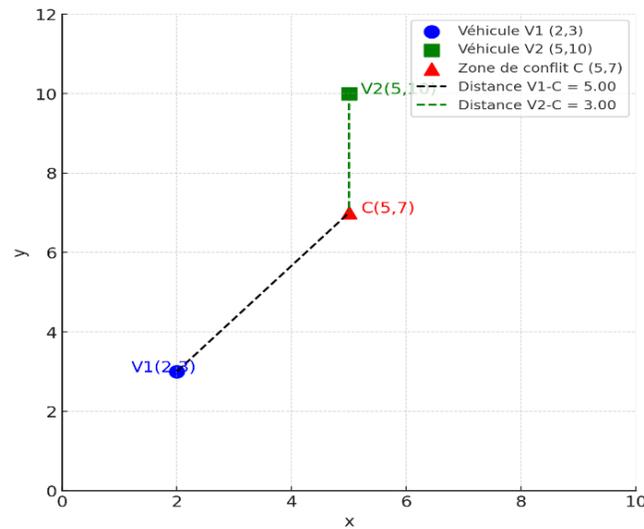
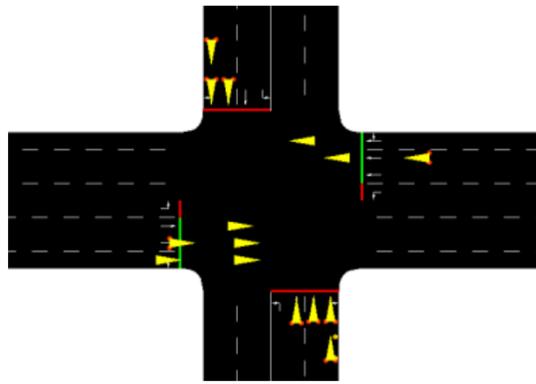
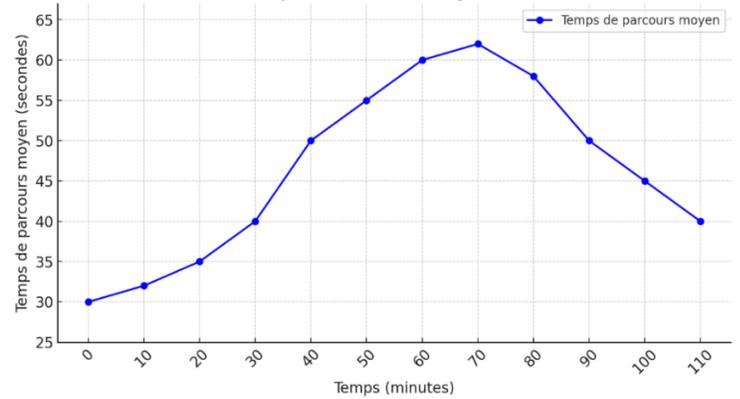


Figure 7 : Distances entre le véhicule v1 et la zone de conflit et entre le véhicule v2 et la zone de conflit



(a) [11]



(b)

Figure 8 : (a) Environnement ; (b) Evolution du temps de parcours moyen des véhicules à une intersection sur une période de 120 minutes

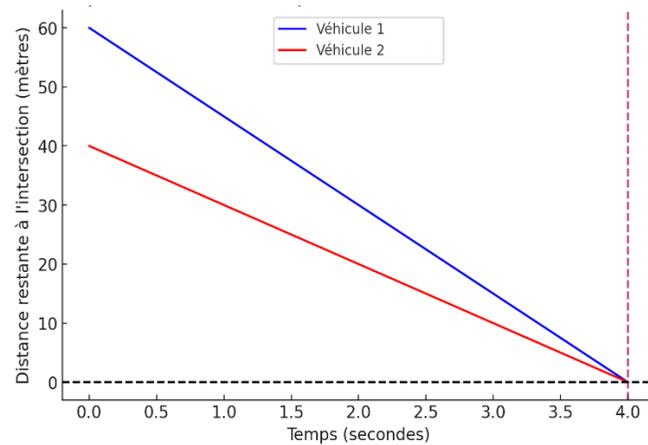
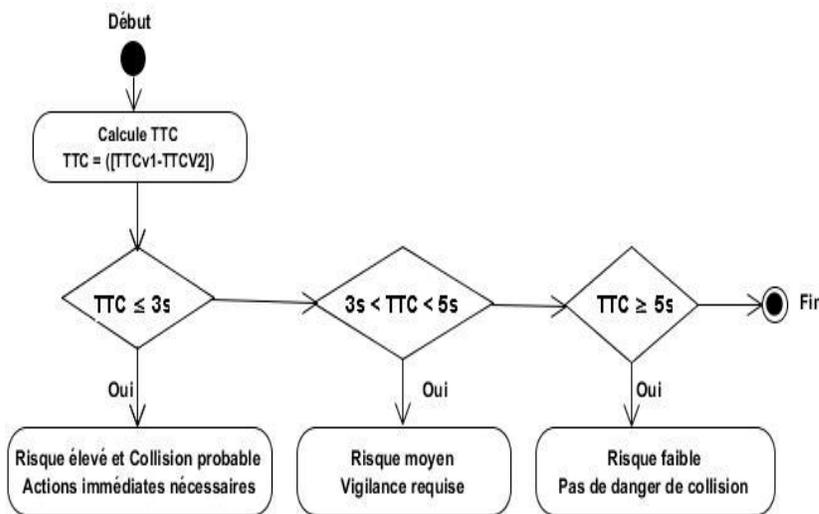
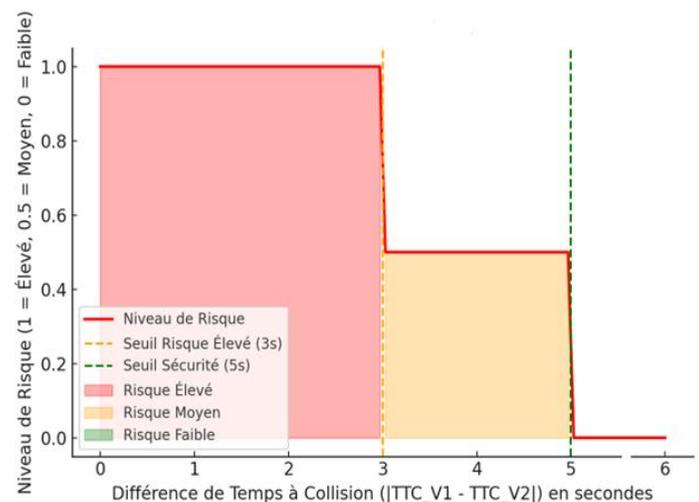


Figure 9 : Temps Jusqu'à Collision (TTC) pour les deux véhicules se dirigeant vers l'intersection



(a)



(b)

Figure 10 : (a) Contrôle de TTC ; (b) Niveaux de risque en fonction de la différence de temps à collision

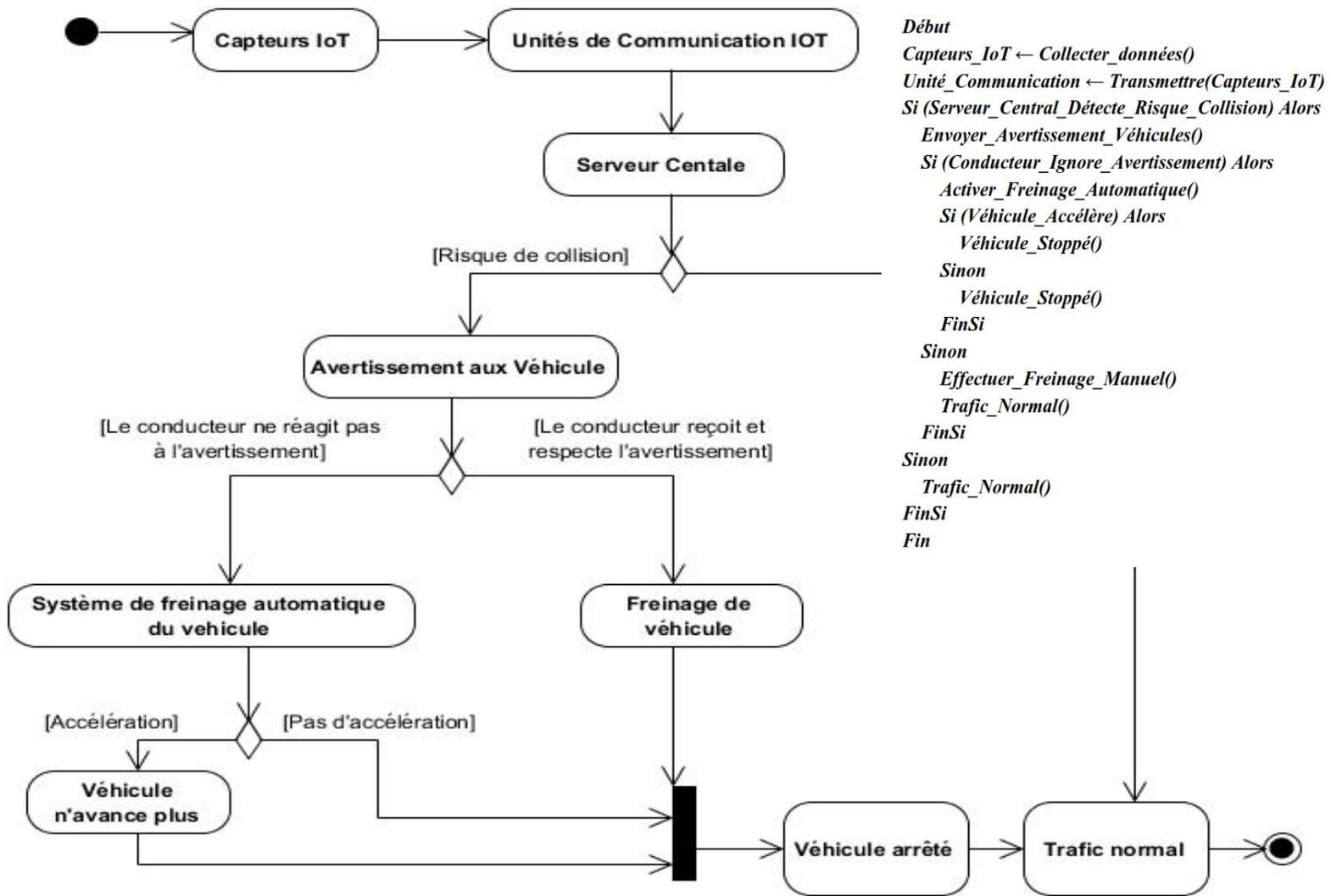
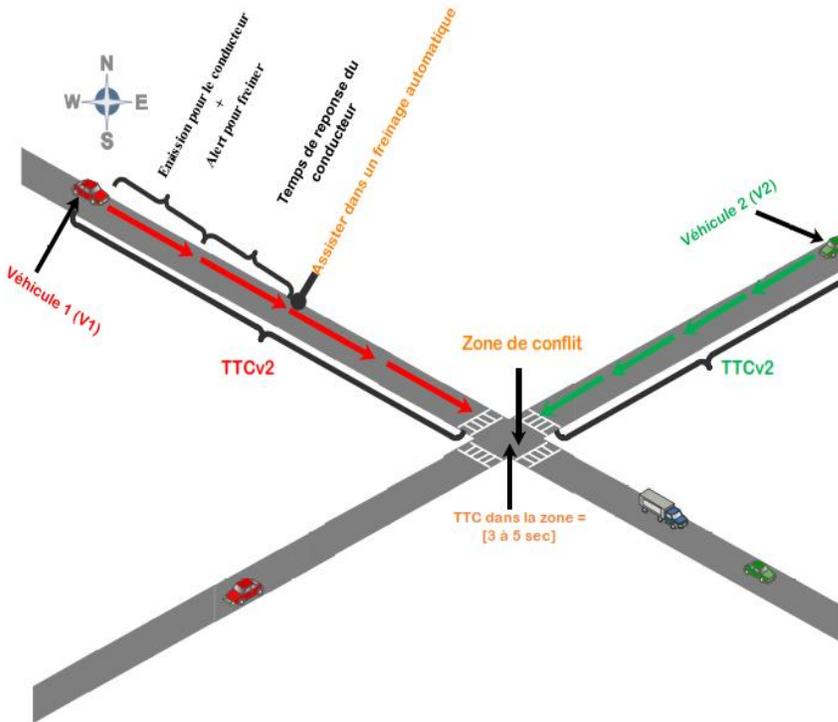


Figure 11 : Fonctionnement du système



Début

```

TTC = obtenirTempsDeCollision() // Temps jusqu'à la collision en secondes
conducteurRéagit = faux // Indique si le conducteur a réagi
seuilTTC = 3 // Seuil de risque de collision en secondes
Si TTC < seuilTTC Alors
    Afficher "Alerte : Risque de collision imminent !"
    tempsAttente = 2 // Temps d'attente pour la réaction du conducteur en secondes
    Démarrer minuterie(temps.Attente)
    Tant que minuterie n'est pas écoulee Faire
        Si conducteur.AppuieSurFrein() Alors
            conducteurRéagit = vrai
            Afficher "Le conducteur a réagi."
            Sortir de la boucle
        Fin Si
    Fin Tant que
    Si conducteurRéagit = faux Alors
        Afficher "Alerte : Le conducteur n'a pas réagi. Activation du freinage automatique."
        appliquerFreinageAutomatique()
        Si vérifierAccélération() > seuilAccélération Alors
            Afficher "Alerte : Accélération détectée. Freinage renforcé."
            appliquerFreinageRenforce()
        Fin Si
    Fin Si
Sinon
    Afficher "Aucune collision imminente détectée."
Fin Si
    
```

Figure 12 : Scénarios de communications entre les véhicules et le zone de conflit dans l'intersection

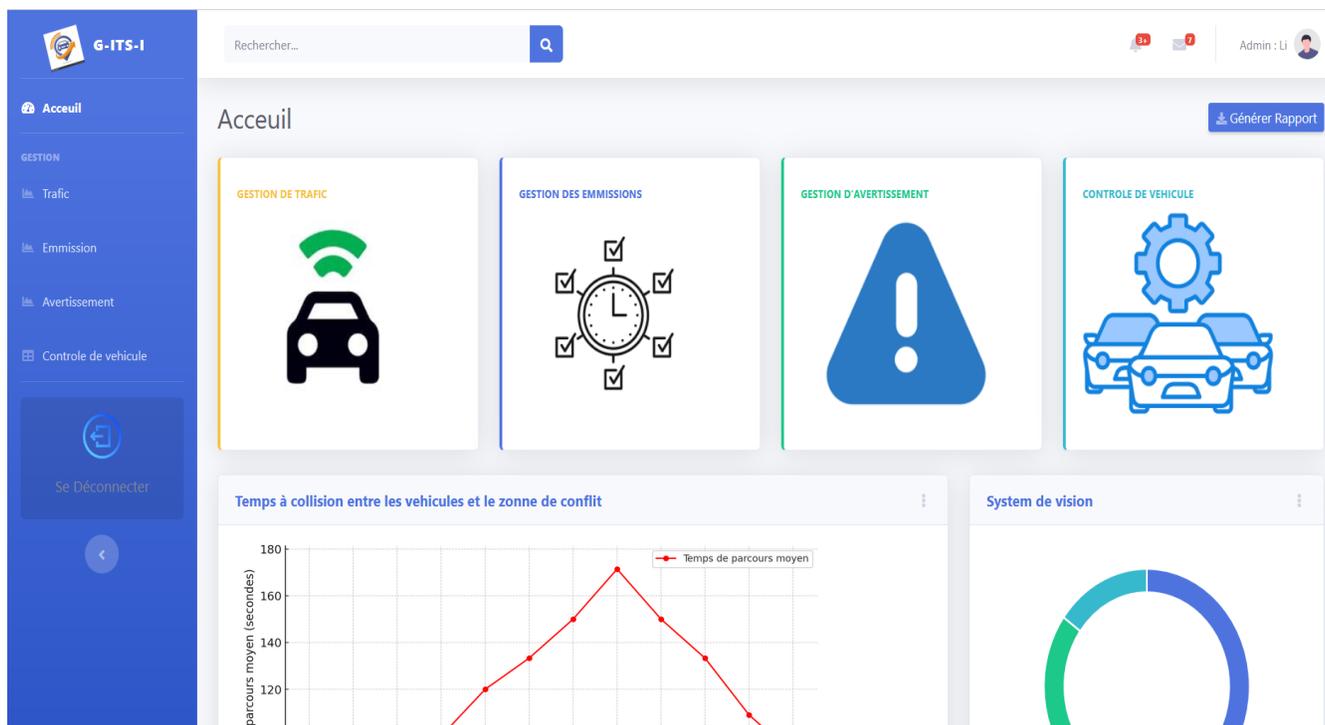


Figure 13 : Interface admin pour la gestion du contrôle de circulation dans le serveur central

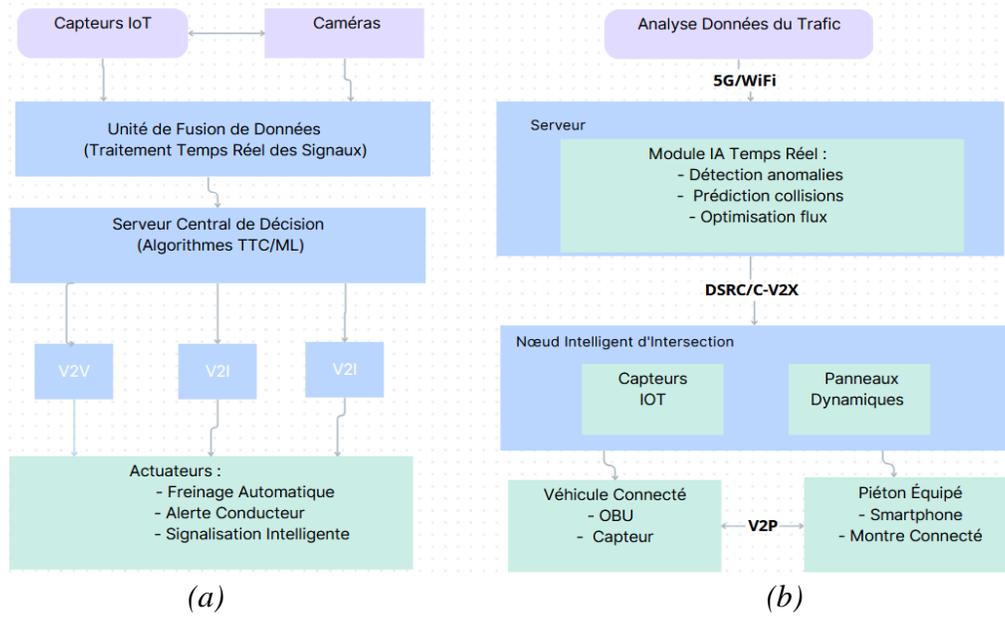


Figure 14 : (a) Modèle d'Architecture pour un Système d'Intersection Intelligent, (b) Diagramme d'Architecture Fonctionnelle

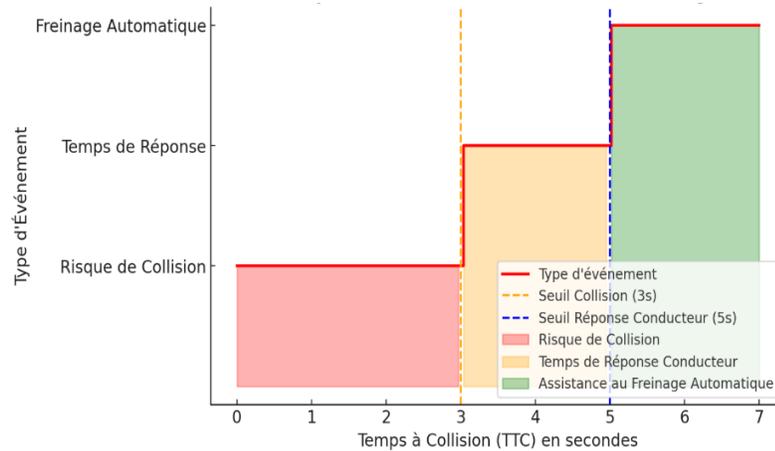
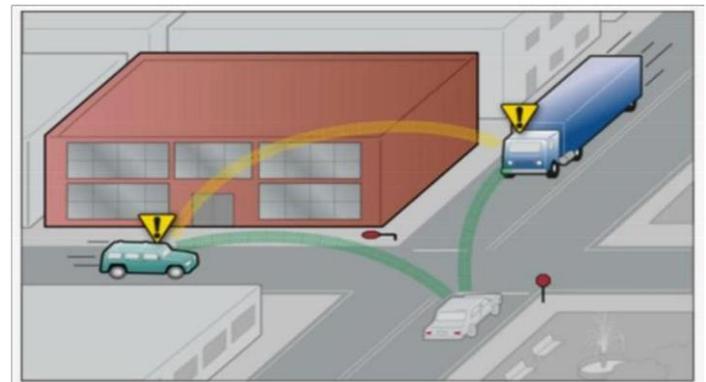


Figure 15 : Evaluation d'un système d'avertissement et de freinage automatique



(a)



(b)

Figure 16 : (a) Système de freinage d'urgence avancé (AEBS) [24], (b) Système d'alerte et de freinage automatique aux croisements [16].