

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار ثليجي بالأغواط  
UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI LAGHOUEAT  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE  
قسم الإلكترونيك  
DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



*Filière : Télécommunication*

Option : réseaux et télécommunication et Système de télécommunication

**Mémoire**

En vue de l'obtention du diplôme de Master

THÈME

---

**Etude des Mécanismes De Contrôle De Congestion Pour  
L'application De Sensibilisation Coopérative Dans Les  
Réseaux VANETs (Vehicle Adhoc Networks)**

---

**Study Of Congestion Control Mechanism for Cooperative  
Awareness Application Under VANETs (Vehicle Adhoc  
Networks).**

---

Présenté Par :

**Hamidat Mebarka**

**Sleia Chaimaa**

**Membres du jury :**

|                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| <b>Encadrant</b>     | Dr: BOUZIDI Mohammed          |
| <b>Co- Encadrant</b> | Dr: OULADDJEDID Lakhdar Kamel |
| <b>Président</b>     | Dr : RAMDANI Saadi            |
| <b>Examinatrice</b>  | Dr : MESMOUDI Samira          |

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **DÉDICACE :**

- **Nos pères :**

*Nous ne pouvons pas dire merci, ils sont seulement dit à la fin des événements, et nous nous voyons toujours au début, et nous gardons chaque moment que nous passons avec vous.*

*C'est vous qui nous avez inculqué l'amour de la science et de l'apprentissage.*

*Vous avez été nos meilleurs amis pendant notre carrière scolaire, du primaire au collège...*

*on t'aime tellement.*

- **Nos mères :**

*Nous n'avons peut-être pas toujours l'occasion de vous remercier, et nous n'avons peut-être pas toujours l'audace d'exprimer notre gratitude, mais il suffit de savoir que vous avez tant de mérite pour ce que nous sommes aujourd'hui.*

*Merci pour tout ce que vous nous avez donné.*

- **Nos frères :**

*À l'amour immersif et au bien sans frontières, à ceux que nous partageons toutes nos vies douces et amères, à ceux d'entre nous qui avaient le lien et le don.*

- **Nos familles :**

*Pour chaque famille Sleia, Et une famille Hamidat,*

*Des grands aux petits pour nous soutenir et nous encourager à nous défoncer, ils  
ont été notre meilleure aide.*

- ***Nos proches et amis :***

*Aux amoureux qui nous ont soutenus, encouragés nos pas...*

*À ceux qui ont été avec nous dans nos pires et plus doux jours,*

*Tu es notre plus grand amour et gratitude.*

*À tous ceux qui nous ont aidés à accomplir et à compléter cette Note de fin  
d'études.*

*Chaima, mebarğa*

## ***Merci et gratitude :***

*Nous remercions Allah de nous avoir donné la possibilité de compléter cette Note.*

*Alors que nous terminons cette note,*

*Nous ne pouvons que remercier Professeurs : Dr : **Lakhdar Kamel OULADDJEDID** et Dr : **Mohammed BOUZIDI**, pour sa sagesse des conseils précieux et de la patience pour remplir cette note. Et bien sûr, n'oubliez pas de remercier tous les professeurs distingués, Qui nous a donné un coup de main et aidé depuis que nous sommes entrés dans le monde de la science et de l'apprentissage.*

*Merci...*

*Chaima, mebaraka*

## *RÉSUMÉ*

La sécurité routière est la principale motivation derrière les communications inter-véhiculaires sous les réseaux ad hoc véhiculaires (VANET, Vehicle Adhoc Network), où les véhicules coopèrent en échangeant des messages sans fil pour éviter les situations critiques. La plupart des applications de sécurité sont construites sur la communication directe entre véhicules sans utiliser d'infrastructure spéciale pour assurer la transmission de messages élevés. Cependant, l'absence d'un mécanisme de contrôle central impose davantage d'exigences sur les algorithmes distribués et auto-organisés dans les véhicules au point où ils sont suffisamment stables pour gérer toute condition qui pourrait émerger dans le VANET. Par conséquent, l'algorithme de balise est très nécessaire pour tous les cas d'utilisation des applications de sécurité routière afin d'accroître la sensibilisation des conducteurs et d'avoir une visibilité en temps réel du quartier. Cet algorithme consiste à diffuser des messages d'état périodiques, appelés balises, contenant des informations internes comme la localisation géographique, la vitesse ou l'accélération. Les protocoles de contrôle d'accès au support de transmission physique (MAC, Medium Acces Control) décident quand un véhicule a le droit d'accéder au canal de communication partagé et planifie les transmissions pour minimiser le brouillage aux véhicules de réception. Par conséquent, la méthode MAC a une grande influence sur les performances des applications VANET. Notez que, un VANET est un réseau difficile pour le protocole MAC en raison de la vitesse élevée des véhicules qui résultent de la topologie en évolution rapide du réseau et le nombre de véhicules est inconnu et ne peut pas être limité.

D'autre part, le trafic de données de balisage implique des exigences sur un mécanisme d'accès prévisible, équitable et évolutif. L'IEEE 802.11p est le standard de référence pour les VANETs qui ont adopté la technique MAC Carrier Sense Multiple Access (CSMA) en raison de sa simplicité, de sa dynamique et de son asynchronicité. Toutefois, le CSMA fait toujours face à un grave problème appelé « conflit au début de l'intervalle » lorsqu'il y a une très forte probabilité que plusieurs véhicules émetteurs concurrents soient situés à proximité les uns des autres. Le but de cette mémoire est d'étudier la performance du protocole MAC récemment proposé appelé Random Beacons Spreading MAC (RBS MAC). Il peut être intégré en toute transparence en plus de la norme IEEE 802.11p. Son objectif est d'améliorer la méthode CSMA. Les simulations réalisées montrent que le RBS MAC donne une bonne performance, en ce qui concerne les exigences d'application de sécurité, par rapport à certains protocoles Célèbre.

**Mot-clé:** VANET, MAC, CSMA

## ***ABSTRACT***

The road safety is the main motivation behind inter-vehicular communications under vehicular ad hoc networks (VANET), where vehicles cooperate by exchanging messages wirelessly to avoid critical situations. Most of the safety applications are built on direct vehicle-to-vehicle communication without using special infrastructure to ensure high message delivery. However, the lack of a central control mechanism, places more requirement on distributed and self-organizing algorithms in the vehicles to the point where they are stable enough to handle any condition that may emerge in the VANET. Therefore, the beaconing algorithm is highly needed for all the use-cases of road safety applications in order to increase the drivers' awareness and have a real-time visibility of the neighborhood. This algorithm consists to broadcasts a periodic status messages; called beacons, containing internal information like geographical location, velocity or acceleration. The medium access control (MAC) protocols decides when a vehicle has the right is to accessing the shared communication channel and schedules transmissions to minimize the interference at receiving vehicles. Therefore, the MAC method has a big influence on the performance of VANET applications. Note that, a VANET is a challenging network for the MAC protocol because of the high speed of vehicles which result the fast changing topology of the network and number of vehicles is unknown and cannot be bounded. In the other hand, the beaconing data traffic implies requirements on a predictable, fair and scalable medium access mechanism. The IEEE 802.11p is the leading standard for VANETs which adopted the Carrier Sense Multiple Access (CSMA) as a contention-based MAC technique due to its simplicity, dynamicity, as well as its asynchronicity. However, CSMA is always facing a serious problem called “start-of-interval contention” where there is a very high probability that several contender transmitting vehicle are located close to each other. The focus of this memoire is to investigate the performance of recently proposed MAC protocol called Random Beacons Spreading MAC (RBS MAC). It can be seamlessly integrated on top of the IEEE 802.11p standard. Its objective is to enhance the CSMA method. The conducted simulations show that the RBS MAC give a good performance, in respect to safety application requirements, compared to some famous protocols.

**Keynotes:** VANET, MAC, CSMA

## ملخص

السلامة على الطرق هي الدافع الرئيسي وراء الاتصالات بين المركبات في إطار شبكات المركبات المخصصة (VANET)، حيث تتعاون المركبات عن طريق تبادل الرسائل لاسلكيًا لتجنب المواقف الحرجة. تم بناء معظم تطبيقات السلامة على الاتصال المباشر من مركبة إلى أخرى دون استخدام البنية التحتية الخاصة لضمان توصيل رسائل عالية. ومع ذلك، فإن عدم وجود آلية تحكم مركزية، يضع المزيد من المتطلبات على الخوارزميات الموزعة وذاتية التنظيم في المركبات لدرجة أنها مستقرة بما يكفي للتعامل مع أي حالة قد تظهر في VANET. لذلك، هناك حاجة ماسة إلى خوارزمية الإرشاد لجميع حالات استخدام تطبيقات السلامة على الطرق من أجل زيادة وعي السائقين وإبراز الحي في الوقت الفعلي. تتكون هذه الخوارزمية من بث رسائل الحالة الدورية؛ تسمى منارات، تحتوي على معلومات داخلية مثل الموقع الجغرافي أو السرعة أو التسارع. يقرر بروتوكولات التحكم في الوصول المتوسط (MAC) متى يكون للمركبة الحق في الوصول إلى قناة الاتصال المشتركة وجداول الإرسال لتقليل التداخل في المركبات المستقبلية. لذلك، فإن طريقة MAC لها تأثير كبير على أداء تطبيقات VANET. لاحظ أن VANET هي شبكة صعبة لبروتوكول MAC بسبب السرعة العالية للمركبات التي تؤدي إلى التغيير السريع في طوبولوجيا الشبكة وعدد المركبات غير معروف ولا يمكن تحديده. من ناحية أخرى، تنطوي حركة بيانات الإرشاد على متطلبات بشأن آلية وصول متوسطة يمكن التنبؤ بها وعادلة وقابلة للتطوير. IEEE 802.11p هو المعيار الرائد لـ VANETs الذي اعتمد CSMA كأسلوب MAC قائم على الخلاف نظرًا لبساطته وديناميكيته وعدم تزامنه. ومع ذلك، تواجه CSMA دائمًا مشكلة خطيرة تسمى «خلاف بدء الفاصل الزمني» حيث يوجد احتمال كبير جدًا لوجود العديد من سيارات الإرسال المنافسة بالقرب من بعضها البعض. ينصب تركيز هذه المذكرة على التحقيق في أداء بروتوكول MAC المقترح مؤخرًا والذي يسمى RBS MAC. يمكن دمجه بسلاسة فوق معيار IEEE 802.11p. هدفها هو تعزيز طريقة CSMA. تُظهر عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها أن RBS MAC يقدم أداءً جيدًا، فيما يتعلق بمتطلبات تطبيق السلامة، مقارنة ببعض البروتوكولات الشهيرة.

**الكلمات المفتاحية:** VANET, MAC, CSMA

# *TABLE DES MATIÈRES*

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| DÉDICACE .....                                                       | 3         |
| REMERCIEMENTS .....                                                  | 5         |
| RÉSUMÉ .....                                                         | 6         |
| ABSTRACT .....                                                       | 7         |
| ملخص .....                                                           | 8         |
| TABLE DES MATIÈRES .....                                             | 9         |
| LISTE DES FIGURES .....                                              | 13        |
| LISTE DES TABLEAUX .....                                             | 15        |
| LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....                               | 16        |
| <b>Chapitre 1 : Introduction générale.....</b>                       | <b>20</b> |
| 1.1 Motivation .....                                                 | 20        |
| 1.2 Éléments de la problématique .....                               | 22        |
| 1.3 Objectifs de la recherche .....                                  | 23        |
| 1.4 Plan du mémoire .....                                            | 24        |
| <b>Chapitre2 : Système Coopératif de Transport Intelligent .....</b> | <b>26</b> |
| 2.1. Introduction .....                                              | 26        |
| 2.2 Histoire .....                                                   | 27        |
| 2.3 Applications et spécifications technologiques .....              | 31        |
| 2.3.1. Catégories d'application .....                                | 31        |
| 2.3.1.1. Sécurité routière .....                                     | 31        |

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.1.2. Efficacité du trafic .....                                                    | 32        |
| 2.3.1.3. Services à valeur ajoutée .....                                               | 33        |
| 2.3.2. Classification selon l'heure de collision .....                                 | 34        |
| 2.3.3. Exigences d'application .....                                                   | 38        |
| 2.3.4. Les technologies nécessaires.....                                               | 41        |
| 2.4. Les réseaux ad-hoc véhiculaires (VANETs).....                                     | 43        |
| 2.4.1. Caractéristiques des VANETs.....                                                | 44        |
| 2.4.2. Objectifs de VANET .....                                                        | 45        |
| 2.4.3. Architecture VANET .....                                                        | 46        |
| 2.4.3.1. Véhicule intelligent .....                                                    | 46        |
| 2.4.3.2. Composants d'un réseau VANET .....                                            | 47        |
| 2.4.3.3. Modes de communication .....                                                  | 49        |
| 2.5. Conclusion .....                                                                  | 50        |
| <b>Chapitre 3 : Normalisation des Système de Transport Intelligent Coopératif.....</b> | <b>51</b> |
| 3.1. Introduction .....                                                                | 51        |
| 3.2 Organisation d'élaboration des normes .....                                        | 52        |
| 3.3 Architecture du système STI-C .....                                                | 55        |
| 3.3.1. Attribution des fréquences .....                                                | 55        |
| 3.3.1.1. Répartition aux États-Unis .....                                              | 55        |
| 3.3.1.2. Répartition dans l'UE .....                                                   | 56        |
| 3.3. 2. Architecture de référence de communication C-ITS .....                         | 57        |

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.2.1. L'architecture WAVE aux États-Unis .....                                | 57        |
| 3.3.2.2. L'architecture des stations STI dans l'UE.....                          | 58        |
| 3.3.3. Ensembles de messages .....                                               | 60        |
| 3.4. Système de sensibilisation à la coopération .....                           | 63        |
| 3.4.1. Aperçu du service de base .....                                           | 63        |
| 3.4.2. Le message de sensibilisation coopérative aux États-Unis .....            | 64        |
| 3.4.3. Le message de sécurité de base est UE .....                               | 64        |
| 3.5. Les Systèmes normalisés de contrôle d'accès aux supports (MAC).....         | 65        |
| 3.5.1. Fondations MAC IEEE 802.11p .....                                         | 65        |
| 3.5.1.1. Établissement du réseau (topologie) .....                               | 65        |
| 3.5.1.2. La méthode d'accès au canal .....                                       | 66        |
| 3.5.2. Défis et exigences VANET .....                                            | 70        |
| 3.6. Conclusion .....                                                            | 71        |
| <b>Chapitre 04 : Revue de la littérature des techniques MAC pour VANET .....</b> | <b>72</b> |
| 4.1. Introduction .....                                                          | 72        |
| 4.2 Taxonomie des propositions du MAC .....                                      | 73        |
| 4.2.1 CSMA/CA asynchrone –MAC basés .....                                        | 74        |
| 4.2.1.1 Investigation des solutions proposées .....                              | 74        |
| 4.2.1.2 Classification .....                                                     | 81        |
| 4.3 Discussion .....                                                             | 83        |
| 4.4. Conclusion .....                                                            | 85        |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Chapitre 5 :Contribution: Random Beacons Spreading MAC (RBS MAC).....</b> | <b>87</b>  |
| 5.1. Introduction .....                                                      | 87         |
| 5.2 Le protocole RBS MAC .....                                               | 87         |
| 5.2.1 L'idée principale .....                                                | 87         |
| 5.2.2 Modèle de système .....                                                | 89         |
| 5.2.3 Répartition du temps de transmission de départ avec IEEE 1609.4 .....  | 91         |
| 5.2.4 Accès moyen à l'aide de la norme IEEE 802.11p CSMA/CA.....             | 93         |
| 5.3 Étude de simulation .....                                                | 95         |
| 5.3.1 Outils de simulation .....                                             | 95         |
| 5.3.1.1 Simulation pour l'évaluation du rendement .....                      | 95         |
| 5.3.1.2 Simulateur de réseau 2 (NS2, Network Simulator 2) .....              | 97         |
| 5.3.2 Protocoles simulés.....                                                | 99         |
| 5.3.3 Paramètres de simulation .....                                         | 100        |
| 5.3.4 Mesures du rendement .....                                             | 102        |
| 5.3.5 Résultats de la simulation.....                                        | 103        |
| 5.4. Conclusion .....                                                        | 107        |
| <b>Chapitre 6 : Conclusion générale .....</b>                                | <b>108</b> |
| 6.1 Résumé .....                                                             | 108        |
| 6.2 Travaux futurs .....                                                     | 109        |
| Références .....                                                             | 110        |

## ***LISTE DES FIGURES***

|                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 2.1 : Systèmes d'avertissement radio pour véhicules .....                                                                                                                                                                                        | 27 |
| Figure 2.2 : Scénario de C-ITS étendu (source ITS ETSI) .....                                                                                                                                                                                           | 29 |
| Figure 2.3 : Classement des applications BSA selon la TTC.....                                                                                                                                                                                          | 34 |
| Figure 2.4 :Communication directe au moyen du DSRC pour le fonctionnement du V2X dans la bande STI (5,9 GHz). .....                                                                                                                                     | 42 |
| Figure 2.5. Communication réseau utilisant 3G / 4G LTE pour l'exploitation V2N dans la bande cellulaire sous licence. ....                                                                                                                              | 43 |
| Figure 2.6 Nœud représentants les réseaux VANET .....                                                                                                                                                                                                   | 44 |
| Figure 2.7: Les composants d'un véhicule intelligent .....                                                                                                                                                                                              | 47 |
| Figure2.8 : Le dispositif OBU (On Board Unit). ....                                                                                                                                                                                                     | 48 |
| Figure2.9: Le dispositif RSU (Road Side Unit). ....                                                                                                                                                                                                     | 48 |
| Figure2.10 : Modes de communication dans le réseau véhiculaire VANET. ....                                                                                                                                                                              | 50 |
| Figure 3.1 : Organismes d'élaboration de normes élaborant des C-ITS. ....                                                                                                                                                                               | 52 |
| Figure 3.2 : Élaboration conjointe de normes par CEN TC278 et ISO TC204.....                                                                                                                                                                            | 54 |
| Figure 3.3 : Canaux attribués aux États-Unis par la FCC pour C-ITS.....                                                                                                                                                                                 | 56 |
| Figure 3.4 : Fréquences porteuses des C-ITS dans l'UE.....                                                                                                                                                                                              | 57 |
| Figure 3.5 : La pile de protocoles WAVE contenant à la fois une partie des applications de sécurité routière et une partie non sécuritaire.....                                                                                                         | 58 |
| Figure 3.6 : Architecture de référence des stations ITS. ....                                                                                                                                                                                           | 59 |
| Figure 3.7 : Ensembles de messages dans l'architecture de communication C-ITS de référence .....                                                                                                                                                        | 60 |
| Figure 3.8 : Aperçu général des protocoles C-ITS utilisés dans l'UE. ....                                                                                                                                                                               | 61 |
| Figure 3.9 : Exemple d'un paquet CAM générique avec les tailles de chaque champ en octets.....                                                                                                                                                          | 64 |
| Figure 3.10 : Exemple d'un paquet BSM générique avec les tailles de chaque champ en octets.....                                                                                                                                                         | 65 |
| Figure 3.11 : Modes IEEE 802.11 : mode infrastructure (BSS), mode ad-hoc (IBSS) et nouveau OCB. Les nœuds d'un VANET sont libres d'en utiliser un (BSS, IBSS, OCB); mais, OCB est spécifiquement pour l'accès moyen avec nœud en mouvement rapide. .... | 66 |
| Figure 3.12 : Procédure d'accès aux canaux du CSMA ; a) mode de broadcast; b) mode de monocast.....                                                                                                                                                     | 69 |
| Figure 4.1 Taxonomie des techniques MAC pour les VANETs.....                                                                                                                                                                                            | 73 |

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 5.4. Le découpage du temps virtuel et la taille du SW par rapport à l'intervalle CCH..                                                          | 90  |
| Figure 5.2 Intervalle de synchronisation, intervalle de garde, intervalle CCH et intervalle TTD.....                                                   | 91  |
| Figure 5.3. Fonctionnement du MAC du RBS : a) les balises arrivent simultanément à la couche IEEE 1609.4; b) les balises sont réparties sur le SW..... | 92  |
| Figure 5.4. La méthode RBS MAC pour le balisage : la procédure IEEE 1609.4.....                                                                        | 93  |
| Figure 5.5. Fonctionnement du RBS MAC : balises arrivant à la couche IEEE 802.11p et transmises par une méthode CSMA.....                              | 94  |
| Figure 5.6.La méthode RBS MAC pour le balisage : la procédure CSMA/CA de l'IEEE 802.11p.....                                                           | 94  |
| Figure 5.7 Représentation modulaire des blocs de simulation potentiellement impliqués dans une simulation VANET .....                                  | 97  |
| Figure 5.8. Structure du simulateur de réseau 2.....                                                                                                   | 98  |
| Figure 5.9 Figure 5.9 Architecture du simulateur réseau.....                                                                                           | 99  |
| Figure 5.10 Représentation du tronçon routier simulé.....                                                                                              | 101 |
| Figure 5.11. Probabilité moyenne de collision.....                                                                                                     | 104 |
| Figure 5.12. Probabilité moyenne d'accès .....                                                                                                         | 105 |
| Figure 5.13 Probabilité moyenne d'émission de balises .....                                                                                            | 106 |
| Figure 5.14 Rapport moyen de la plage Discovery .....                                                                                                  | 107 |

## *LISTE DES TABLEAUX*

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tableau 2.1: Cas d'utilisation des applications C-ITS .....                                        | <b>36</b>  |
| Tableau 2.2: exigences d'application de C-ITS .....                                                | <b>39</b>  |
| Tableau 2.3: Caractéristiques des applications de C-ITS.....                                       | <b>40</b>  |
| Tableau 3.1: Correspondance des applications C-ITS et des messages VANET .....                     | <b>62</b>  |
| Tableau 3.2: Valeur par défaut de CWmin, CWmax et TAIFS pour les différents ACs en<br>802.11p..... | <b>68</b>  |
| Tableau 4.1: Classification des protocoles MAC de type CSMA.....                                   | <b>82</b>  |
| Tableau 5.1. Paramètres du réseau .....                                                            | <b>100</b> |
| Tableau 5.2. Paramètres du scénario .....                                                          | <b>101</b> |

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

|                |                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------|
| <b>C-ITS</b>   | Cooperative Intelligent Transportation System      |
| <b>VANET</b>   | Vehicular Ad hoc NETwork                           |
| <b>V2I</b>     | Vehicle-To-Infrastructure                          |
| <b>V2V</b>     | Vehicle-To- Vehicle                                |
| <b>V2X</b>     | Vehicle-To-Anything                                |
| <b>RDS</b>     | Radio Data System                                  |
| <b>FM</b>      | Frequency Modulation                               |
| <b>RBDS</b>    | Radio Broadcast Data System                        |
| <b>TMC</b>     | Traffic Message Channel                            |
| <b>DSRC</b>    | Dedicated Short-Range Communications               |
| <b>IVHS</b>    | Intelligent Vehicle-Highway Systems                |
| <b>ETC</b>     | Electronic Toll Collection                         |
| <b>MANET</b>   | Mobile Ad-Hoc Networks                             |
| <b>ITS</b>     | Intelligent Transport Systems                      |
| <b>2G</b>      | Second Generation Networks                         |
| <b>GSM</b>     | Global System for Mobile Communication             |
| <b>UMTS</b>    | Universal Mobile Télécommunication Systems         |
| <b>GPRS</b>    | General Packet Radio Service                       |
| <b>EDGE</b>    | Enhanced Data Rates for GSM Evolution              |
| <b>E-UTRAN</b> | Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network |

|                    |                                                                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LTE</b>         | Long Term Evolution                                                                                  |
| <b>BSA</b>         | Basic Set of Applications                                                                            |
| <b>IRCW</b>        | Intersection Risk Collision Warning                                                                  |
| <b>EEBL</b>        | Emergency Electronic Brake Lights                                                                    |
| <b>GLOSA</b>       | Green Light Optimal Speed Assistant                                                                  |
| <b>RSU</b>         | Road Side Unit                                                                                       |
| <b>OBU</b>         | On Board Unit                                                                                        |
| <b>TIRI</b>        | Traffic and Recommended Itinerary                                                                    |
| <b>TTC</b>         | Time-To-Collision                                                                                    |
| <b>TPEG</b>        | Transport Protocol Experts Group                                                                     |
| <b>LCRW</b>        | Longitudinal Collision Risk Warning                                                                  |
| <b>V2D</b>         | Direct Vehicle-to-Device                                                                             |
| <b>V2N</b>         | Vehicle-to-Network                                                                                   |
| <b>AU</b>          | Application Unit                                                                                     |
| <b>CA</b>          | Central Authority                                                                                    |
| <b>SDO</b>         | Standards Development Organizations                                                                  |
| <b>ASTM</b>        | American Society for Testing and Materials                                                           |
| <b>WAVE</b>        | Wireless Access in Vehicular Environment                                                             |
| <b>ETSI TC ITS</b> | European Telecommunications Standards Institute Technical Committee<br>Intelligent Transport Systems |
| <b>CEN:</b>        | Comité Européen de Standardization                                                                   |
| <b>SAE</b>         | Society for Automotive Engineers                                                                     |

|              |                                                   |
|--------------|---------------------------------------------------|
| <b>UIT</b>   | International Telecommunication Union             |
| <b>ETSI</b>  | European Telecommunications Standards Institute   |
| <b>ESO</b>   | European Standards Organization                   |
| <b>TC</b>    | Technical Committee                               |
| <b>IEEE</b>  | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| <b>ARIB</b>  | Association of Radio Industries and Businesses    |
| <b>ITS-S</b> | Station ITS                                       |
| <b>FCC</b>   | Federal Commission Communications                 |
| <b>CCH</b>   | Control Channel                                   |
| <b>SCH</b>   | Service Channel                                   |
| <b>CCE</b>   | Le Comité des Communications Électroniques        |
| <b>MAC</b>   | Medium Access Control                             |
| <b>WSMP</b>  | WAVE Short Message Protocol                       |
| <b>BSMD</b>  | Bounded Secured Managed Domain                    |
| <b>CAM</b>   | Cooperative Awareness Message                     |
| <b>DENM</b>  | Decentralized Environmental Notification Message  |
| <b>MAP</b>   | Map Data                                          |
| <b>IVI</b>   | In Vehicle Information                            |
| <b>CA</b>    | Cooperative Awareness                             |
| <b>RTS</b>   | Request-to-Send                                   |
| <b>CTS</b>   | Clear-to-Send                                     |

|             |                                            |
|-------------|--------------------------------------------|
| <b>ACK</b>  | Acknowledgement                            |
| <b>DCF</b>  | Distributed Coordination Function          |
| <b>AIFS</b> | Arbitration Inter Frame Space              |
| <b>CW</b>   | Contention Window                          |
| <b>PPCA</b> | Periodic Phase Changing Application        |
| <b>MBA</b>  | Modified Backoff Algorithm                 |
| <b>RES</b>  | Random Epoch Selection                     |
| <b>PTS</b>  | Position-based Transmission time Spreading |
| <b>CEB</b>  | Collision-Expiration Back-off              |
| <b>VAB</b>  | VANET Adaptive Beaconing                   |
| <b>CBT</b>  | Channel busy time                          |
| <b>PDR</b>  | packet delivery ratio                      |
| <b>CBR</b>  | Current beacon rate                        |
| <b>NBR</b>  | Next beacon rate                           |
| <b>RBRC</b> | Risk-based Beacon Rate Control Protocol    |
| <b>BMSF</b> | Broadcast Mechanism for Safety Messages    |
| <b>AC</b>   | Access categories                          |
| <b>TTD</b>  | Total Transmission Duration                |
| <b>STT</b>  | Start of Transmission Times                |

# Chapitre1

## Introduction générale

### 1.1 Motivation :

Le réseau ad hoc de véhicules (VANET) devient une partie d'un plus grand système appelé Systèmes de transport intelligents coopératifs (STI-C) [1] où de nombreux éléments sont impliqués ensemble en plus des véhicules : centres de service à distance, piétons, dispositifs intelligents, etc. Ce domaine a reçu beaucoup d'attention dans le monde entier au cours des deux dernières décennies (voir Chap2. Sect 2).

Les applications C-ITS peuvent en gros être classées en sécurité routière, efficacité du trafic routier et services à valeur ajoutée. Selon l'application, il y a principalement deux technologies sans fil considérées pour C-ITS; la technologie de communication à courte portée IEEE 802.11p qui offre la capacité de communication directe entre les stations ITS [2] et les réseaux cellulaires tels que 4G/5G/LTE qui dépendent d'une topologie de réseau centralisée. Les applications de sécurité routière sont destinées à être supportées par la technologie 802.11p. Attendu que l'efficacité du trafic routier Les applications et les services à valeur ajoutée peuvent utiliser les deux technologies avec le protocole réseau IPv6 prenant en charge les connexions Internet (voir Chap2. Sect 3).

Les applications liées à la sûreté ont été considérées comme les plus critiques dans les STI-C [3]. Les activités de normalisation spécifient deux types de messages pour soutenir cette catégorie d'applications. Le premier est le message de position ou de balise à déclenchement temporel appelé message de conscience coopérative (CAM) en Europe [4] et le message de sécurité de base (BSM) aux États-Unis [5]. Le deuxième est le message de notification environnementale décentralisée (DENM) en Europe [6], alors qu'aux États-Unis, il est appelé BSM type 2. Les paquets CAM/BSM doivent être transmis par chaque véhicule, avec une fréquence généralement comprise entre 1 et 10Hz, lui permettant de partager sa position, sa vitesse et sa direction avec ses voisins. Les messages DENM, générés lorsque des situations dangereuses se produisent, doivent être transmis au cours de leur vie, qui est habituellement limitée à 500 ms (voir chap 3. sect 3).

La couche Medium Access Control (MAC) est chargée de contrôler l'accès au support de communication et joue un rôle fondamental dans l'utilisation du canal et sur les performances des applications de sécurité. Le type de méthode MAC à utiliser dans un réseau de communication particulier est choisi en fonction de la topologie et de l'application du réseau (voir chap 3. sect 4).

Les applications de sécurité routière sont différentes de la majorité des applications existantes utilisant les communications véhiculaires, car elles nécessitent une grande fiabilité et un délai prévisible simultanément. Le retard prévisible signifie qu'un message doit être livré au destinataire avant un délai prédéfini, et relève donc des communications en temps réel. Ils nécessitent une grande fiabilité car il est essentiel qu'un message soit correctement reçu par son destinataire.

La capacité d'auto-organisation et d'évolutivité sont des concepts clés de la méthode MAC qui fonctionne dans une topologie ad hoc. La capacité de la méthode MAC à s'auto-organiser est fortement requise puisqu'aucune coordination centralisée pour l'accès moyen n'est utilisée dans les VANETs.

L'évolutivité signifie que ces exigences doivent être maintenues pour une densité de réseau variable, même sous une forte densité de véhicules, car, dans les VANETs, le nombre de véhicules participants est impossible à prévoir au préalable.

En outre, l'équité de l'envoi dans le canal pour tous les véhicules doit être garantie afin de les rendre visibles les uns aux autres. L'équité est la probabilité égale d'accéder au canal pour le même type de trafic de données. Il représente la même classe de qualité de service (QoS) en termes d'accès aux canaux pour les stations STI du système.

En effet, dans un C-ITS opérant dans un contexte VANET, le MAC devient décisif en termes de performances applicatives et de bonne utilisation des canaux. Par conséquent, les exigences de la méthode MAC découlent des besoins suivants : prévisibilité, fiabilité, évolutivité, auto-organisation et équité d'accès au canal.

## 1.2 Les éléments de la problématique :

Dans un VANET, les véhicules partagent les mêmes canaux de fréquence, et il est donc nécessaire de contrôler l'accès au milieu pour empêcher la transmission simultanée entre les véhicules situés dans une même zone de collision. La zone de collision d'un véhicule peut être définie comme la portée radio couvrant ses voisins à 1 et 2 sauts, ce qui entraîne les problèmes de collision directe et cachée connus, respectivement [7] (voir chap 3. sect 4).

Un VANET constitue un environnement de communication particulièrement difficile en raison de l'évolution rapide de la densité des stations. En outre, le nombre de stations participantes dans un VANET n'est pas toujours connu et, plus important encore, ne peut pas être limité. Puisque la topologie de réseau décentralisée ne contient pas d'AP ou BS régulant l'accès au canal partagé, les questions d'évolutivité deviennent plus importantes.

Le Carrier Sense Multiple Access (CSMA) de la norme IEEE 802.11p [8] est une technique MAC basée sur la contention largement adoptée dans les VANETs en raison de sa simplicité, de sa dynamique et de son asynchronicité. Le MAC de l'IEEE 802.11 est un protocole stop-and-wait qui utilise les messages Request To Send/Clear To Send (RTS/CTS) pour éviter le problème de collision cachée, en plus de garder l'expéditeur en attente d'un accusé de réception (ACK) pour assurer la fiabilité. Si aucun ACK n'est retourné, une retransmission est autorisée en doublant la fenêtre de contention (CW) après chaque tentative infructueuse (jusqu'à  $CW_{max}$ ), jusqu'à atteindre le nombre maximum de retransmissions, ou jusqu'à ce qu'une transmission réussie ait lieu.

La majorité des données transmises dans VANET qui soutiennent la sécurité routière Les applications seront diffusées (une à plusieurs communications) Et si chaque récepteur envoyait un ACK, le canal de communication serait inondé et beaucoup de collisions se produiront.

Toutefois, dans une situation de radiodiffusion, une seule tentative de transmission est faite, et aucun des mécanismes du CSMA énumérés ci-dessus n'est utilisé. En fait, le seul mécanisme de résolution de collision adopté est l'algorithme de retrait qui introduit de petits retards aléatoires avant la transmission. La portée limitée des nombres aléatoires discrets à choisir dans la procédure de recul augmente le risque de collision lorsque plusieurs véhicules concurrents sont à portée radio l'un de l'autre et tentent de transmettre en même temps. Ce problème devient plus grave dans les réseaux fortement chargés, ce qui entraîne des

problèmes d'évolutivité et de fiabilité puisque la collision n'est pas contrôlée, et les noeuds cachés ne sont pas évitables par le mécanisme de retrait [9].

Le canal de contrôle (CCH) est le canal de fréquence typique où les balises sont envoyées, de sorte que chaque véhicule à suivre le trafic de données dans ce canal spécifique. Bien sûr, d'autres canaux de communication sont généralement disponibles pour être utilisés dans un VANET, appelé canaux de service (SCH). L'annonce des services sur ces canaux se fait par le canal de contrôle commun. Par conséquent, tous les véhicules ont accès au canal de contrôle périodiquement, pour écouter de nouveaux messages.

En Amérique du Nord, l'architecture d'accès sans fil dans les environnements de véhicules (WAVE) utilise la norme IEEE 802.11p pour l'implémentation de la couche MAC [10,11]. Il permet à l'architecture WAVE de fonctionner sur plusieurs canaux physiques en utilisant le mécanisme de commutation des canaux. Une telle commutation entre différents canaux se produit à un niveau de trame. Un pour CCH et l'autre pour SCH. Ainsi, juste après le passage de SCH à CCH, de nombreux appareils WAVE peuvent simultanément commencer la période de conflit d'accès aux canaux [12]. Cette situation de « début d'intervalle » entraîne un risque de collision élevé, surtout lorsque le réseau est dense, car le mécanisme de retrait, qui est exécuté juste après l'intervalle de protection, ne suffit pas à empêcher les véhicules d'accéder au canal en même temps. Ainsi, lorsqu'on tente de supporter des applications en temps réel sous des topologies dynamiques, nécessitant une grande fiabilité de communication et une faible latence, le fonctionnement de la couche MAC actuelle peut être considéré comme un problème sérieux.

Enfin, en raison de la nature périodique de CAM/BSM, tous les véhicules commenceront à émettre lorsqu'ils seront allumés et, depuis lors, ils garderont la génération de messages avec la même phase initiale. Par conséquent, si les transmissions de deux véhicules entrent en collision une fois, elles risquent de se heurter encore et encore. Évidemment, la situation sera compliquée à mesure que la densité des véhicules augmentera : plus les véhicules seront nombreux, plus les collisions seront susceptibles d'être graves.

### **1.3 Objectifs de la recherche :**

L'objectif de cette mémoire est d'étudier les méthodes MAC pour VANET afin de soutenir les exigences de communication des applications de sécurité trouvées dans C-ITS, en

respectant les paramètres et les contraintes découlant de la normalisation C-ITS. Par conséquent, les principales contributions de cette mémoire sont:

1. Une étude à jour et exhaustive des principales approches proposées dans la littérature pour résoudre les problèmes de congestion de la couche MAC sur les réseaux de véhicules. Particulièrement les MAC asynchrones du CSMA/AC (MAC fondés sur les litiges). En outre, ils sont classés en fonction des paramètres de transmission de chaque mode d'accès. Tout au long de l'étude, les avantages et les inconvénients des deux catégories ont été soigneusement examinés lors de l'élaboration d'une méthode MAC pour les applications de sécurité routière. Combiner les avantages des mécanismes est le but de la proposition de mémoire.
2. Un nouveau MAC d'accès aléatoire évolutif pour les réseaux de véhicules appelé RBS MAC (Random Beacons Spreading MAC) [13] est étudié et comparé à deux protocoles célèbres. Le protocole RBS MAC vise à fournir un accès de diffusion en un seul point sur le CCH et tente de minimiser les risques de collision. Les expériences utilisant la simulation de réseau montrent que RBS MAC atteint de bons niveaux de performance par rapport à la norme IEEE 802.11p et certains autres protocoles célèbres. La comparaison est effectuée selon certaines mesures de rendement importantes utilisées pour évaluer les méthodes MAC.

#### **1.4 Plan du mémoire :**

Le reste de cette mémoire est organisé comme suit :

#### **Chapitre 2 : Système Coopératif de Transport Intelligent**

Ce chapitre donne un aperçu des STI-C et de leurs applications qui sont classées en fonction de leur impact sur le trafic routier. En outre, les exigences de ces applications sont discutées, notamment en ce qui concerne la sécurité routière, ainsi que les technologies appropriées pour chaque catégorie.

#### **Chapitre 3 : Normalisation des Système de Transport Intelligent Coopératif**

Ce chapitre présente les organismes de normalisation et leurs normes. Il donne également une étude du principe de l'accès aux canaux (MAC) dans C-ITS.

#### **Chapitre 04 : Revue de la littérature des techniques MAC pour VANET**

Ce chapitre donne un aperçu de certains travaux connexes trouvés dans la littérature concernant les solutions de couche MAC. On discute des avantages et des inconvénients qui sont tous examinés attentivement dans l'élaboration d'une nouvelle proposition concernant les applications de la sécurité routière.

### **Chapitre 5: Contribution: Random Beacons Spreading MAC (RBS MAC).**

Ce chapitre présente la technique MAC récemment proposée pour les réseaux VANETs, appelée RBS MAC (Random Beacons Spreading MAC). Le chapitre commence par montrer le principe de la proposition. Dans ce chapitre, une étude de simulation est présentée à travers un simulateur de réseau pour évaluer les performances de RBS MAC par rapport à certains protocoles MAC célèbres. Les résultats montrent une bonne performance du protocole étudié et prouvent sa capacité à assurer une meilleure performance dans l'environnement C-ITS.

### **Chapitre 6 : Conclusion générale**

This chapter summarizes the contributions of the thesis and presents a discussion of possible research directions that are still open at the end of this study.

# Chapitre 2

## Système de Transport Intelligent Coopératif

### 2.1 Introduction

Les réseaux de véhicules pris en charge par la communication sans fil sont devenus l'un des principaux domaines de recherche de la communauté des réseaux sans fil. Ce chapitre présente plus clairement le contexte de cette mémoire en donnant un aperçu du Système de Transport Intelligent Coopératif (C-ITS, Cooperative Intelligent Transportation System ) où la communication véhicule représente la partie la plus importante. La section 2.2 fournit une brève description historique de l'évolution des technologies permettant à un véhicule de communiquer avec d'autres véhicules et l'environnement environnant et de faire partie d'un C-ITS étendu. L'évolution des scénarios V2I (véhicule à infrastructure) vers les scénarios V2X (véhicule à tout) est discutée comme une extension du concept original de réseau ad hoc véhiculaire (VANET, Vehicular Ad hoc NETwork) [14]. Dans la section 2.3, les applications véhiculaires sont classées en fonction de leur impact sur le trafic routier, et les exigences de chaque catégorie de services sont discutées, en particulier celles concernant la sécurité routière, ainsi que les technologies appropriées la section 2.4 présente en détail les réseaux VANETs. Enfin, une conclusion est présentée dans la section 2.4.

L'amélioration de la sécurité routière grâce aux communications radio entre véhicules a été utilisée bien avant les communications radio numériques que nous connaissons aujourd'hui. L'une de ces tentatives est le brevet Radio Warning Systems publié en 1925 [15], Figure 2.1. Il repose sur le concept de communication entre pairs qui connectent deux appareils installés sur un véhicule différent, mais pas encore une technologie de réseau sans fil telle que nous la connaissons aujourd'hui.

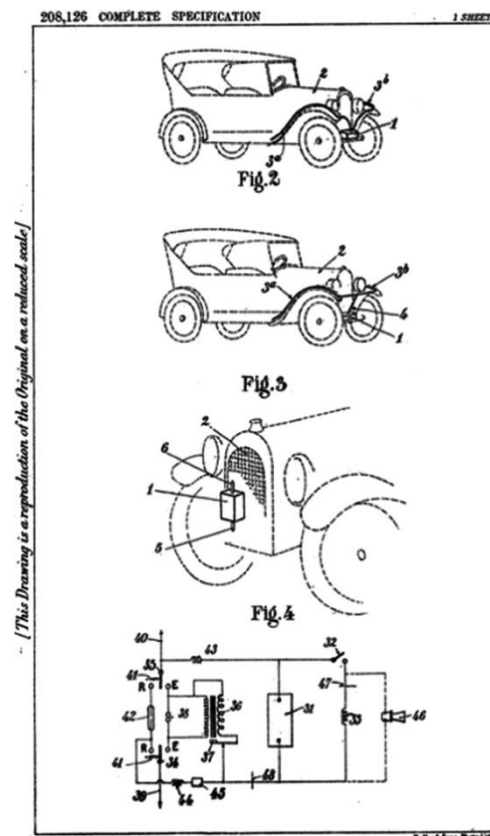


Figure 2.1. Systèmes d'avertissement radio pour véhicules [15].

Le premier véhicule numérique de communication à l'infrastructure (V2I, Vehicle-to-Infrastructure), proposé en 1980, est appelé système de données radio (RDS, Radio Data System ). Il s'agit d'une norme de protocole de communication pour l'intégration de petites quantités d'information numérique dans les émissions de radio conventionnelles à modulation de fréquence (FM, Frequency Modulation ). Quelques années plus tard, il a été introduit aux États-Unis sous le nom de système de données radiodiffusées (RBDS, Radio Broadcast Data System ) et est devenu une norme européenne en 1990. En 2005, RDS a été amélioré pour fournir RDS-canal de message de trafic (TMC, Traffic Message Channel ). Chaque message

contient un code d'événement, un code d'emplacement, la durée prévue de l'incident, l'étendue touchée et d'autres détails. Cependant, ces technologies de communication sont restées unidirectionnelles. Au début des années 1990, Philips a inventé le système de communications à courte portée (DSRC, Dedicated Short-Range Communications) de 5,8 GHz, un système adapté de 2,45 GHz, qui deviendrait la base de ce qu'on appelait alors les systèmes routiers intelligents (IVHS, Intelligent Vehicle-Highway Systems). Il est une application spécifique des systèmes de communication véhiculaires capables de faire différents types de transactions, comme la collecte de péage électronique (ETC, Electronic Toll Collection), l'information des voyageurs de la circulation, l'identification automatique des véhicules, etc., et le concept de « réseau » contrôlé par l'infrastructure a évolué. Dans cette architecture, un réseau de balises, fonctionnant à 500 kbit/s/250 kbit/s, tiendrait de courtes séances de communication avec les véhicules au fur et à mesure qu'ils passaient dans la courte portée (2,5 à 10 m) des balises. Le terme DSRC depuis les années 80 fait référence à un type de système RFID en Europe et au Japon, alors qu'aux États-Unis il fait référence à un type de système WLAN. La technologie de communication est destinée aux points d'accès sans mise en réseau (c.-à-d. à un saut unique où aucun routage n'est nécessaire) et la transmission a lieu entre les véhicules et les unités routières (c.-à-d. transpondeurs et lecteurs).

Cependant, les véhicules ne communiquaient pas entre eux, de sorte qu'il n'y avait pas de réseau de véhicules, et la technologie était axée sur l'infrastructure dans une architecture maître-esclave. Par contre, la bande passante était trop limitée et la portée trop courte.

Au début des années 90, les activités de recherche sur les communications véhiculaires ont commencé, notamment en Allemagne, après les efforts réalisés dans les projets PROMETHEUS et PReVENT [16]. Le concept de réseau ad hoc de véhicules (VANET) [3] est apparu, et on peut décrire le réseau de véhicules comme « un cas particulier de réseaux ad hoc mobiles (MANET, Mobile Ad-Hoc Networks) » [17]. Les VANET sont caractérisés par le fait que les nœuds (véhicules) changent rapidement de densité et de position, et par conséquent, la topologie du réseau change également.

Puisque le terme « réseautage ponctuel » désigne un réseau sans infrastructure et que les réseaux fonctionnent de pair à pair. Dans la route il y a généralement une forte densité de véhicules et il y a toujours des connexions entre eux dans leur portée de communication. Suivant cette logique, les chercheurs ont débattu de la nécessité d'investir dans l'infrastructure, les messages d'information peuvent être « multi sauts » vers d'autres

véhicules du réseau en utilisant uniquement la communication Véhicule-Véhicule (V2V, Vehicle-to-Vehicle). Toutefois, si les constructeurs automobiles acceptent d'équiper les véhicules d'une capacité de communication V2V, la pénétration de ces technologies sur le marché devra augmenter progressivement. Par conséquent, il faudra plusieurs décennies avant d'atteindre un niveau acceptable d'utilisation de la technologie V2V. Pour cela, on s'est vite rendu compte que la technologie de communication V2V seule n'était pas suffisante pour permettre un déploiement rapide et efficace de la plupart des scénarios d'application proposés par la communauté des C-ITS et poussés par les décideurs.

Ainsi, l'extension des mêmes principes de communication consiste à ce que le véhicule ne limite pas sa capacité de communiquer avec d'autres véhicules. Il devrait devenir capable de communiquer avec les nœuds qui peuvent être déployés ou utilisés dans l'infrastructure routière, de sorte que le concept de V2I a été impliqué dans le concept VANET. Après cela, une extension plus générale a été proposée dans le cadre du concept de véhicule à tout (V2X, vehicle-to-anything ). C'est un terme très général qui inclut toutes les formes possibles de communication impliquant l'environnement extérieur. Par conséquent, le véhicule devient une partie d'un plus grand système appelé Intelligent Transport Systems (ITS) où de nombreux éléments sont impliqués ensemble : centres de service à distance, piétons, appareils intelligents, etc. Par conséquent, la terminologie C-ITS [15] communications amplifie les avantages offerts par les ITS autonomes, et conduit à une plus grande efficacité des transports et une sécurité accrue. Cette vision est illustrée à la figure 2.2, qui représente le véhicule comme l'un des éléments d'un vaste écosystème de communication intégré des C-ITS.

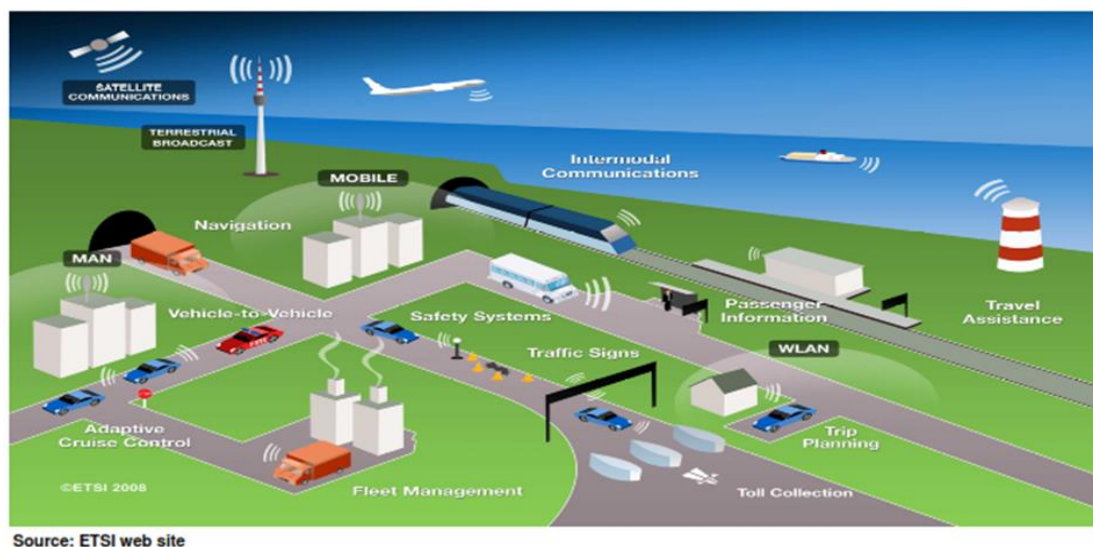


Figure 2.2. Scénario de C-ITS étendu (source ITS ETSI) [3]

En fait, l'activité autour de la communication STI a duré une décennie et demi et il n'y a pas une grande mise en œuvre commerciale significative. Il y a un développement de gab entre les départements de marketing des constructeurs automobiles et leurs départements de recherche et ce, pour plusieurs raisons. Un facteur était que les constructeurs automobiles n'étaient pas prêts ou ne voyaient pas les avantages potentiels de la communication entre les véhicules, et un autre était le manque de normalisation pour ces futurs systèmes de communication.

Mais l'évolution des technologies de la communication a progressé plus vite que la recherche en ITS et le monde des communications mobiles s'est accéléré. Les téléphones portables étaient passés aux réseaux de deuxième génération (2G, Second Generation Networks ) qui prenaient en charge les données numériques ainsi que la voix, présentés par le système mondial de télécommunication mobile (GSM, Global System for Mobile Communication ) et le système de télécommunication mobile universel (UMTS, Universal Mobile Télécommunication Systems ). Après cela, ils sont passés à service de radio à paquets généraux (GPRS, General Packet Radio Service ) et à débits de données améliorés pour GSM evolution (EDGE, Enhanced Data Rates for GSM Evolution ), avec une vitesse de transfert théorique de max. 250 kbit/s (150 kbit/s en pratique), Au début de 2012, une nouvelle génération de réseaux a commencé à être introduite appelée 3.9G et 4G. ils sont fondamentalement différents des générations précédentes qui sont des « réseaux à commutation de circuit », ces systèmes sont des « réseaux à commutation de paquets », capables d'évoluer rapidement et rapidement, offrant des taux de téléchargement de pointe pouvant atteindre 299,6 Mbit/s et des taux de téléversement pouvant atteindre 75,4 Mbit/s. connu sous le nom de Réseau d'accès radio terrestre universel évolué (E-UTRAN, Evolved-Universal Terrestrial Radio Access Network ) et en Europe sous le nom d'évolution à long terme (LTE, Long Term Evolution ). Aujourd'hui, tout le monde a un smartphone et la majorité de ces smartphones prennent en charge les réseaux mobiles Bluetooth, Wifi, 2G/3G/4G.

Il est maintenant seulement un pas de plus pour les constructeurs automobiles à utiliser ces technologies et être intégré dans le véhicule pour les dispositions de service ITS.

Malheureusement, le temps écoulé depuis l'achèvement des travaux de normalisation et la décision concernant le déploiement opérationnel effectif a été long et, dans l'intervalle, la

technologie des réseaux mobiles a évolué en introduisant différentes technologies (3G/4G/5G).

## **2.3 Applications et spécifications technologiques**

### **2.3.1 Catégories d'application**

Les communications C-ITS sont initialement proposées pour réduire le nombre d'accidents de la circulation en introduisant des applications de sécurité routière, mais aussi pour réduire la congestion, les temps de déplacement et la pollution. En 2008, un ensemble d'applications de base (BSA, Basic Set of Applications ) a été mis au point par ETSI TC ITS [18], qui peut être soutenu par les technologies C-ITS pour le « déploiement le premier jour ».Trois catégories de demandes ont été proposées à cet effet, ciblant la sécurité, l'efficacité de la circulation et les services à valeur ajoutée [19].Dans la partie, ces applications sont discutées en montrant les caractéristiques importantes et les cas d'utilisation significatifs [20].

#### **2.3.1.1 Sécurité routière**

Les applications de sécurité sont la première motivation derrière les communications entre véhicules. Ils visent à réduire les risques d'accidents de voiture et à protéger les occupants et les piétons. Un grand nombre de cas d'utilisation peuvent être trouvés dans cette catégorie, avec des exemples tels que l'avertissement de risque de collision longitudinale, l'avertissement de risque de collision d'intersection, l'avertissement d'infraction aux feux de circulation, l'avertissement de changement de voie, mais il y a deux applications de sécurité représentatives qui peuvent couvrir la plupart des exigences peuvent être remplies dans cette catégorie d'applications.

Le premier est l'avertissement de risque de collision à l'intersection (IRCW, Intersection Risk Collision Warning ), qui a pour objectif d'accroître la sensibilisation des conducteurs afin d'éviter les collisions à l'intersection dans les zones urbaines où la faible visibilité est élevée aux carrefours.

Il diffuse des messages d'état périodiques, ou balises, contenant des informations internes comme la localisation géographique, la vitesse ou l'accélération. Le second est le feu de freinage électroniques d'urgence (EEBL, Emergency Electronic Brake Lights ), il cible l'accident de chaîne produit par le freinage soudain du véhicule en situation critique.

Tous les cas d'utilisation de cette catégorie peuvent être implémentés à l'aide de balises ou de messages de notification spéciaux qui sont expliqués plus en détail dans la section 2.2.

La plupart des applications de cette classe sont construites sur la communication directe véhicule-à-véhicule, seulement quelques cas d'utilisation nécessitent une infrastructure spéciale. Cela signifie que l'efficacité de l'application de sécurité dépend du taux de pénétration de la technologie de communication V2V [14].

#### **2.3.1.2 Efficacité du trafic**

Le but de l'application de l'efficacité de la circulation est de réduire le temps passé par les conducteurs sur la route et de faciliter les flux de véhicules en évitant la congestion de la circulation. La conséquence de ce comportement optimisé est la réduction de la consommation de carburant et de la pollution. Les applications de cette catégorie ne nécessitent pas un taux de pénétration élevé des technologies de communication V2V. Ils peuvent travailler en utilisant une infrastructure spécialisée pour la communication V2I ou déjà des réseaux 3G/4G. En raison du coût élevé de l'infrastructure de communication V2I, l'attente de déploiement des applications d'efficacité du trafic sera d'abord disponible que dans certaines zones, alors la pénétration des communications directes V2V permettra d'augmenter la zone de couverture. Les applications d'efficacité du trafic sont des services Internet basés sur le Web de sorte que leurs exigences de retard sont plus flexibles par rapport aux applications de sécurité. Cependant, leurs performances se dégradent progressivement avec l'augmentation de la perte et du retard des paquets.

Selon le type d'information requise, les cas d'utilisation de cette catégorie peuvent être divisés en deux groupes, qui peuvent être appliqués soit à l'échelle locale, soit à une grande région éloignée. Par exemple, la feu verte vitesse optimale assistant (GLOSA, Green Light Optimal Speed Assistant ) est un cas où le champ d'application est local, l'objectif étant de régler la vitesse optimale pour atteindre le feu de circulation en phase verte, réduisant ainsi le temps d'arrêt et la consommation de carburant. Dans cette application, l'unité coté route (RSU, Road Side Unit ) transmet une balise liée à un cycle de feux de circulation aux véhicules entrants situés dans une portée de quelques centaines de mètres. Il peut être réalisé par la communication V2I ou par une approche hybride où certains véhicules pourraient servir de relais.

Au contraire, l'objectif des applications de grande envergure est de recueillir des données à partir de zones beaucoup plus grandes, au niveau de dizaines ou de centaines de kilomètres. L'un des exemples est le trafic et itinéraire recommandé (TIRI, Traffic and Recommended Itinerary ), qui se voulait un complément au système de navigation actuel pour aider les conducteurs à éviter la congestion. L'information sur la circulation est recueillie périodiquement par les véhicules à partir de capteurs internes et externes et est ensuite envoyée à une autorité centrale de toute la ville à l'aide de SRU ou de réseaux cellulaires. L'autorité centrale traite les données afin de prévoir la congestion du trafic et d'envoyer des informations mondiales à jour sur le trafic au système de navigation du véhicule. Entre-temps, les véhicules peuvent demander des renseignements sur la circulation à un fournisseur de services [14].

### **2.3.1.3 Services à valeur ajoutée**

Cette catégorie d'application se compose de cas d'utilisation qui peuvent apporter une valeur supplémentaire au réseau de véhicules sans aucun effet sur le trafic routier. Ils peuvent être de deux sortes, infotainment ou d'affaires ainsi que l'efficacité du trafic, l'infrastructure joue un rôle important dans ce contexte et sont généralement basées sur des services Web Internet qui utilisent TCP/IP (Protocole de Contrôle de Transmission / Protocole Internet) pour la transmission de données. Il est connu que les services Web ne sont pas critique de temps, basé sur le meilleur effort traffic modèles avec moins d'exigences QoS et responsable seulement de la transmission réussie.

Les applications d'info divertissement visent à faciliter la vie quotidienne du conducteur. Elles intègrent différentes classes, la première étant les informations relatives au contexte du conducteur, telles que les mises à jour logicielles à distance pour le véhicule et les services basés sur la localisation. Une application typique de cette classe est la notification de point d'intérêt (PoIN) où un véhicule peut recevoir des informations sur des endroits comme les hôtels, les restaurants et le stationnement ou commercial. La deuxième catégorie est celle des applications de divertissement, comme la diffusion en continu de médias Internet, la diffusion en continu de vidéos et les services d'information, la navigation sur le Web, les réseaux sociaux, les jeux et l'accès à différents services infonuagiques. Dans cette classe, les données à transférer sont beaucoup plus importantes que dans l'application de sécurité.

D'autre part, les applications commerciales jouent un rôle important dans l'industrie automobile. L'exemple typique dans cette classe est les solutions de gestion de flotte, qui pourraient assurer l'accès sur demande aux données en temps réel des véhicules comme le véhicule, la position, la vitesse, le fret ou l'état du moteur [14].

### 2.3.2 Classification selon l'heure de collision

Il existe de nombreuses méthodes pour classer les catégories d'application. La fameuse est basée sur le paramètre temps de collision (TTC, Time-To-Collision) proposé par Hayward [21]. Ce paramètre mesure le temps nécessaire pour qu'une collision entre deux véhicules se poursuive à leur vitesse et sur la même trajectoire. Les demandes BSA sont classées selon le principe TTC tel que présenté à la figure 2.3 Les valeurs TTC illustrées dans la figure ne sont qu'indicatives.

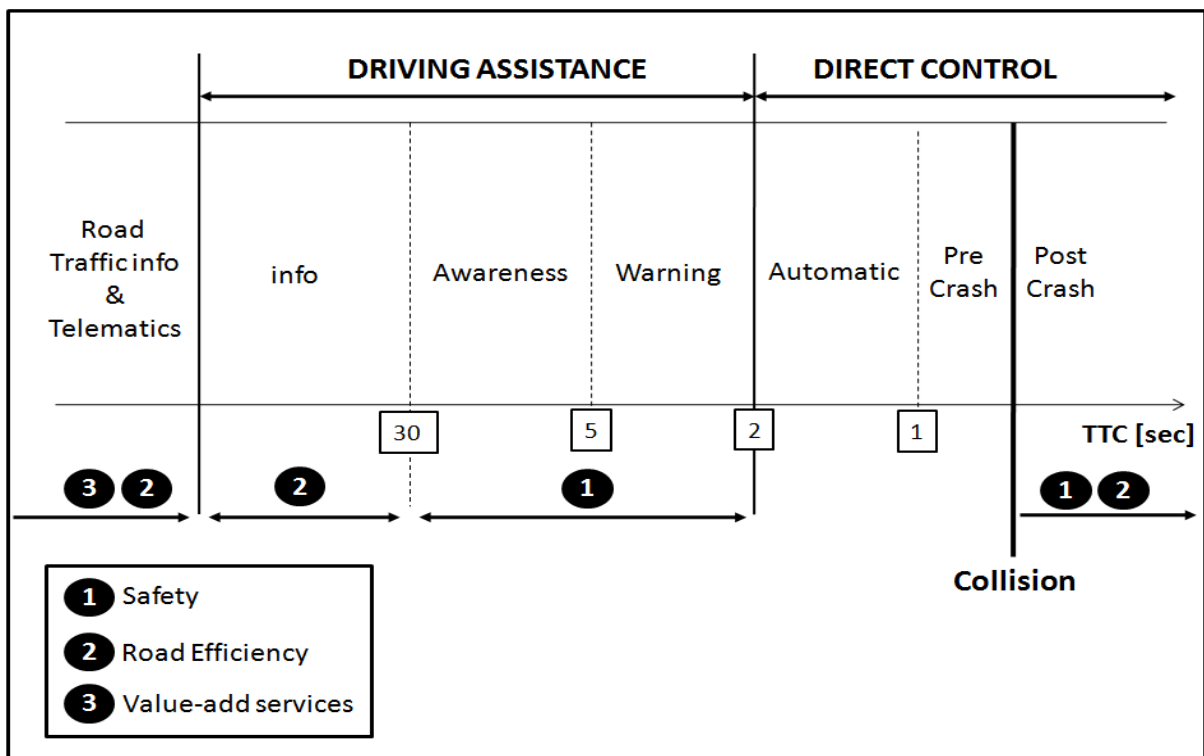


Figure 2.3. Classement des applications BSA selon la TTC.

Les trois parties de la classification TTC sont présentées comme suit [3] :

- **Trafic routier et télématique** : Ces services sont à valeur ajoutée pour améliorer le confort de conduite et de divertissement. Ils peuvent également aider les conducteurs, à grande échelle, à ajuster le plan de navigation et à être informés de l'état des trajets routiers

afin d'améliorer l'efficacité des trajets et de réduire la pollution des trajets routiers. L'application groupe d'experts sur le protocole de transport (TPEG, Transport Protocol Experts Group) [22] est un exemple d'application de l'information routière. Il peut fournir divers types de contenu, y compris des événements de la circulation et de la circulation et des prévisions, des renseignements sur le stationnement, des renseignements sur le prix du carburant et des renseignements météorologiques.

- **Aide à la navigation** : Les applications visant à aider le conducteur à éviter les embouteillages ou à faire attention à surmonter une situation potentiellement dangereuse peuvent fournir au conducteur :
  - Une information comme rappel pour les règles de trafic comme la limite de vitesse ou les conditions routières comme trafic jam),
  - Un message de sensibilisation après avoir détecté les dangers de la route, comme un véhicule stationnaire au bord de la route ou un véhicule de casse en avant. L'application de signalisation des dangers [23] est un exemple d'application de sensibilisation.
  - Un message d'avertissement pour prendre des mesures immédiates pour éviter une collision potentielle. Le système d'avertissement de risque de collision longitudinale (LCRW, Longitudinal Collision Risk Warning) [24] et le système de freinage d'urgence électronique (EEBL, Electronic Emergency Brake Light ) [25] sont des exemples d'avertissement.

À ce stade, il n'y a pas de contrôle automatique des systèmes embarqués. Le conducteur garde le contrôle sur la manœuvre du véhicule.

- **Contrôle direct** : si la TTC est encore réduite et que la collision ne peut pas être évitée, cette catégorie d'applications prend le contrôle du véhicule et contrôle le système automatiquement. Pour ce faire, deux sous-catégories de demandes peuvent être présentées:
  - Les applications automatiques et pré-impact sont de minimiser l'impact de la collision et de réduire les dommages humains et matériels peuvent se produire.
  - Les applications post-accident viennent juste après la collision; elles consistent à améliorer l'efficacité du sauvetage en accélérant la réponse des organismes de

sauvetage. L'une des applications de cet objectif est le système eCall adopté dans Europ, qui est un système d'appel d'urgence de véhicule. En cas d'accident de la route, l'appareil de bord composera automatiquement le 112 et établira une connexion vocale avec le bureau principal [26]. En même temps, la position géographique sera transmise à l'organisme d'urgence le plus proche par l'infrastructure sans fil telle que 2G/3G pour organiser le plan de sauvetage. Une autre application peut être préparée pour soutenir le véhicule d'urgence qui approche dans le cadre du processus de sauvetage. Par la suite, l'une des applications efficaces de la route sera déclenchée dans cette situation qui est l'application de guidage routier. Il prévoit la congestion de la circulation dans la zone de l'accident, donc il conseille aux conducteurs de prendre un itinéraire alternatif avant de se retrouver dans la file d'attente sans possibilité de faire demi-tour. Il est remarquable que les applications de sécurité et d'efficacité routière se lient les unes aux autres, l'une peut déclencher l'autre.

À l'heure actuelle, les activités de recherche sur les communications de C-ITS se concentrent uniquement sur les trois parties de la catégorie de l'aide à la conduite et presque sur l'avertissement de risque de collision (2 à 5 s). Il s'agit du premier déploiement de services simples et non complexes Day One dont le but est d'avertir le conducteur et non de prendre le contrôle du véhicule (Fenêtre automatique et Pre-Rash). C'est au conducteur de prendre la dernière décision et d'effectuer l'opération nécessaire [14].

Dans le tableau 2.1, un aperçu de la liste importante des cas d'utilisation des C-ITS, la majorité d'entre eux sont proposés par l'ITS TC ETSI [17] et les autres sont des technologies utilisées actuellement. La liste est organisée selon la classification proposée à la figure 2.3.

Tableau 2.1. Cas d'utilisation des applications C-ITS[14].

| Catégorie |                                  | Cas d'utilisation des applications                                                                                                                                          |
|-----------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sécurité  | Assistance à la dérive (Warning) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avertissement de risque de collision longitudinale,</li> <li>• Avertissement de risque de collision à une intersection,</li> </ul> |

|                          |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feu de freinage électronique d'urgence,</li> <li>• Avertissement d'infraction au feu Traffic,</li> <li>• Avertissement de changement de voie</li> </ul>                                                                                                                                                                         |
|                          | Assistance à la dérive<br>(Sensibilisation) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conscience cooperative</li> <li>• Véhicule lent,</li> <li>• Véhicule stationnaire,</li> <li>• Conduite dans le mauvais sens,</li> <li>• Conditions météorologiques défavorables,</li> <li>• Emplacement dangereux,</li> <li>• État de la circulation,</li> <li>• Travaux routiers,</li> <li>• Et la présence humaine</li> </ul> |
|                          | Contrôle direct<br>(Post-crash)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Système d'appel d'urgence du véhicule (eCall)</li> <li>• Véhicule d'urgence en approche</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Rendement routier</b> | Assistance à la dérive (Info)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voyant vert indiquant une vitesse optimale,</li> <li>• Dans la signalisation des véhicules et les règles de circulation,</li> <li>• Information sur les limites de vitesse</li> </ul>                                                                                                                                           |
|                          | Contrôle direct<br>(Post-crash)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Annonce des accidents et prévision de la congestion</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                          | Trafic routier et télématique               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Circulation et itinéraire recommandé</li> <li>• Événements de circulation,</li> <li>• Plan de navigation.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                            |

|                                        |                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Service à valeur ajoutée</b></p> | <p>Traffic routier et télématique</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mises à jour logicielles à distance pour le véhicule</li> <li>• Avis de point d'intérêt (comme les hôtels, les restaurants et le stationnement ou commercial)</li> <li>• Gestion du parc automobile</li> <li>• Renseignements sur le prix du carburant,</li> <li>• Informations météorologiques</li> <li>• Applications liées au divertissement telles que la diffusion en continu sur Internet, la diffusion vidéo, la navigation sur le Web, les réseaux sociaux, les jeux</li> </ul> |
|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 2.3.3 Exigences d'application

Les applications C-ITS peuvent aller du Web et du courrier électronique conventionnels aux applications d'évitement des collisions. Trois types d'applications sont principalement envisagés : la sécurité routière, l'efficacité du trafic et les services à valeur ajoutée. Les exigences en matière de communication sont différentes et les plus importantes concernent la fiabilité et les retards.

La fiabilité est associée à la probabilité d'erreur des paquets qui devraient atteindre leurs destinataires, mais le délai est le temps nécessaire pour livrer le message à leur destinataire [14]. Les données d'une vidéoconférence peuvent tolérer une fiabilité moindre, cela signifie une tolérance plus élevée pour la perte de paquets, mais sont plutôt sensibles aux retards (prévisibles) où la livraison doit être envoyée avant l'échéance prévisible. Le courrier électronique exige une grande fiabilité, et les paquets doivent être reçus correctement, mais il a des exigences de délai moins strictes, c'est-à-dire que le courriel doit être livré le plus tôt possible (meilleur effort), ce qui signifie que les retransmissions peuvent être utilisées pour accroître la fiabilité [15]. En résumé, les applications de sécurité routière exigent que le récepteur final ait suffisamment de temps pour réagir et les applications d'efficacité du trafic et de services à valeur ajoutée nécessitent une livraison claire au récepteur final [17]. Le tableau 2.2 reprend la QoS, en termes de fiabilité et de délais, exigés par les cas d'utilisation typiques des applications C-ITS.

Tableau 2.2.exigences d'application de C-ITS [14].

|                                  |                                                    | Fiabilité |      | Délai           |            |
|----------------------------------|----------------------------------------------------|-----------|------|-----------------|------------|
|                                  |                                                    | bas       | Haut | meilleur effort | Prévisible |
| <b>Sécurité</b>                  | Risque de collision à l'intersection Avertissement |           | ×    |                 | ×          |
|                                  | Frein électronique d'urgence Lumières              |           | ×    |                 | ×          |
| <b>efficacité du trafic</b>      | Feu vert Vitesse optimale Assistant                |           | ×    | ×               |            |
|                                  | Trafic et recommandations Itinéraire               |           | ×    | ×               |            |
| <b>services à valeur ajoutée</b> | Avis de point d'intérêt                            |           | ×    | ×               |            |
|                                  | e-mail                                             |           | ×    | ×               |            |
|                                  | navigation sur le web                              | ×         |      | ×               |            |
|                                  | gestion de flotte                                  |           | ×    | ×               |            |

Certaines caractéristiques des applications de C-ITS doivent être prises en compte pour le développement de technologies spécifiques. Comme mentionné dans le tableau 2.3. Le modèle de trafic représente la façon dont les paquets d'information sont générés. Pour l'application de sécurité, le trafic est généré périodiquement ou en réaction à un événement

externe utilisant un type particulier de messages, alors que dans les autres applications, le trafic est généré après la demande du conducteur et échangé via les protocoles internet.

La deuxième caractéristique des applications de C-ITS est le mode de communication qui représente le mode de diffusion, il peut être diffusé, monocast ou geocast. Les informations générées par les applications de sécurité sont périssables avec une courte durée de vie due au mouvement des véhicules, la vitesse plus élevée du véhicule le temps de communication plus court est alloué.

Pour cette raison, le mode de communication de la majorité des applications de sécurité nécessite une diffusion aisée de l'information locale autour des véhicules, construite sur une communication de diffusion directe V2V où aucun détour autour d'un point d'accès (AP) n'est nécessaire. Les autres applications C-ITS ne se relaient pas sur des exigences de délais courts et l'information d'utilisation doit être répartie régionalement plutôt que localement en utilisant unicast ou geocast avec la communication V2I et V2V. Alors que la plage de communication définit la zone d'intérêt, certaines applications nécessitent une transmission courte au-delà de la plage de communication à un seul saut, nécessitant ainsi une plage de communication moyenne ou longue via multi-sauts.

Tableau 2.3. Caractéristiques des applications de STI-C [14].

|                                  | <b>Patern de la circulation</b>             | <b>plage de communication</b>       | <b>mode de communication</b>                       |
|----------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Sécurité</b>                  | Périodique/basé sur un événement<br>Message | Court et moyen<br>(Onehop/MultiHop) | Généralement V2V<br>Broadcast<br>(Onehop/MultiHop) |
| <b>efficacité du trafic</b>      | Conducteur et Internet<br>– trafic basé     | Moyen et long<br>(MultiHop)         | Monocast/geocast V2V/V2I                           |
| <b>services à valeur ajoutée</b> | Conducteur et Internet<br>– trafic basé     | Long (MultiHop)                     | Monocast/geocast V2V/V2I                           |

### 2.3.4 Les technologies nécessaires

Le besoin de technologies spécialisées pour répondre aux exigences opérationnelles des applications de C-ITS est bien compris. Le monde de la recherche a étudié les technologies de communication existantes pour décider quelle est la plus appropriée pour les communications véhiculaires. Les chercheurs ont décrit la spécification des technologies nécessaires pour l'application ayant des exigences strictes sur les délais et la fiabilité comme les applications critiques de sécurité. Ils doivent s'asseoir avec les développeurs de technologie pour travailler à une solution pratique [14].

A partir du concept de réseau V2X qui est le terme qui comprend toutes les formes possibles de communication où les véhicules peuvent communiquer avec tous les éléments impliqués dans le système C-ITS. Le réseau V2X peut offrir aux véhicules deux types de communication, l'un est la communication véhicule direct-pour décider (V2D, Direct Vehicle-to-Device ) et le second est la communication véhicule direct au réseau (V2N, Vehicle-to-Network ).

V2D doit établir un lien local direct entre les véhicules et leur environnement; il peut s'agir de véhicules entre eux (V2V), de véhicules et d'unités routières échangeant des informations à des fins de sécurité (V2I) et de véhicules avec des usagers de la route vulnérables, tels que les piétons et les cyclistes utilisant un concept mobile comme un smartphone ou une table (V2P) [14].

V2D offre un gain d'espoir plutôt que deux espoirs en passant par l'infrastructure cellulaire, ce qui réduit davantage les latences dans l'échange de données locales à haute vitesse terminale [30], [31]. La communication V2D convient aux applications critiques pour la sécurité nécessitant un délai limité et une grande fiabilité, elle peut répondre à toutes les applications de sécurité routière et améliorer l'efficacité de la trafic (voir Figure 2.4).

DSRC (Dedicated Short-Range Communications), connu sous le nom de G5-ITS en Europe, est le nom de la technologie de communication sans fil normalisée pour fournir une base clé pour les communications V2D. Il a la capacité de permettre la connectivité pour une grande mobilité et des vitesses élevées jusqu'à 500 km/h, même en présence d'obstacles, dans la gamme de communication sur 1Km [32]. Un spectre de transmission

dédié à la bande de 5 GHz a été attribué à DSRC pour lancer le déploiement des technologies V2D.

Des piles de protocoles dédiées au support de DSRC ont été développées aux États-Unis et en Europe (WAVE et ETSI, voir chapitre 3, section 3). Le standard 802.11p est le dénominateur commun de ces piles de protocoles qui prennent en charge les couches MAC/PHY (voir chapitre 3, section 4) pour les communications V2D.

**Efficacité du trafic routier** Les applications et les services à valeur ajoutée peuvent utiliser des technologies V2D directes. Cependant, en raison de la faible densité avec beaucoup de fragmentation en particulier dans les heures creuses, les communications V2V ne peuvent pas être prises en charge. En outre, le coût élevé de l'infrastructure spécialisée pour la communication V2I, le premier déploiement des applications d'efficacité du trafic ne sera disponible que dans certaines zones [14].

En revanche, l'utilisation de V2N représente une solution viable pour étendre la connectivité dans ces cas pour ces applications, car elles ne sont pas critiques. La zone de couverture sera augmentée par les réseaux 4G / 5G LTE existants, puisque les applications ne sont pas critiques. Les véhicules peuvent se connecter au réseau 4G/5G LTE, récupérer des informations et des services des centres de contrôle et agir en tant que fournisseur en transmettant l'annonce directement aux véhicules environnants en utilisant 802.11p (V2D) (voir Figure 2.5).

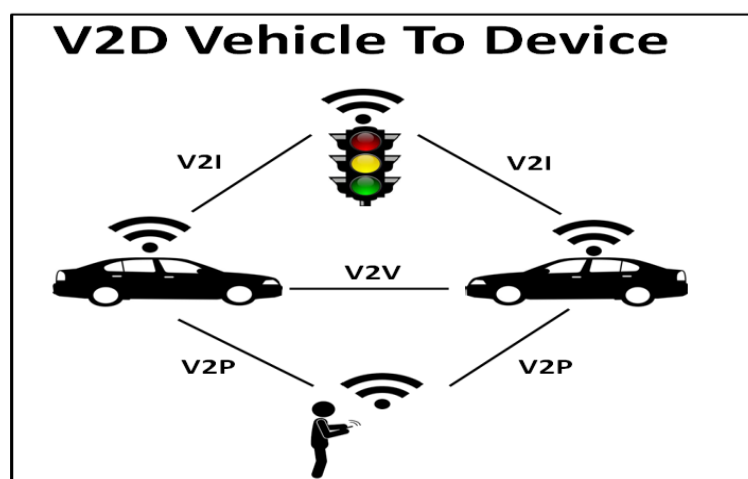


Figure 2.4. Communication directe au moyen du DSRC pour le fonctionnement du V2X dans la bande STI (5,9 GHz) [14].

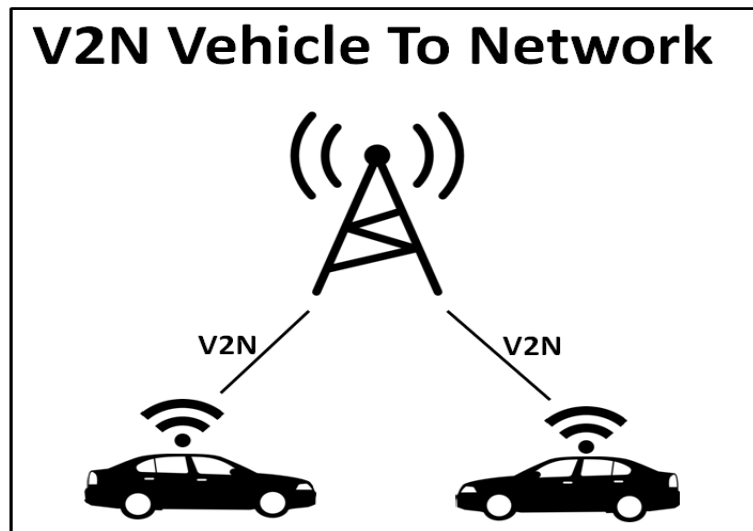


Figure 2.5. Communication réseau utilisant 3G / 4G LTE pour l'exploitation V2N dans la bande cellulaire sous licence. [14].

Une approche de communication hybride dans laquelle les deux technologies travaillent ensemble est le meilleur moyen de soutenir les applications C-ITS [33] :

1. DSRC (G5-ITS) transmettant des messages critiques de sécurité dans la bande 5,9 GHz allouée aux communications V2D
2. 4G/5G LTE fournissant de l'information pour les services liés à l'infrastructure utilisant les communications V2N dans la bande 3,2-3,8 GHz attribuée au cellulaire.

## 2.4 Les réseaux ad-hoc véhiculaires (VANETs):

La croissance rapide et massive du développement des systèmes informatiques et des technologies de communication de réseau sans fil augmente la gamme d'applications des C-ITS tels que les réseaux ad hoc de véhicules (VANET) [34].

Les réseaux ad-hoc véhiculaires (VANETs) sont un type spécifique de réseaux ad-hoc mobile (MANET), qui permettent la communication entre les véhicules sur la route et les équipements de communication placés le long des routes. Dans ce type de réseaux, les véhicules sont considérés comme des nœuds de communication capable de faire partie d'un réseau autoorganisé sans connaissance préalable les uns des autres. Ainsi, l'on peut définir deux catégories d'équipement : les équipements internes au véhicules (OBU, On Board Unit ) et l'équipement externe aux véhicules (RSU, Road Side Unit ). Les "OBUs" sont donc des équipements radio installés dans les véhicules. Les "RSUs" par contre sont place au bord des

route et constitue l'infrastructure réseau, ils sont d'ailleurs utilisés comme des routeurs entre les véhicules. Les "OBUs" utilisent les signaux DSRC pour communiquer avec les « RSU ». Les VANETs sont devenues l'une des technologies sans fil les plus pertinentes. Ils constituent l'une des approches les plus prometteuses pour l'implémentation des C-ITS. Les VANETs diffèrent des MANETs de plusieurs façons: la haute mobilité des nœuds, la grande échelle des réseaux, les contraintes géographiques de la topologie, la topologie hautement dynamique, les contraintes élevées du temps réel, la connectivité sporadique du réseau, la lenteur du déploiement, la non-fiabilité des canaux de communication, etc. L'objectif premier c'est de permettre la communication entre les véhicules. De ce fait, il est nécessaire que ces véhicules incorporent des équipements et des interfaces de communications et un rayon spectral de communication dédié aux échanges dans un VANET [35].

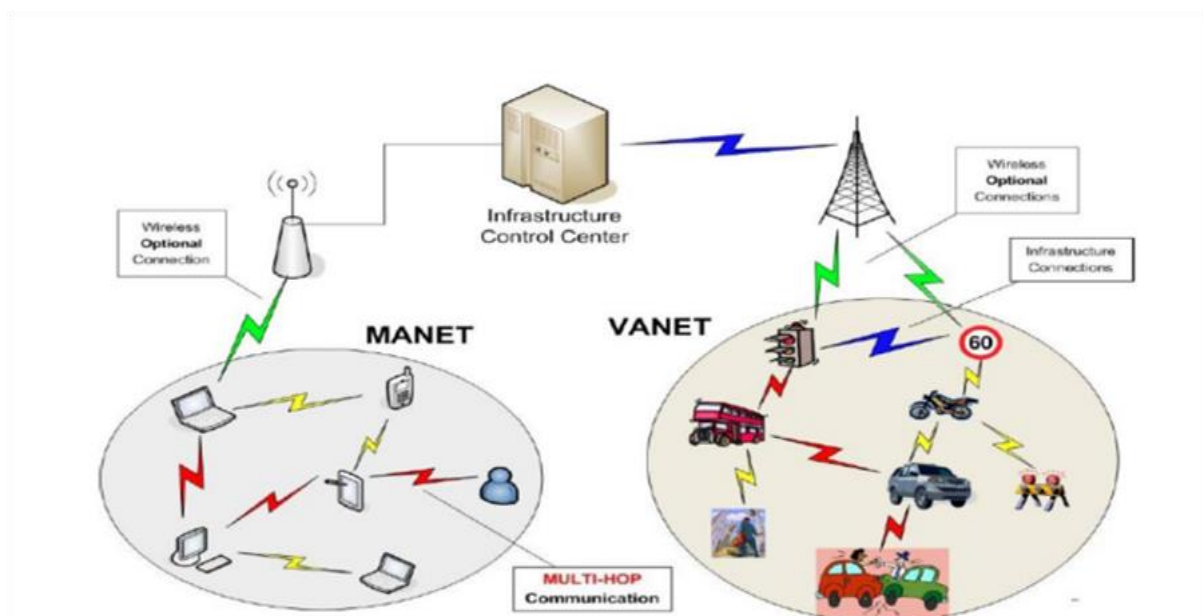


Figure 2.6 Nœud représentant les réseaux VANET [35].

#### 2.4.1 Caractéristiques des VANETs:

Les réseaux véhiculaires se distinguent des réseaux sans fil traditionnels par un certain nombre de caractéristiques spécifiques dont on peut citer:

1. **Le potentiel énergétique:** À la différence des réseaux sans fil traditionnels où la contrainte d'énergie représente un facteur limitant important, les entités des réseaux véhiculaires disposent de grandes capacités énergétiques qu'elles tirent du système d'alimentation des véhicules.

2. **L'environnement de communication et le modèle de mobilité:** les réseaux véhiculaires imposent la prise en compte d'une plus grande diversité environnementale. Du fait de la mobilité des véhicules, il est en effet possible de passer d'un environnement urbain caractérisé par de nombreux obstacles à la propagation des signaux, à un environnement périurbain ou autoroutier présentant des caractéristiques différentes. En plus de cette diversité environnementale, les réseaux véhiculaires se distinguent également des réseaux sans fil ordinaires par un modèle de mobilité dont une des traductions les plus évidentes est l'importante vitesse des nœuds qui réduit considérablement les durées de temps pendant lesquelles les nœuds peuvent communiquer.
3. **Le modèle de communication:** Les réseaux véhiculaires ont été imaginés principalement pour les applications liées à la sécurité routière (ex. diffusion de messages d'alerte). Dans ce type d'application, les communications se font presque exclusivement par liaisons successives d'une source vers une multiplicité de destinataires. Le modèle de transmission en Broadcast ou en Multicast est donc appelé à dominer largement dans les réseaux véhiculaires, ce qui n'est pas sans conséquence sur la charge du réseau et le modèle de sécurité à mettre en œuvre.
4. **La taille du réseau:** Etant donné les avancées importantes réalisées dans le domaine des communications sans fil et les bas coûts des équipements associés, les véhicules qui intègrent déjà massivement des systèmes GPS et des équipements Bluetooth, seront très probablement équipés et ce, tout aussi massivement, de plateformes de communication leur permettant de constituer de véritables réseaux. Ce faisant, et compte tenu de l'importance sans cesse grandissante de la densité et du parc des véhicules, on peut s'attendre à ce que la taille des réseaux véhiculaires dont les déploiements restent encore très confidentiels, soit d'une tout autre ampleur. L'importance potentielle de la taille des réseaux véhiculaires constitue donc une caractéristique majeure à prendre en compte dans la conception de ces réseaux.

#### 2.4.2 Objectifs de VANET:

Les réseaux VANET sont basés sur la communication et l'échange d'information entre les véhicules, et entre les véhicules et des éléments de la route (Exemples : les panneaux de signalisations, les feux d'intersections...) ou des éléments de réseaux externes (Satellites, antennes, internet).

Les objectifs de ces échanges d'informations sont :

- **Sécurité des usagés :**

- Prévention sur les accidents : Les accidents deviennent plus rapidement détectables et l'intervention devient plus rapide, cela peut minimiser le risque de décès après un accident.
- Anticipation du trafic : Les véhicules sont informés par les routes ou il y'a des embouteillages, ils peuvent donc emprunter un autre chemin, cela peut permettre de rendre les routes plus fluides.
- Préventions d'un véhicules prioritaire : Permet d'aviser les conducteurs d'un passage de véhicules prioritaire (Exemple : ambulances, véhicules de police...)
- Anticipation d'un danger quelconque : Les véhicules peuvent s'échanger entre eux des préventions de dangers liés aux routes pour mieux les anticipés.

- **Confort des usagers :**

- Avoir une prévention sur l'itinéraire peut permettre de faciliter la conduite et amoindrir les risques d'accidents.
- Les réseaux VANET peuvent communiquer avec les infrastructures externes comme internet, donc la capacité d'accéder à des loisirs comme les téléchargements de flux multimédias, lecture des emails ...etc.
- Possibilité de jouer en réseau entre les passagers des voitures, téléchargement et partage de fichier tel que les cartes.
- La régulation des flux de véhicules, permet de réduire le nombre d'embouteillages.
- Le guidage par GPS permettant un déplacement plus facile, et l'auto-localisation qui permet de trouver les véhicules volés [36].

### **2.4.3 Architecture VANET:**

Dans le domaine des réseaux ad hoc, les nœuds communiquent entre eux à l'aide des composants électroniques. Dans ce paragraphe, nous décrivons l'architecture complète d'un réseau VANET.

#### **2.4.3.1 Véhicule intelligent**

Le véhicule Intelligent est un véhicule avec des appareils électroniques installés (voir figure 2.7), permettant des communications avec les autres véhicules ou avec l'infrastructure. Il est équipé de plusieurs capteurs, de radars, d'un système de localisation, d'un équipement de

communication, d'une plateforme de traitement, d'une collecte de données et d'une interface homme-machine. Ce véhicule permet d'enregistrer des paramètres et des événements importants durant la circulation, tels que la vitesse, le comportement de la conduite et autres.

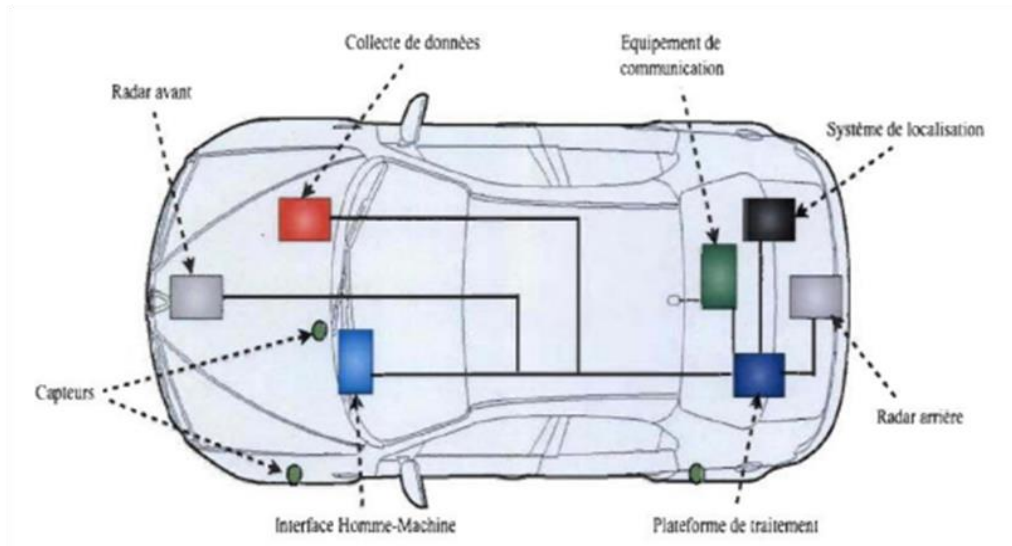


Figure 2.7: Les composants d'un véhicule intelligent [37]

#### 2.4.3.2 Composants d'un réseau VANET:

Les principaux composants nécessaires pour établir des communications dans un réseau véhiculaire VANET sont les suivants :

- **Nœud** : Les nœuds sont les entités principales de ce type de réseau. Ce sont des véhicules intelligents avec des technologies très avancées telles que le GPS, les caméras et autres équipements. Dans la présente étude, les principaux appareils du nœud sont l'AU (Application Unit) et l'OBU (On Board Unit).
- **L'AU** : est un dispositif électronique installé dans les véhicules pour assurer les communications avec l'autorité de confiance (CA), connecté à l'OBU afin d'exécuter des applications.
- **L'OBU** : (voire la Figure 2.8) est un dispositif installé dans les véhicules intelligents avec un ensemble de composants logiciels pour calculer et afficher toutes les informations nécessaires de localisation, partager et échanger des données.



Figure2.8 : Le dispositif OBU (On Board Unit) [37].

- **RSU** : Les RSUs (Road Side Unit) (voire figure2.9) sont des dispositifs installés au bord de la route jouant le rôle d'un point d'accès afin d'assurer les communications avec l'infrastructure et échanger les informations relatives à l'état du trafic routier avec les utilisateurs de la route.



Figure2.9: Le dispositif RSU (Road Side Unit) [37].

- **CA** : l'autorité de confiance (Central Authority) représente l'autorité de confiance dans le réseau véhiculaire VANET. La CA joue le rôle d'un serveur qui assure la sécurité des différents services tels que la délivrance des certificats, des clés de communication et le stockage de certaines données.

### 2.4.3.3 Modes de communication:

Les véhicules peuvent communiquer les uns avec les autres directement sans intermédiaire, ou par l'intermédiaire d'un dispositif installé au bord de la route (RSU). Le transfert des informations et des données entre les véhicules s'effectue à l'aide de différents modes de communication, dont le but est d'assurer une continuité de connexion en courte durée avec le réseau ad hoc VANET sans connaître le type ou la technologie d'accès sans fil.

Dans le domaine de réseau véhiculaire VANET, les communications sont classées selon trois modes :

- **En véhicule:** C'est une communication dans le véhicule lui-même sans intermédiaire. Elle s'exerce exactement entre les deux composants électroniques du véhicule l'OBU et l'AU. L'OBU communique avec l'AU pour exécuter les différentes applications et faire le traitement de données afin de fournir et d'échanger des informations nécessaires aux autres véhicules.
- **Ad hoc:** Ce mode de communication s'effectue directement entre les entités voisines de réseau sans infrastructure; l'échange de données passe d'une entité à l'autre de façon directe sans intermédiaire. Il existe deux types de communication dans ce mode:
  - **V2V:** Un mode de communication s'exerçant directement entre les nœuds voisins sans infrastructure. Le véhicule équipé d'une unité électronique appelée OBU communique directement avec un autre véhicule voisin dans sa portée.
  - **V2I:** Communication entre les nœuds à l'aide d'une unité électronique intermédiaire appelée RSU. Le nœud communique en mode ad hoc avec le RSU dans sa portée. Le RSU lui-même communique en mode ad hoc avec un autre nœud dans sa portée afin d'effectuer un échange de données.
- **Infrastructure:** Communication dans le réseau véhiculaire global ou avec Internet. Ce mode de communication gère une grande bande passante d'une manière efficace et sécuritaire avec le minimum d'énergie consommée. Parmi les technologies utilisées dans ce mode de communication, nous citons les suivantes : GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, WIMAX et 4G.

La figure 2.10 présente les différents modes de communication dans le réseau véhiculaire VANET.

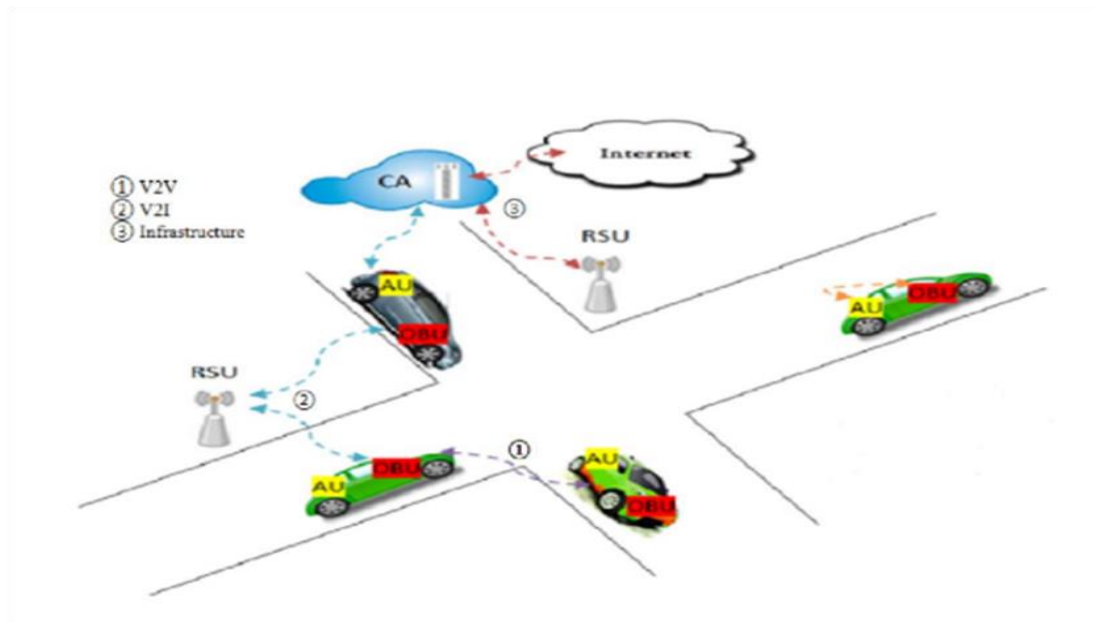


Figure2.10 : Modes de communication dans le réseau véhiculaire VANET [37].

## 2.5 Conclusion

Ce chapitre donne un aperçu de l'aspect le plus distinctif de la conception des technologies C-IVC qui est le rôle des applications ainsi que leurs exigences. Malgré les grandes activités autour de C-ITS communications par les chercheurs du domaine au cours de la durée d'une décennie et demi et il n'y a pas une grande mise en œuvre commerciale significative et ce, pour plusieurs raisons. L'un d'eux est que les constructeurs automobiles n'étaient pas prêts ou ne voient pas les avantages potentiels de la communication entre les véhicules, en particulier avec la grande hétérogénéité de l'industrie automobile où une solution pour La communication C-ITS ne peut réussir que si elle est adoptée par tous les constructeurs automobiles. Cependant, il est difficile d'être accepté par eux parce qu'ils se distinguent généralement de leurs concurrents en proposant des systèmes propriétaires. Le travail de normalisation est donc essentiel dans ce contexte afin d'assurer l'harmonisation entre les constructeurs automobiles pour un usage global.

Les activités de normalisation doivent être achevées parce qu'il est clair que les systèmes de sécurité C-ITS doivent encore être soutenus par des technologies de communication dédiées aux STI rapides [14].

# Chapitre 3

## Normalisation des Système de Transport Intelligent Coopératif

### 3.1 Introduction

L'objectif de la normalisation des Système de Transport Intelligent Coopératif (C-ITS) est de permettre la mise en œuvre de protocoles de communication de manière interopérable, de sorte que les véhicules de différents fournisseurs peuvent parler le même langage et échanger des messages basés sur la syntaxe et la sémantique commune [14]. Beaucoup de choses se sont produites au cours de la dernière décennie au sein de tous les grands organismes d'élaboration de normes (SDO, Standards Development Organizations ) qui s'occupent des communications véhiculaires. En 2003, la société américaine pour les essais et les matériaux (ASTM, American Society for Testing and Materials ) a proposé une norme en s'inspirant de la norme WLAN IEEE 802.11 et a apporté quelques modifications mineures pour l'adapter à l'environnement des véhicules à grande vitesse. La norme a utilisé une simple couche d'application de boîte aux lettres [38] et la pile de protocole résultante contenait trois couches : application, liaison de données et physique. La même année, l'IEEE a repris les travaux de l'ASTM et a étendu la pile de protocole avec plus de couches pour soutenir les applications de sécurité et non de sécurité qui inclut la couche physique jusqu'à la couche de transport. On lui a donné le nom d'accès sans fil en environnement véhiculaire (WAVE, wireless access in vehicular environment ). En Europe Le Comité technique des systèmes de transport intelligents de l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI TC ITS, European Telecommunications Standards Institute Technical Committee Intelligent Transport Systems ) est chargé de développer l'ensemble du protocole, y compris les applications de sécurité routière centrées sur les véhicules, considérant que les applications orientées vers l'efficacité du trafic routier utilisant l'infrastructure routière relèvent du Comité européen de normalisation (CEN ). La Society for Auto- motive Engineers (SAE, Society for Auto motive Engineers) est en train de mettre au point un dictionnaire de messages [5] qui sera utilisé par les applications de sécurité routière, qui ne tient pas compte de la technologie, c'est-à-dire qui ne dépend pas d'une technologie d'accès sans fil particulière.

Ce chapitre établit plus clairement le contexte de cette mémoire en donnant un aperçu des activités de normalisation dans le domaine des C-ITS. Dans la section 3.1, les célèbres organismes d'élaboration de normes (SDO) sont présentés en fonction de leurs activités sur les C-ITS. La section 3.2 décrit les efforts de normalisation en cours pour construire l'architecture du système C-ITS, en mettant l'accent sur les similitudes et les différences qui peuvent être distinguées entre les architectures américaine et européenne. Enfin, la section 3.3 est entièrement consacrée à un examen général du contrôle d'accès normalisé dans les réseaux de véhicules où la norme IEEE 802.11p est introduite.

### 3.2 Organisation de l'élaboration des normes

Différents organismes d'élaboration de normes (SDOs) ont participé à la normalisation des piles de communication spécifique. Le processus de normalisation est réalisé avec différents SDOs gouvernementaux et non gouvernementaux, comme le montre la figure 3.1



Figure 3.1 Organismes d'élaboration de normes élaborant des C-ITS [3]

Les SDO gouvernementales les plus célèbres sont :

- **ISO/TC 204 :** Le Comité technique de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) (TC) 204 « Systèmes de transport intelligents », est créé en 1992 avec ses 18 groupes de travail (GT). L'ISO/TC 204 prend en compte les travaux existants des organismes internationaux de normalisation et construit son système général et les aspects d'infrastructure des C-ITS. L'accès aux communications pour les mobiles terrestres (CALM) est une initiative des membres du groupe de travail ISO TC 204/16 visant à

définir un ensemble de protocoles de communication sans fil et d'interfaces aériennes pour une variété de scénarios de communication [39]

- **CEN/TC 278** : Le Comité européen de normalisation (CEN) TC 278 ITS est chargé de la gestion de l'élaboration des normes dans le domaine des systèmes de transport intelligents C-ITS en Europe. CEN/TC 278 ITS est créé en 1991 et sert de plate-forme de normalisation pour les parties prenantes européennes dans le domaine de la télématique à appliquer à la circulation routière et aux transports [40] [41].
- **UIT** : L'Union Internationale des Télécommunications (International Telecommunication Union) a tenté de proposer une unité pour les C-ITS, mais aucune norme n'a encore été déclarée.

Les SDOs non gouvernementaux sont :

- **ETSI/TC ITS** : L'Institut européen de normalisation des télécommunications (ETSI, European Telecommunications Standards Institute ) est l'un des trois organismes officiellement reconnus par l'UE en tant qu'Organisation européenne de normalisation (ESO, European Standards Organization ). ETSI comité technique (TC, Technical Committee) Transport Intelligent Coopératif (ITS, Intelligent Transport Systems ) a été créé en 2007 pour bénéficier de la compétence de l'ETSI centre sur les essais dans le but d'effectuer le développement et la maintenance des normes, pour soutenir la mise en œuvre de ITS Communications. En pratique, l'ETSI TC ITS a suivi une approche centrée sur le véhicule et axée sur une pile de protocoles unique pour les communications V2V et V2I [42].
- **IEEE** : Institut des ingénieurs électroniques (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) est la plus grande société professionnelle technique au monde qui promeut le développement et l'application de l'électrotechnologie et des sciences connexes au profit de l'humanité [43]. IEEE a développé des normes utilisées pour soutenir l'ITS, telles que la norme IEEE 802.11p et son extension approuvée IEEE 1609 connue sous le nom de travail (WAVE, Wireless Access in Vehicular Environment) [44].
- **SAE** : La société des ingénieurs automobiles (Society of Automotive Engineers), aux États-Unis, est une organisation complémentaire qui élabore des spécifications de type standard pour les dictionnaires de données et ce qu'on appelle les ensembles de messages. SAE coopère avec la normalisation des organisations.

- **ARIB** : l'association des industries et des entreprises de radio (Association of Radio Industries and Businesses) au Japon est une organisation de normalisation qui étudie la recherche et le développement sur les C-ITS.

La normalisation des C-ITS suscite un intérêt croissant chez les SDOs du monde entier. Par conséquent, l'intégration de différentes normes dans un scénario global de C-ITS comportera des incohérences et des lacunes. Cette situation motive les SDO, impliqués dans le processus, à collaborer pour une harmonisation internationale dans le but de réduire les coûts de déploiement et de maintenance et de permettre un marché mondial [14].

En Europe, le CEN, l'ISO et l'ETSI commencent à travailler conjointement en octobre 2009 dans le cadre du mandat M/453 [45] de la Commission européenne pour une importante activité d'harmonisation où le terme C-ITS a été créé dans le cadre de ce mandat. Le CEN/ISO travaillent sur toutes les entités utilisées dans la pile de protocoles C-ITS dont ont besoin tous les intervenants, comme les constructeurs de véhicules, les exploitants de routes, les autorités municipales et les exploitants de réseaux cellulaires, comme le montre la figure. 3.2.

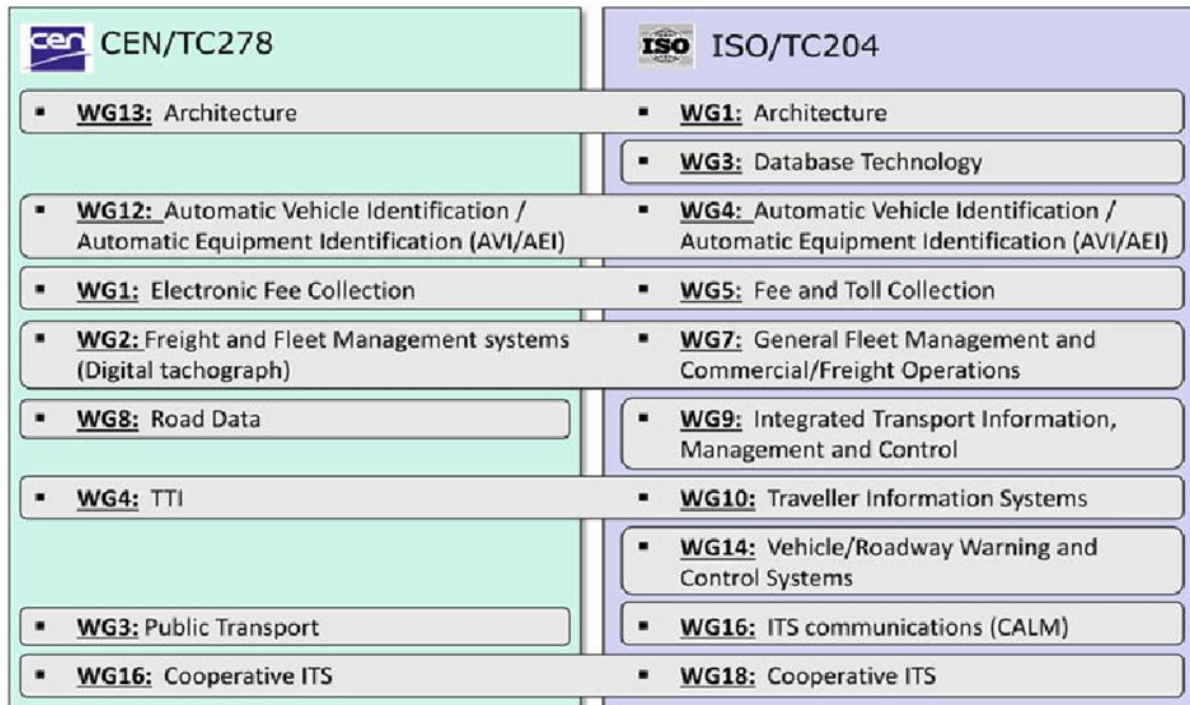


Figure 3.2 Élaboration conjointe de normes par CEN TC278 et ISO TC204 [3]

L'approche d'harmonisation UE/USA est présentée par deux activités de coopération; l'une est le lien entre SAE et CEN/ISO/ETSI ensemble afin de parvenir à des propositions harmonisées pour les ensembles de messages directement depuis le début. Deuxièmement, les Groupes de travail sur l'harmonisation (GTH, avec leurs huit groupes) examinent les lacunes et les chevauchements en matière de communication et de sécurité pour les normes déjà existantes et fournissent également des recommandations aux SDOs sur les normes manquantes et les normes à harmoniser. À titre d'exemple, le HTG3 a publié une recommandation visant à harmoniser les formats des messages de deux ensembles de protocoles de l'ISO et de l'IEEE [46].

### **3.3 Architecture du système C-ITS**

Cette section décrit les restrictions de déploiement pour construire la conception C-ITS appelée la Station ITS (ITS-S) dans l'UE ou le dispositif DSRC aux États-Unis. C-ITS est le nom de la machine qui construit l'architecture du système C-ITS et implémente ses applications [14].

Un appareil C-ITS peut fonctionner en mouvement comme un véhicule, appelé véhicule ITS-S ou On Board Unit (OBU), et il peut être intégré comme infrastructure routière appelée ITS-S côté route ou Road Side Unit (RSU).

Avant cela, un aperçu des normes importantes qui représentent les aspects élémentaires pour construire la conception C-ITS. Elles sont les suivantes : Répartition de la fréquence, l'architecture de référence de communication et l'ensemble de messages.

#### **3.3.1 Répartition de la fréquence**

L'un des fondements de l'architecture du système ITS coopératif (aussi appelé DSRC aux États-Unis) est le spectre dans lequel la communication Véhicule-Véhicule (V2V) et Véhicule-Infrastructure (V2I) a lieu. Aux États-Unis et en Europe, les autorités ont attribué des fréquences sous licence à cette fin. Cette section présente les détails de ces attributions, y compris les gammes de fréquences.

##### **3.3.1.1 Répartition aux États-Unis**

La Federal Communications Commission (FCC) est responsable de la réglementation du spectre aux États-Unis [47]. En 1999, la FCC a attribué 75 MHz de spectre dans la gamme

5,850-5,925 GHz communément appelée la bande 5,9 GHz. Le spectre comporte sept canaux non chevauchants de 10 MHz et une bande inutilisée de 5 MHz dédiée aux STI-C, particulièrement pour le service DSRC, comme le montre la figure. 7.1. Ces canaux de 10 MHz sont numérotés de 172 à 184 et ils peuvent également fonctionner dans 20 MHz ainsi que 175 et 181 chacun qui chevauchent deux canaux de 10 MHz.

Chacun d'eux est classé CCH (Control CHannel) ou SCH (Service CHannel). Le canal 178 est le seul CCH et les six autres canaux sont classés comme SCH.

Chaque canal comprend une puissance conductrice maximale comprise entre 10 et 20 dBm pour atteindre la plage de transmission souhaitée sans causer de brouillage excessif sur de plus longues distances [14].

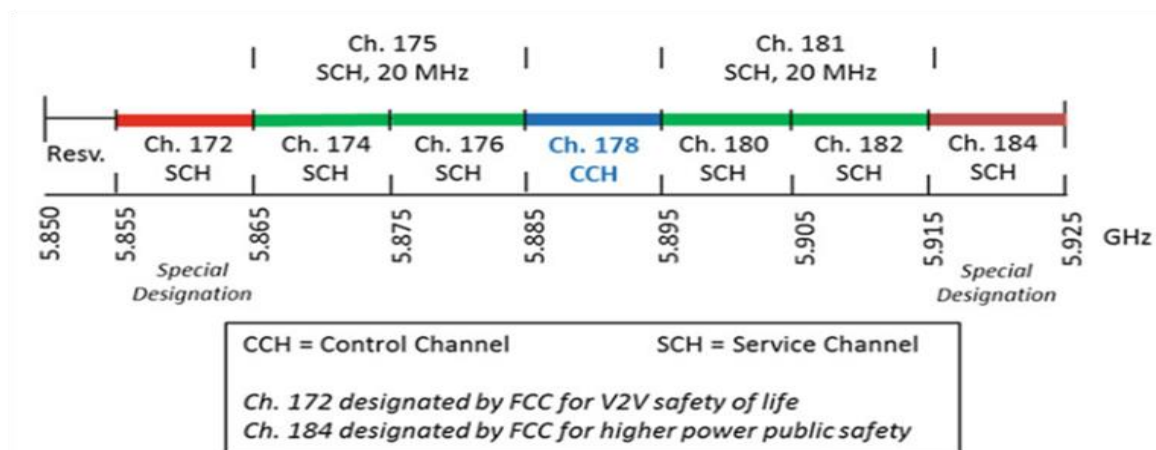


Figure 3.3. Canaux attribués aux États-Unis par la FCC pour C-ITS [3]

### 3.3.1.2 Répartition dans l'UE

Le Comité des communications électroniques (CCE) de l'UE est responsable de la réglementation du spectre. En 2008, la CCE a attribué le spectre européen pour les communications STI dans la bande de 5 GHz appelée « ITS-G5 » [48]. Il a six SCHs et un CCH, comme pour l'attribution du spectre de la FCC [14]. La figure 3.4 montre le plan d'allocation de fréquence de la CCE et leurs différentes classes, il est divisé en trois parties :

- **ITS-G5A** est une bande de 30 MHz, dans la gamme 5,875 à 5,905 GHz, qui contient les canaux CCH, SCH1 et SCH2, qui sont destinés à soutenir les applications de sécurité;
- **ITS-G5B** est une fréquence de 20 MHz qui comprend les fréquences de 5,855 à 5,875 GHz dédiées aux applications non liées à la sécurité.

- **ITS-G5D** est un spectre de 20 MHz dans la gamme 5,905 5,925 GHz pour les futures extensions de STI.

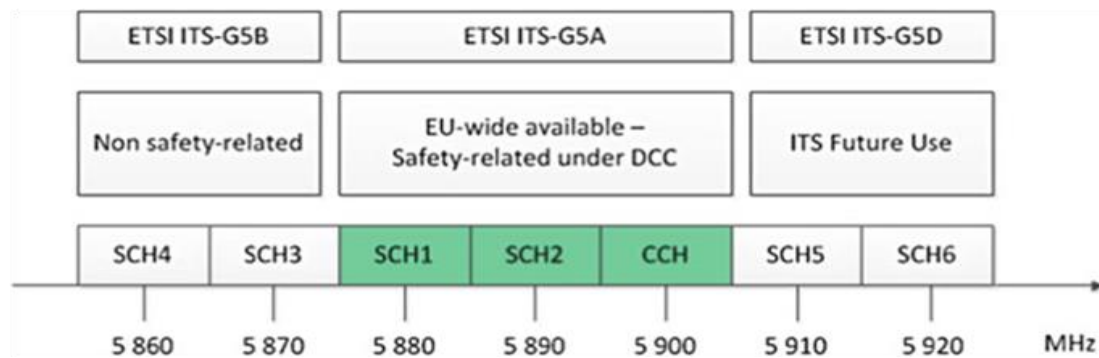


Figure 3.4 Fréquences porteuses des STI dans l'UE [3]

### 3.3.2 Architecture de référence de communication C-ITS

#### 3.3.2.1 L'architecture WAVE aux États-Unis

L'approche WAVE, illustrée dans la Figure. 3.5, est une pile de protocole fournissant un sous-ensemble de la fonctionnalité d'un dispositif ITS aux États-Unis. Il est divisé en deux parties : les applications de sécurité et les applications non de sécurité, et les deux parties partagent la même couche de liaison de données et la même couche physique pour la transmission.

La pile d'applications de sécurité du protocole WAVE est normalisée dans la norme IEEE 1609.0 [49]; elle décrit comment les piles fonctionnent ensemble. Les normes sont construites sur le dessus de la norme IEEE 802.11p qui définit les couches inférieures (PHY et MAC) de la pile de communications [50] et il est optimisé pour la diffusion rapide et fiable des messages de sécurité. Les parties les plus importantes de la famille de normes 1609 sont:

**IEEE 1609.4 :** est une norme pour WAVE - opération multi-canal. Il apporte des améliorations au Medium Access Control (MAC) IEEE 802.11p pour prendre en charge les opérations WAVE multicanal.

**IEEE 1609.3 :** est une norme pour WAVE - Services de réseautage. Il fournit des services de réseau et de couche de transport, y compris le WAVE protocole message court (WSMP, WAVE Short Message Protocol ) pour les communications efficaces de réseau nul à un seul endroit,

**IEEE 1609.2** : est une norme des services de sécurité pour les applications et les messages de gestion. Il définit des formats de messages sécurisés et le traitement.

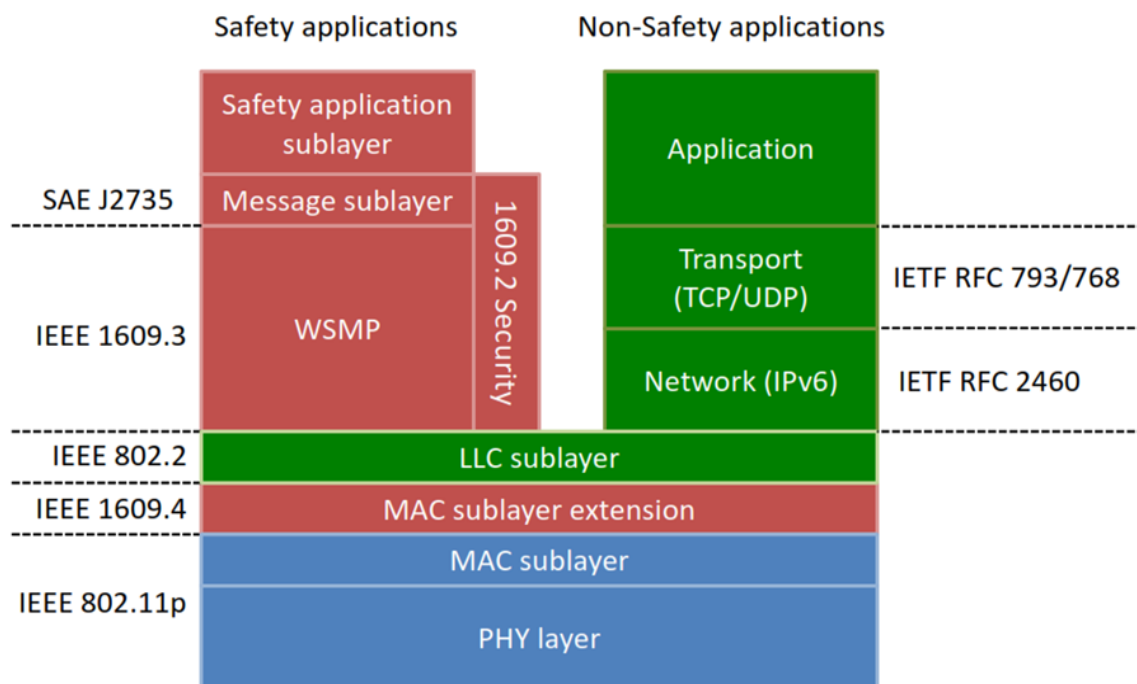


Figure 3.5 La pile de protocoles WAVE contenant à la fois une partie des applications de sécurité routière et une partie non sécuritaire [28].

### 3.3.2.2 L'architecture des stations de STI dans l'UE

L'architecture de référence des stations ITS est rédigée par le CEN, l'ETSI et l'ISO sur la base de ce qui est déjà publié dans la norme ISO 21217 [4] et elle est également utilisée dans la norme ETSI. Le système qui met en œuvre cette architecture est désigné comme une Station ITS (ITS-S), voir la section 3.3.4. En utilisant une architecture simplifiée et étendue du modèle d'interconnexion de systèmes ouverts (OSI), l'architecture de référence de la Station ITS contient les couches suivantes qui sont interconnectées avec les points d'accès de service (MI, MN, MF, MA, MS, SI, SN, SF, IN, NF et FA) comme le montre la figure 3.6 :

1. La couche d'accès ITS-S représente la première partie de communication équivalente aux couches OSI 1 et 2. Elle contient tout type de communication de technologie d'accès (p. ex., infrarouge, micro-ondes, ondes millimétriques, IEEE 802.11p, 2G/3G) pour fournir une connexion homogène aux utilisateurs finaux et aux applications,

2. La couche ITS-S Networking & Transport représente les couches OSI 3 et 4. Elle contient tous les types de protocole de réseau et de transport, y compris le protocole Internet version 6 (IPv6) et le réseau non IP CALM [51] pour soutenir certaines applications C-ITS [52].
3. La couche des installations ITS-S représente les couches 4, 5 et 6 de l'OSI. Elle offre une grande variété d'installations (p. ex., traitement des messages, carte dynamique locale) qui prennent en charge diverses piles de protocoles de communication selon les besoins des applications C-ITS.
4. L'entité de gestion des STI et l'entité de sécurité des ITS fournissent des caractéristiques de gestion et de sécurité. La station de ITS est définie comme un domaine géré sécurisé (BSMD, Bounded Secured Managed Domain) limité normalisé dans CEN/ISO 17419 [53], il afin de fournir la confiance aux utilisateurs.
5. L'entité des applications ITS-S est au-dessus des couches de communication précédentes. L'une des caractéristiques les plus essentielles d'une Station ITS est l'abstraction des applications des communications. Les protocoles d'application ITS-S [4] ne sont pas censés connaître les processus de communication de l'unité de Station ITS, mais ils collaborent avec la direction de la station ITS pour déclarer leurs exigences de communication comme spécifié dans CEN/ISO 17423 [54].

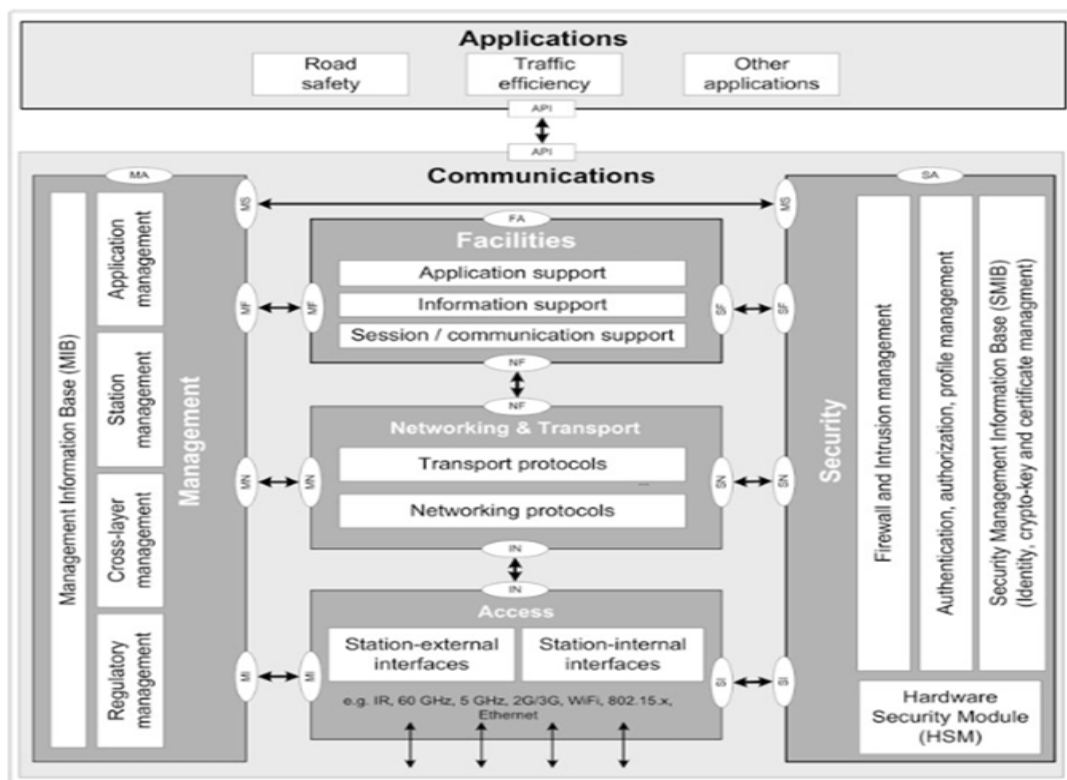


Figure 3.6 Architecture de référence des Stations ITS [3]

### 3.3.3 Ensembles de messages

Cette partie examine les ensembles de messages de base de l'UE et de l'Amérique du Nord qui sont générés par l'entité de couches d'application ou d'installations de l'architecture de référence de communication normalisée des C-ITS. La figure 3.7 montre l'ensemble des messages élaborés dans l'UE et en Amérique du Nord ainsi que les normes de niveau inférieur associées à la diffusion des messages.

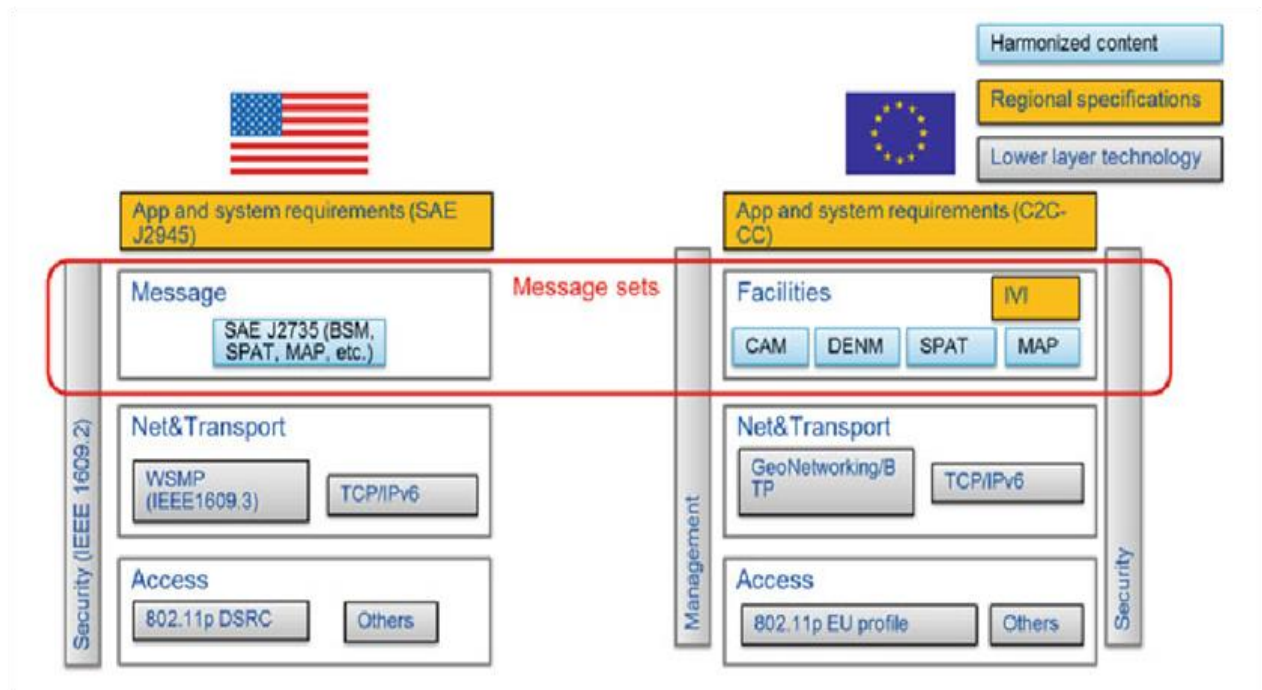


Figure 3.7 Ensembles de messages dans l'architecture de communication C-ITS de référence [3]

La normalisation du format des messages joue un rôle important pour assurer l'interopérabilité des communications dans le système de communication des C-ITS et soutenir l'ensemble d'applications sélectionnées pour le déploiement. Il doit tenir compte des exigences de l'application, du format du message qui définit la syntaxe et la sémantique des données incluses dans un message, Les capacités de communication afin d'éviter une surcharge inutile du canal de communication Et l'harmonisation des jeux de messages avec les normes pertinentes existantes dans la même région, faciliteraient l'interopérabilité entre les véhicules et les infrastructures routières [14].

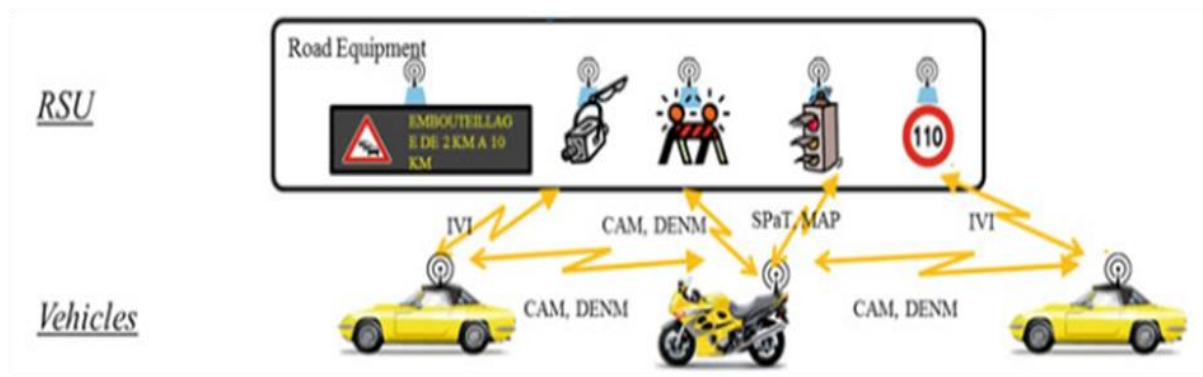


Figure 3.8 Aperçu général des protocoles C-ITS utilisés dans l'UE [3]

La figure 3.8 présente un aperçu des ensembles de messages V2V et V2I utilisés dans le domaine des C-ITS dans l'UE. En Amérique du Nord, une architecture similaire peut être observée, avec des ensembles de messages correspondants qui sont normalisés par SEA dans J2735 [5]. Les ensembles de messages de la figure 3.9 sont résumés plus en détail comme suit :

- Message de conscience coopérative (CAM, Cooperative Awareness Message) : C'est un message de salut (balise) qui est envoyé périodiquement par OBU et RSU pour annoncer des données sur le véhicule lui-même tels que la position (latitude, longitude et élévation), le mouvement, la taille du véhicule, etc. C'est pour un déploiement européen qui est standardisé par ETSI TC ITS [55].
- Message de notification environnementale décentralisée (DENM, Decentralized Environmental Notification Message) : Il s'agit d'un message d'événement envoyé par OBU et RSU après la détection d'une situation d'urgence. Il s'agit d'un déploiement européen, standardisé par l'ETSI TC ITS [56].
- Message de sécurité de base (BSM, Basic Safety Message) : Il a les mêmes fonctions que CAM et DENM dédié aux applications nord-américaines. Il s'agit d'un déploiement en Amérique du Nord, normalisé par SEA TC DSRC [57].
- Phase de signal et synchronisation (SPaT, Signal Phase And Timing) : Il est envoyé par une RSU travaillant comme feu de circulation pour fournir des informations de phase et de synchronisation. Il a été adapté pour être déployé en Amérique du Nord, dans l'UE et au Japon, ce qui est normalisé par la SAE TC DSRC [5].
- Données cartographiques (MAP, Map Data) : Elles sont envoyées par une RSU aux véhicules pour leur fournir des informations de topologie routière des tronçons de route ou

des intersections. Les véhicules réceptionnaires mappent les données SPAT à la topologie d'intersection pour faire correspondre chaque donnée d'état de lumière de trafic au segment de route correspondant et sélectionner la lumière de trafic pertinente. Il s'agit d'un déploiement en Amérique du Nord, normalisé par SEA TC DSRC [5].

- Dans les informations sur le véhicule (IVI, In Vehicle Information ) : Il est envoyé par l'USR pour fournir des renseignements sur les panneaux latéraux aux véhicules ou aux appareils mobiles. Il est initié par le CEN et normalisé par le CEN/ISO en tant que norme mondiale [58].

Le Tableau 3.1 présente une correspondance entre les messages VANET résumés dans la présente section et les applications critiques en matière de sécurité et d'efficacité du trafic routier proposées par ETSI TC ITS [5] :

Tableau 3.1. Correspondance des applications C-ITS et des messages VANET [3]

| <b>Application</b>                                      | <b>CAM</b> | <b>DENM</b> | <b>BSM</b> | <b>SPAT</b> | <b>MAP</b> | <b>IVI</b> |
|---------------------------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Avertissement de risque de collision longitudinale      | X          | X           | X          | -           | -          | -          |
| Avertissement de risque de collision à une intersection | X          | X           | X          | X           | X          | X          |
| Avertissement d'infraction aux feux de circulation      | -          | X           | X          | X           | X          | -          |
| avertisseur de changement de voie                       | X          | -           | X          | -           | -          | -          |
| Sensibilisation Cooperative                             | X          |             | X          | -           | -          | -          |
| Véhicule d'urgence en approche                          | X          | X           | X          | -           | -          | -          |
| Véhicule lent en approche                               | X          | X           | X          | -           | -          | -          |

|                                            |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Feu de freinage électronique d'urgence     | X | X | X | - | - | - |
| Véhicule stationnaire                      | X | X | X | - | - | - |
| Lieu dangereux                             | - | X | X | - | - | - |
| Avertissement routier                      | X | X | - | - | - | X |
| Voyant vert indiquant une vitesse optimale | - | - | - | X | X | - |
| Signalisation embarquée                    | - | - | - | - | - | X |
| Information sur les limites de vitesse     | - | - | - | - | - | X |

Ces messages permettent de transmettre une abondance d'informations dans l'environnement véhiculaire que les véhicules recevront d'autres véhicules ainsi que l'infrastructure routière fixe pour soutenir l'application des C-ITS.

### 3.4 Système de sensibilisation à la coopération

#### 3.4.1 Aperçu du service de base

L'application conscience coopérative (CA, Cooperative Awareness), ou balise, est considérée comme l'une des applications les plus importantes pour le déploiement du premier jour du système VANET [59]. Il transmet périodiquement un message en temps réel appelé Beacons ou heartbeat qui contient des informations sur la position du véhicule, le mouvement du véhicule, les attributs de base du véhicule et les données des capteurs. Les véhicules seront en mesure de créer et de maintenir une connaissance mutuelle et d'appuyer la performance coopérative. Le message de balise est normalisé dans l'UE comme CAM (Cooperative Awareness Message) et aux États-Unis comme BSM (Basic Safety Message).

### 3.4.2 Message de sensibilisation à la coopération aux États-Unis

La CAM est générée dans la couche des installations sans aucun contrôle d'une application spécifique ou d'un cas d'utilisation à la couche d'application. Sa génération est basée sur la dynamique du véhicule entre 1 à 10 fois par seconde (1-10 Hz) et selon certains critères : le mouvement sur 4 mètres, la tête changeant de plus de 4° et la vitesse accélération/décélération de plus de 0,5 m/s.

La figure 3.9 montre le paquet CAM à transmettre avec les en-têtes PHY, MAC, LLC, SNAP, BTP et GeoNetworking (GN) qui ont une taille fixe. Si la CAM est transmise à haute fréquence (HF) lorsque le taux de mise à jour est de 1 à 10 Hz, les données de la CAM seront de 14 octets et elles seront de 90 octets si elles sont transmises à basse fréquence (LF) lorsque le taux de mise à jour est de 1 à 2 Hz. La sécurité ajoutera au maximum 222 octets [60], ainsi la taille de paquet résultante finira autour de 326 octets pour HF CAM et 402 octets pour LF CAM.

|               |               |               |                |               |              |               |              |              |
|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| PHY<br>header | MAC<br>header | LLC<br>header | SNAP<br>header | BTP<br>header | GN<br>header | CAM data      | MAC<br>trail | PHY<br>trail |
| 5             | 32            | 3             | 5              | 4             | 36           | 14(HF)/90(LF) | 4            | >1           |

Figure 3.9. Exemple d'un paquet CAM générique avec les tailles de chaque champ en octets

[61].

### 3.4.3 Le message de sécurité de base est UE

Le BSM est le message le plus central dans le dictionnaire SAE J2735 DSRC message set [5], qui est la base d'un ensemble diversifié d'applications de la sécurité et de l'efficacité de la circulation routière pour l'approche WAVE. Il sera diffusé avec une fréquence comprise entre 1 et 10 Hz en fonction du contexte de conduite et de l'état du canal sans fil (c.-à-d., Channel busy ratio).

La figure 3.10 montre la longueur du paquet pour un message BSM typique qui sera en moyenne de 105 octets avec les en-têtes de paquets fixes qui sont PHY, MAC, LLC, SNAP et WSM. La longueur de paquet BSM résultante avec l'ajout d'une surcharge de sécurité (222 octets) finira autour de 382 octets.

|            |            |            |             |            |             |           |           |
|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| PHY header | MAC header | LLC header | SNAP header | WSM header | BSM message | MAC trail | PHY trail |
| 5          | 26         | 3          | 5           | 11         | ~105        | 4         | >1        |

Figure 3.10. Exemple d'un paquet BSM générique avec les tailles de chaque champ en octets [61]

### 3.5 Les Systèmes normalisés de contrôle d'accès aux supports (MAC)

La couche MAC (Medium Access Control) joue un rôle crucial dans la régulation de l'accès au support sans fil commun, elle détecte l'état du canal occupé ou inactif, et réagit correctement lorsqu'une transmission a échoué. Il offre un accès équitable au canal des véhicules, de sorte que plusieurs véhicules partagent son efficacement. Dans un environnement véhiculaire, l'exigence la plus importante pour un MAC est d'assurer une opération décentralisée, sans nœud central en charge ou un coordinateur pour gérer l'accès au canal ou l'affectation des ressources. Dans ce cas, les nœuds véhiculaires sont capables de communiquer sans attendre l'association avec le nœud jouant le rôle de coordinateur. Parmi les technologies radio existantes, la simple technologie bien connue IEEE 802.11 [62] a été considérée comme la meilleure candidate pour soutenir les communications sans fil V2X. Son amendement IEEE 802.11p représente maintenant la solution de facto pour les communications C-ITS. Il est l'un des rares à être partagé entre l'architecture WAVE aux États-Unis et l'architecture des stations ITS dans l'UE.

Cette section donne un aperçu de la norme IEEE 802.11p ainsi que des défis posés par les contraintes et les particularités des VANETs.

#### 3.5.1 Fondations MAC IEEE 802.11p

##### 3.5.1.1 Établissement du réseau (topologie)

IEEE 802.11p [18] hérite des principales règles du standard MAC de référence 802.11 qui reposent sur le concept de Basic Service Set (BSS) en tant qu'ensemble de stations échangeant des données. La norme a spécifié deux types de BSS : les BSS d'infrastructure et les BSS indépendants (figure 3.11). Dans une architecture d'infrastructure le BSS est établi et annoncé par un Point d'Accès (AP) qui envoie périodiquement des messages de balise. Lorsqu'une station écoute la balise, elle peut rejoindre le BSS en trois étapes :

synchronisation, authentification et association. D'autre part, dans un BSS Indépendant (IBSS) (également appelé un réseau ad hoc), la communication directe entre les stations sans AP. Chaque station annonce l'existence de l'IBSS en transmettant des messages de balise pour permettre la synchronisation des stations.

L'infrastructure et les BSS indépendants peuvent être pris en charge par IEEE 802.11p, où leurs opérations d'authentification et d'association sont considérées comme trop longues dans un environnement mobile élevé tels réseaux de véhicules. Pour cela, un nouveau mode opérationnel a été introduit en 802.11p appelé Hors contexte de la SEE (OCB) qui évite la latence liée à l'établissement d'une SEE. En mode OCB, les véhicules qui ne sont pas membres d'un BSS sont autorisés à envoyer des données sans signalisation d'association et tout service d'authentification requis serait fourni par les couches supérieures à des fins de sécurité.

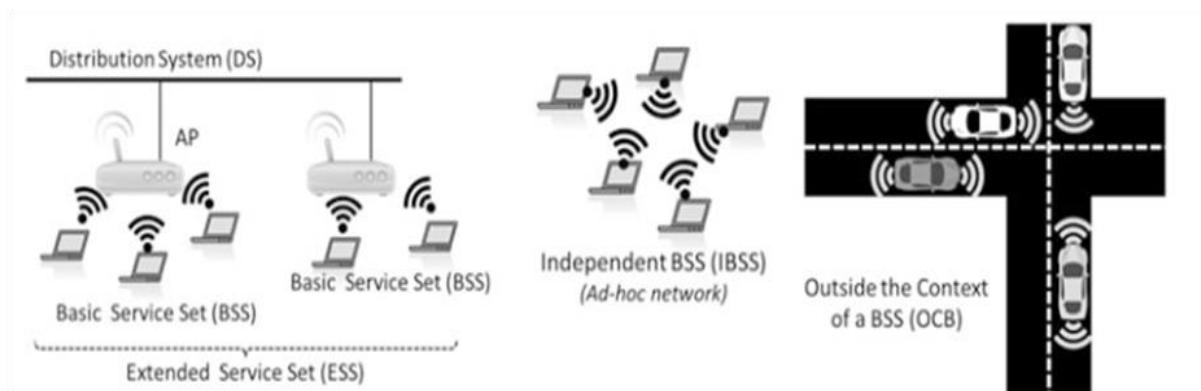


Figure 3.11. Modes IEEE 802.11 : mode infrastructure (BSS), mode ad-hoc (IBSS) et nouveau OCB. Les nœuds d'un VANET sont libres d'en utiliser un (BSS, IBSS, OCB); mais, OCB est spécifiquement pour l'accès moyen avec nœud en mouvement rapide [3]

### 3.5.1.2 La méthode d'accès au canal

. La couche MAC IEEE 802.11p gère trois types de messages : les messages de données, de gestion et de contrôle. Les messages de données contiennent les données utilisateur reçues de la couche d'application. Les messages de gestion (p. ex., beacon) permettent aux véhicules de récompenser leur environnement reçu des couches supérieures. Les messages de contrôle, p. ex., Request-To-Send (RTS), Clear-To-Send (CTS) et Acknowledgement (ACK), aident à l'échange de données et de messages de gestion entre les véhicules

L'IEEE 802.11p utilise la modification QoS de la couche MAC de l'IEEE 802.11e [63] avec la couche PHY de l'IEEE 802.11a [64] qui a été modifiée pour s'adapter à l'environnement des véhicules à grande vitesse. Le taux de transfert est réduit de moitié en 802.11p par rapport à l'original 802.11a, parce qu'il est conçu pour 10 MHz de large au lieu de 20 MHz, de sorte que le taux de transfert prendra les valeurs suivantes : 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 et 27Mbps.

Un système d'accès aux canaux distribués est le meilleur candidat pour les communications ad hoc dans IEEE 802.11p. Sa méthode MAC est appelée Accès amélioré aux canaux distribués (EDCA, Enhanced Distributed Channel Access), qui est la version améliorée du mécanisme de la fonction de coordination distribuée (DCF, Distributed Coordination Function ) utilisé en 802.11. EDCA s'appuie sur la technique CSMA/CA pour réduire la probabilité de collision entre plusieurs véhicules accédant au médium [14].

Son mécanisme est catégorisé comme des approches fondées sur la contention fondées sur la détection de porteuse (CS), les sauvegardes et les schémas de retransmission :

- **Détection de porteuse :** L'idée de base du CSMA/CA est « d'écouter avant de parler », ce qui signifie que la station commence par évaluer le canal avant la transmission pour déterminer s'il est occupé ou non. évaluation de canal libre (CCA, Clear Channel Assessment) est le nom de la surveillance du canal et il peut être effectué par des mécanismes physiques et virtuels. La détection de porteuse physique consiste à écouter le canal et si elle est libre pendant un certain temps, appelée espace d'interface d'arbitrage (AIFS, Arbitration Inter Frame Space ), l'expéditeur peut transmettre directement afin d'éviter les collisions directes. La détection des vecteurs physiques est assurée en contrôlant toute activité de canal effectuée par d'autres véhicules, en mesurant l'énergie dans l'environnement (détection d'énergie) et en reconnaissant le préambule du message. Le problème de terminal caché représente un grand défi pour le réseau ad hoc, le terminal caché est un véhicule qui se trouve hors de portée de l'expéditeur et en même temps suffisamment près du récepteur pour perturber la transmission en cours et provoquer une collision cachée. La détection de canal physique n'est pas suffisante pour éviter la collision cachée dans les réseaux 802.11. Par conséquent, la détection virtuelle est plutôt introduite par l'ajout d'un message de contrôle RTS/CTS préliminaire pour la poignée de main entre l'expéditeur et le récepteur pour réserver le support avant l'échange de données réel. Pendant la transmission, les autres véhicules ont placé un compteur appelé NAV pour reporter leur transmission jusqu'à ce que le canal soit ralenti. La NAV est décrémentée par

slot-by-slot pour suivre l'état du canal et une fois que la NAV atteint zéro, la transmission reprend [14].

- **Retrait** : Si le canal est occupé pendant l'AIFS, le véhicule attend que le canal soit à nouveau libre et effectue un retrait pour reporter son accès qui est une période de temps aléatoire générée à partir d'une fenêtre de contention (CW, Contention Windows). La QoS de l'EDCA utilise quatre catégories d'accès ou de files d'attente prioritaires différentes, à savoir la voix, la vidéo, le meilleur effort et l'arrière-plan où les messages de données sont placés. Chaque CA a des paramètres AIFS et de retrait spécifiques, c.-à-d. la priorité la plus élevée, le AIFS le plus court et le CW le plus petit, comme le montre le tableau 3.2. Sa procédure fonctionne comme suit : (1) tirer un nombre entier de l'intervalle  $[0, CW]$  avec une distribution uniforme (2) la valeur de backoff est calculée en multipliant ce nombre entier avec le temps de fente de la couche PHY utilisée, (3) lorsque le canal est détecté librement diminuer le recul d'un emplacement, (4) une fois le recul chacun la valeur de 0, envoyer immédiatement [14].
- **Retransmission** : Le protocole MAC de 802.11 est un protocole stop-and-wait et après avoir envoyé un message, l'expéditeur attendra un ACK. Si elle n'est pas reçue pour une raison quelconque, la retransmission du message sera lancée pour donner une autre chance à ceux qui veulent envoyer sur une période plus longue. Avant chaque tentative de retransmission, la taille de CW sera doublée par rapport à sa valeur précédente et une procédure de sauvegarde doit être invoquée. Après une transmission réussie ou lorsque le message a dû être jeté en raison de l'atteinte de la valeur maximale ( $CW_{max}$ ), le CW sera à nouveau réglé sur sa valeur initiale ( $CW_{min}$ ).

Tableau 3.2 Valeur par défaut de  $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$  et  $T_{AIFS}$  pour les différents ACs en 802.11p [14].

| AC    | $CW_{min}$ | $CW_{max}$ | $T_{AIFS}$ |
|-------|------------|------------|------------|
| AC_BK | 15         | 1 023      | 149        |
| AC_BE | 15         | 1 023      | 110        |
| AC_VI | 7          | 15         | 71         |
| AC_VO | 3          | 7          | 58         |

Avec le scénario de diffusion, le message est envoyé à chaque véhicule à l'intérieur de la gamme de transmission, pas à un récepteur spécifique et si les récepteurs retournent leurs ACKs, une collision multiple se produira. Par conséquent, ce type de communication n'utilise pas la plupart des mécanismes du CSMA/CA qui reposent sur la rétroaction du destinataire. Par conséquent, aucun ACK ne sera envoyé par le destinataire et l'expéditeur ne saura jamais si les véhicules environnants ont reçu le message de transmission correctement ou non. En

Outre, les messages de diffusion ne connaîtront jamais de retransmissions et de sauvegardes multiples, la fenêtre de contention sera toujours dans sa valeur initiale ( $CW_{min}$ ) et l'expéditeur effectuera une seule sauvegarde lorsqu'il détecte un canal occupé. Par conséquent, la prévention des collisions cachées n'est pas aussi efficace que dans la transmission monocast, comme le montre la figure 3.12.

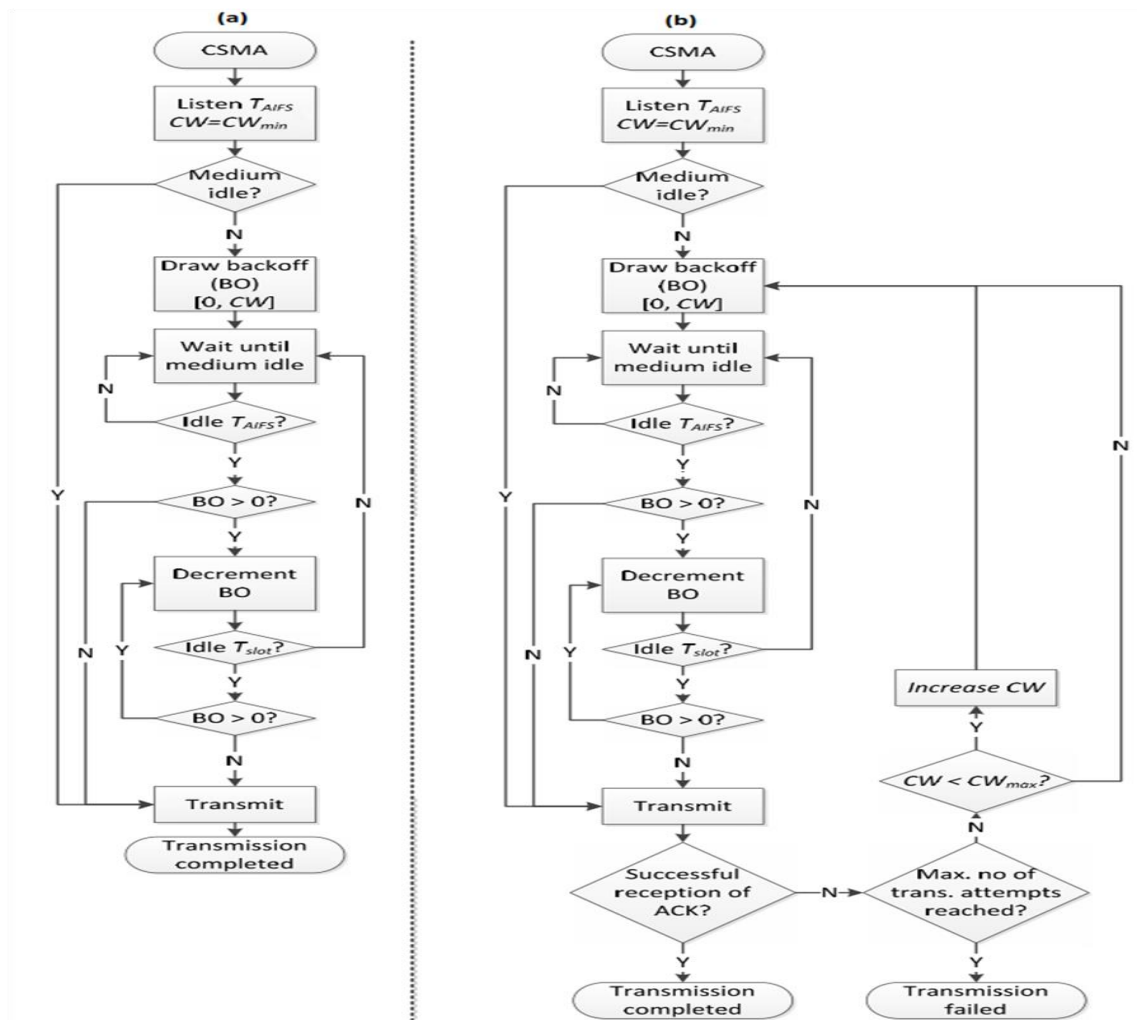


Figure 3.12 : Procédure d'accès aux canaux du CSMA ; a) mode de broadcast; b) mode de monocast [28].

### 3.5.2 Défis et exigences VANET

Le protocole MAC pour les VANET est exposé à de graves défis imposés par l'environnement véhiculaire et par la nature de la communication qui sont bientôt repris comme suit:

- **Exigences en matière de communication :** L'exploitation de MAC devrait satisfaire aux exigences en matière de sécurité routière qui diffèrent des autres applications en ce qui concerne (1) la fiabilité, (2) les retards et (3) l'équité. Les applications de sécurité exigent une grande fiabilité, ce qui signifie que les messages doivent être reçus correctement et un délai prévisible, ce qui signifie qu'un message doit être livré au destinataire avant une date limite prédéfinie [65]. Cette prévisibilité est parfois appelée temps réel, soit elle est essentielle avant un accident de la circulation comme dans le cas des DENMs, soit avant une date d'expiration où une version plus récente est disponible comme dans les CAMs. L'équité consiste à donner à tous les véhicules au moins une occasion d'accéder au canal au cours de chaque période [66].
- **Mobilité :** La grande mobilité des véhicules et l'évolution rapide de la topologie des réseaux entraînent une courte durée de vie des connexions entre les véhicules. Par conséquent, les protocoles CSMA/CA devraient soutenir cette fonctionnalité en étant décentralisés et sans connexion.
- **Problème de terminal caché :** On sait que le terminal caché se produit lorsqu'au moins trois véhicules, disons A, B et C, sont positionnés de façon à ce que B puisse entendre A et C, mais ces deux véhicules ne peuvent pas s'entendre. Pour cette raison. D'autre part, le protocole de Broadcast est la base de la circulation des véhicules, en particulier les communications de sécurité. Son principe est d'envoyer des paquets à tous les véhicules dans une gamme spécifique qui rend la rétroaction une tâche coûteuse et difficile sous la communication de Broadcast. Par conséquent, le mécanisme du CSMA/CA qui repose sur la rétroaction du récepteur et sur l'évitement des collisions n'est pas aussi efficace que prévu.
- **Évolutivité et congestion Problème :** Dans VANET, le nombre de véhicules ne peut pas être connu, prévisible et impossible à limiter. La seule information connue est que les conditions de trafic éparses sont courantes en dehors des heures de pointe et des conditions de trafic élevées avec plusieurs voitures concentrées dans une petite zone caractérisent plutôt les carrefours urbains en heures de pointe. Dans ce dernier cas, la

charge de traitement des données est considérablement lourde, en particulier avec les données de sécurité, telles que les messages de sensibilisation coopérative (CAMs) qui sont transmis fréquemment par les véhicules.

Cette situation provoque une forte congestion sur le canal et augmente le problème des collisions dans les VANETs : cette menace a conduit à l'utilisation de mécanismes de DCC [14].

### **3.6 Conclusion**

La normalisation joue un rôle crucial en facilitant l'adoption d'une technologie tout en permettant l'interopérabilité entre différents constructeurs automobiles dans différentes régions de l'UE, du Japon et des États-Unis. La normalisation des communications véhiculaires est un processus assez complexe et lent qui nécessite la collaboration étroite de plusieurs SDO en vue d'harmoniser les normes [14].

Le présent chapitre donne un aperçu global d'un ensemble cohérent de normes importantes pour la construction de stations ITS-S pour les VANETs et en général pour les C-ITS. Les normes les plus importantes du CEN/ISO/ETSI dans le cadre du mandat M/453 de la Commission européenne spécifiant les protocoles pour les VANETs avec les stations ITS et de la famille IEEE/WAVE sont résumées [67]. Ils ont été publiés pour couvrir différents aspects, par exemple, l'architecture de la station et de la communication, les messages, la gestion, les technologies d'accès, le réseautage, la sécurité et les aspects des installations.

# Chapitre 04

## Revue de la littérature des techniques MAC pour VANET

### 4.1 Introduction

Les applications de sécurité des véhicules dépendent fortement de la diffusion périodique de messages de sécurité (CAM/BSM) qui doivent être transmis jusqu'à une fois toutes les 100 ms. Ainsi, les applications de sécurité des véhicules peuvent répondre à leurs exigences de latence et de précision. Le MAC actuel de VANETs, qui est IEEE 802.11p, a une lourde responsabilité pour atteindre ces exigences. Il utilise le CSMA/CA et une procédure de retrait aléatoire pour réduire les collisions des cadres de survol. Toutefois, à forte densité de véhicules, le support sans fil peut rapidement devenir très encombré et les collisions entre les transmissions de trame peuvent se produire avec une probabilité élevée, ce qui entraîne des problèmes d'évolutivité et de fiabilité. En outre, en raison de cette nature périodique de la transmission, chaque véhicule démarrera ses transmissions de radiodiffusion lorsqu'il est allumé et, depuis lors, il gardera la génération de messages avec la même phase initiale [14]. Cela signifie également que si les transmissions de deux véhicules entrent en collision une fois, elles vont probablement entrer en collision encore et encore et puis un problème d'équité se pose parmi les véhicules dans un VANET. Les défis techniques liés à l'utilisation de la norme IEEE 802.11p MAC dans l'environnement VANET ont été abordés au chapitre 3.

Au lieu de l'amélioration normalisée pour faire face à ces défis par l'entremise de DCC, les problèmes de congestion de la couche MAC continuent d'être imposés et, par conséquent, d'autres améliorations sont encore nécessaires. Comme l'objectif principal de cette mémoire est de proposer des protocoles MAC évolutifs et fiables pour la diffusion périodique de messages de sécurité (CAM/BSM), il est important d'évaluer les propositions existantes. Pour cela, ce chapitre est entièrement consacré à une revue générale de la littérature de recherche relative au contrôle d'accès moyen dans les réseaux de véhicules. Les solutions choisies sont classées selon la technique d'accès aux canaux qu'elles utilisent, et les forces et les faiblesses de chaque classe de protocoles sont abordées [14].

Ce chapitre est organisé comme suit. La section 4.2 présente la taxonomie des principales approches de la littérature qui ont été proposées pour résoudre les problèmes de congestion de la couche MAC sur les réseaux de véhicules selon leur mode d'accès. La section 4.2.1 présente une étude des techniques MAC qui sont basées sur CSMA/CA de l'IEEE 802.11p pour VANET qui ont été récemment proposées dans la littérature, ainsi que leur classification selon certains critères. La section 4.3 traite des principales caractéristiques du protocole MAC à l'appui des exigences d'application de la sécurité routière dans le cadre des communications véhiculaires. Enfin, la section 4.4 résume le chapitre.

## 4.2 Taxonomie des propositions du MAC

De nombreuses variantes et alternatives MAC différentes ont été proposées afin d'améliorer les performances de la norme MAC actuelle (IEEE 802.11p) pour VANET. Par conséquent, la taxonomie peut aider à avoir une vision globale et une compréhension générale. Cependant, la classification n'est jamais strictement dichotomique et les types MAC mixtes peuvent être trouvés dans certaines propositions. La figure 4.1 présente la taxonomie proposée pour visualiser les principaux types de techniques MAC.

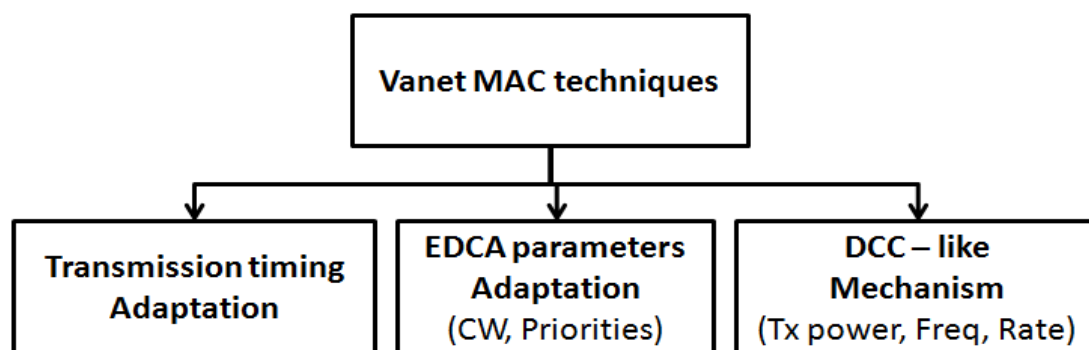


Figure 4.1 Taxonomie des techniques MAC pour les VANETs [14].

Au lieu des limites connues du CSMA/CA, elle devient la base de la majorité des MAC asynchrones proposées pour les VANETs. C'est grâce à sa simplicité, à sa nature distribuée, à son absence de coordinateur central et à son efficacité face aux changements de mobilité et de topologie. Cependant, ses faiblesses commencent à être importantes lorsque le canal devient congestionné. Par conséquent, l'amélioration du CSMA/CA est toujours logique. La classification des protocoles VANET MAC est effectuée selon leur mécanisme d'action. Ces mécanismes devraient être fondés sur l'estimation de la charge des canaux (estimation de la densité locale) et les coordonnées des véhicules comme la vitesse et la position des véhicules

et le temps d'envoi des paquets [14]. Ils peuvent être classés dans deux catégories pertinentes qui sont présentées comme suit :

- **Paramètres de l'EDCA Adaptation** : Les mécanismes de cette catégorie agissant toujours sur les paramètres du CSMA/AC (comme la fenêtre de contention, les priorités, etc.). Les chercheurs qui travaillent sur la question de l'accès moyen mentionnent que le TC et les valeurs prioritaires utilisées dans la norme ne sont pas optimales. L'adaptation de ces valeurs, qui peuvent être augmentées et diminuées en fonction de la densité des véhicules, a une tendance croissante dans le contexte du contrôle aléatoire des accès multiples. Un certain nombre d'algorithmes de retrait modifiés ont été proposés dans la littérature.
- **mécanismes similaires de DCC** : L'objectif de cette catégorie de MAC est d'éviter la congestion sur le canal en adaptant les paramètres de transmission tels que (1) la puissance transmise, (2) le taux de production, (3) le taux de transfert et (4) le calendrier de transmission. La norme européenne ETSI sur l'architecture des STI donne l'occasion d'adapter ces paramètres grâce à la conception de couches transversales qui ont été discutées dans Chap. 3. Il est à noter que le contrôle de synchronisation de la transmission est une technique prometteuse dans cette catégorie qui n'est pas encore normalisée. Il consiste à répartir le temps de début de transmission sur l'intervalle CCH afin d'atténuer les conflits après le passage au canal CCH. Cependant, la meilleure adaptation reste un problème ouvert et de nombreuses solutions ont été proposées [14].

#### 4.2.1 CSMA/CA asynchrone –MAC basés

Cette section présente une étude des techniques MAC qui sont basées sur CSMA/CA de l'IEEE 802.11p pour VANET qui ont été récemment proposées dans la littérature. Après cela, une classification est proposée selon certains critères.

##### 4.2.1.1 Investigation des solution proposées

Plusieurs solutions fondées sur un MAC semblable au CSMA ont fait l'objet d'études approfondies dans la littérature. Ils visent à améliorer la performance du balisage (diffusion périodique) dans le contexte des réseaux de véhicules. Les principales propositions sont les suivantes:

1. **PPCA [68]**, (Performance and Fairness in VANETs) : Le protocole est une méthode simple et efficace appelée Application de changement périodique de phase (PPCA, Periodic Phase Changing Application) visant à améliorer la diffusion périodique à un saut

en évitant les principales causes de collisions. Lorsque le véhicule est allumé, il commence à envoyer des paquets périodiques avec une phase relative  $F$  qui est initialisée aléatoirement et constante par la suite. S'il y a beaucoup de véhicules dans une portée de communication ou cachés les uns aux autres, la probabilité que plusieurs véhicules ont le même  $F$  augmentera. En conséquence, la probabilité que plusieurs véhicules choisissent le même nombre aléatoire à partir d'une fenêtre de contention donnée (CW) intervalle augmentera aussi, causant un grand nombre de collisions (directe et cachée). L'idée de la méthode PPCA est d'utiliser simplement une taille variable de la phase  $F$  au lieu d'une taille fixe, afin de répartir le temps d'envoi des véhicules concurrents.

2. **MBA [69]**, (A Modified Backoff Algorithm for Safety Message Delivery in IEEE 802.11p/WAVE Networks) : Cet article présente un algorithme de retrait modifié (MBA, Modified Backoff Algorithm) pour la diffusion de messages de sécurité dans les réseaux IEEE 802.11p/WAVE. Il aborde le problème de foule flash pour les messages de sécurité est encourue par commutation d'intervalle CCHI-SCHI. Le MBA proposé comprend deux phases : (1) Pour ajuster la taille de la fenêtre de contention, (2) Pour générer aléatoirement une valeur de sauvegarde non uniformément distribuée. Les deux phases sont exécutées en fonction des informations de voyage du véhicule telles que l'emplacement, la vitesse et la direction parmi les véhicules voisins et en utilisant des équations mathématiques.
3. **Geo-backoff [70]**, (Bigger is better - combining contention window adaptation with geo-based backoff generation in DSRC networks) : L'objectif principal de ce travail est d'améliorer les performances de communication dans le contexte de la sécurité des véhicules, en particulier à courte distance, où une communication fiable est essentielle à la sécurité et où les collisions de paquets sont indésirables. Selon l'analyse effectuée dans le cadre de ces travaux, le nombre important de transmissions simultanées se produit lorsque les véhicules choisissent le même compteur de recul, en particulier dans les environs, qui est le secteur le plus critique en matière de sécurité. Sur cette base, les auteurs introduisent un nouveau concept appelé géobackoff qui étudie une combinaison d'une CW croissante et de générer le recul DSRC en exploitant l'information géographique. Ainsi, la proposition met en œuvre deux contre-mesures : Premièrement, elle augmente la fenêtre de contention (CW) réduire la probabilité de transmissions simultanées en général lorsque la génération de backoff est basée sur un processus aléatoire uniformément réparti et n'est pas en mesure de distinguer entre proche et lointain. Deuxièmement, il exploite l'information géographique pour générer le compteur de recul actuel afin de réduire davantage la probabilité de collisions de paquets à courte portée (critique). Pour cela, il vise à générer

différents compteurs de recul pour les véhicules concurrents, qui sont situés dans le voisinage immédiat, en utilisant leurs positions actuelles.

4. **Adapt\_EDCA [71]**, (Enhancing VANET Performance by Joint Adaptation of Transmission Power and Contention Window Size) : Dans cet article, les auteurs présentent un nouveau schéma appelé Adapt\_EDCA pour l'adaptation dynamique de la puissance de transmission et de la fenêtre de contention (CW) la taille pour améliorer le rendement de la diffusion de l'information dans les réseaux ponctuels de véhicules. Sur la base des méthodes mathématiques proposées, les auteurs présentent un algorithme qui adapte à la fois la puissance transmise et la taille CW se produisent en fonction de la densité du véhicule local et de l'état du réseau, respectivement. L'adaptation devrait être effectuée périodiquement par des véhicules individuels pour assurer une mise à jour adéquate des deux paramètres. La puissance de transmission est adaptée en fonction de la densité estimée du véhicule local, ce qui permet d'atténuer les effets néfastes de la puissance de transmission élevée et d'augmenter la durée de la liaison de communication en cas de faible densité de trafic pour la communication entre véhicules. Alors que le CW est adapté en fonction du taux de collision instantanée afin de permettre la différenciation des services et d'assurer l'équité de l'accès aux canaux entre les véhicules. En outre, le régime proposé utilise les mêmes quatre catégories d'accès adoptées dans le mécanisme EDCA 802.11e pour la différenciation des services afin de fournir une qualité de service pour les messages de sécurité routière qui sont classés en fonction de leurs exigences en matière de délais d'urgence.
5. **RES [72]**, (Collision control of periodic safety messages with strict messaging frequency requirements) : Le document aborde le problème de collision lié aux messages de sécurité périodiques diffusés par le système IEEE WAVE/802.11p. Avec de petites tailles de fenêtres de contention stipulées dans l'amendement 802.11p, la couche MAC ne peut pas servir le grand nombre de véhicules concurrents en attente de transmission au début de l'intervalle de canal de commande (CCH). Le document propose une nouvelle approche pour réduire les collisions entre les BSM et améliorer la probabilité de livraison. Il fonctionne sur le contrôle au niveau de l'application de la phase de transmission de message sans modification standard de couche MAC. En outre, il ne nécessite pas d'adaptation de la transmission de fréquence en raison des exigences strictes de fréquence de messagerie pour les applications de sécurité. La méthode proposée est appelée Sélection aléatoire des époques (RES, Random Epoch Selection) qui effectue une manœuvre d'évitement sur la couche d'application pour laisser les applications périodiques, comme la

transmission BSM pour minimiser les collisions de messages qui seraient autrement difficiles à contrôler par la couche MAC. Il crée sa propre notion de créneaux de synchronisation, appelés « époques », d'une certaine longueur qui divise l'intervalle de synchronisation sur la couche MAC. Le protocole RES modifie dynamiquement les créneaux horaires de transmission BSM (époques) en fonction de l'utilisation observée des créneaux, il tente d'utiliser une époque qui est très peu susceptible d'être utilisée par d'autres véhicules. Il peut arriver que plusieurs véhicules choisissent la même époque, de sorte que pour éviter les collisions, ils effectuent un recul au début de l'époque. Une fois qu'il choisit une époque avec une transmission réussie, il la conserve jusqu'à ce qu'un autre véhicule soit observé pour entrer en elle.

6. **PTS [73]**, (New Adapted Back-off Scheme for Broadcasting on IEEE 1609.4 Control Channel in VANET) : Cet article propose un nouveau schéma MAC pour la diffusion dans la norme IEEE 802.11p/WAVE pendant les périodes CCH. Il aborde deux problèmes liés au contrôle de la congestion, le premier est le défi auquel fait face le mécanisme de retrait aléatoire et le second est le problème de la congestion des canaux suite à un changement de canal (de SCH à CCH). Lorsque la densité du véhicule est élevée, la probabilité que deux véhicules ou plus aient le même recul aléatoire augmente et entraîne une augmentation de la probabilité de collision. Juste après un commutateur de canal, un grand nombre de dispositifs WAVE sont trouvés dans une période de congestion de canal au-dessus de la moyenne entraînant un taux de collision élevé inattendu, connaissant comme "début de conflit d'intervalle". Cet article présente une approche appelée Répartition du temps de transmission par position (PTS, Position-based Transmission time Spreading) aidant les dispositifs à éviter ce problème dans le but de réduire la probabilité de collision et d'augmenter le taux de réception des paquets. L'idée de PTS est de diffuser le démarrage des temps de transmission en fonction des positions géographiques des véhicules pour leur donner la possibilité de diffuser leurs messages avec moins de pression et un grand air libre pendant un temps fixe tout en évitant la suppression des temps d'expiration. Avant le début de chaque intervalle CCH, les véhicules sont semés en temps opportun (disséminés) sur l'intervalle CCH.
7. Chaque véhicule est équipé d'un calendrier de semis contenant une cartographie entre les secteurs géographiques et les numéros de fente correspondants qui représente les heures de départ de transmission des véhicules. Chaque nœud calcule sa position géographique à l'aide des données GPS. Possédant le calendrier de semis, il peut savoir dans quel secteur il est sur et donc savoir dans quel créneau il peut commencer sa transmission. Chaque

véhicule, avant de transmettre son message, invoque la procédure de retrait avec la fenêtre de contention minimale pour minimiser la probabilité de collision dans le cas où deux ou plusieurs véhicules peuvent être situés dans le même secteur géographique. Cela est dû à une grande taille de secteur dans lequel de nombreux véhicules peuvent être localisés, ou aussi par les erreurs de position GPS. Le véhicule qui utilise le backoff standard doit attendre longtemps ( $T_a$ ) avant de pouvoir transmettre son paquet. Cette longue durée n'est plus justifiée si les temps de transmission des paquets sont assez bien répartis sur tout l'intervalle CCH. Le temps entre les paquets en raison du compteur de retrait est considéré comme un temps perdu. Ce temps est minimisé dans notre schéma proposé[14].

8. **CEB [74]**, (Un schéma d'optimisation de recul auto-adaptatif basé sur la prédiction de probabilité des balises pour les réseaux ad-hoc de véhicules) : Cet article propose un nouvel algorithme de recul appelé Retour à l'expiration après collision (CEB, Collision-Expiration Back-off) algorithme visant à améliorer les taux de réception des messages de balise. Dans un premier temps et afin de mieux comprendre les performances des messages de balises, les auteurs proposent un modèle de chaîne de Markov pour étudier la relation entre la probabilité de collision, la probabilité d'expiration et le CW minimum. Sur cette base, Le CEB est proposé avec la méthode suivante : Chaque véhicule ajuste la valeur de sa propre fenêtre de contention en fonction de la taille relative entre le nombre local de messages expirés ( $E_i$ ) pendant l'intervalle CCH et un seuil prédéfini ( $E_0$ ). Le seuil prédéfini  $E_0$  représente une valeur raisonnable des messages expirés acquis par l'étude analytique et un ensemble de simulations. Le CEB suppose que si  $E_i$  est plus petit que  $E_0$ , alors les paquets perdus dans les VANET sont dus à une collision, sinon, est due à l'expiration. Notez que le nombre local de messages expirés est calculé en collaboration, chaque véhicule échange une information sur l'expiration de sa balise actuelle à travers un champ dans l'en-tête MAC.
9. **DTB-MAC [75]**, (Un protocole MAC fiable basé sur des jetons pour la communication V2V en milieu urbain VANET) : Cet article propose un protocole MAC basé sur des jetons à faible coût, appelé Base de jetons dynamique-MAC (DTB-MAC, Dynamic Token-Based-MAC). Il combine l'accès aléatoire avec une technique de passage de jeton. L'approche anneau de jeton peut être mise en œuvre en plus de la norme IEEE 802.11p pour offrir un approvisionnement QoS en termes de bande passante réservée et de délai limité lors de l'exploitation sous de fortes densités. Par conséquent, DTB-MAC agit comme un schéma MAC d'accès aléatoire à faible densité de nœuds, alors qu'il déploie avec succès la méthode de passage de jetons à des densités de nœuds **élevées**. DTB-MAC

est un protocole décentralisé, ne nécessitant pas de synchronisation ou de surcharge supplémentaire pour le trafic de contrôle tout en utilisant le matériel standard IEEE 802.11p. Les véhicules qui résident temporairement à proximité de l'autre forment différents groupes (anneaux), et ils essaient de garder le jeton en circulation entre les membres de l'anneau autant que possible pour clarifier qui a le privilège d'accéder au canal. Le nœud contenant le jeton transmet sa balise et sélectionne un autre membre de l'anneau comme titulaire du jeton en tenant compte de son urgence de transmission, mesurée en fonction de la proximité du délai de livraison de la balise pour ce nœud. Au cours de ce processus, d'autres membres de l'anneau restent simplement à l'écoute des transmissions de balises vers l'extérieur lorsque leur tour de transmettre des balises a lieu; cela est détecté sur la base des données de jeton reçues, qui est calqué sur la balise elle-même.

10. **LIMERIC [76]**, (un algorithme de contrôle du débit de message linéaire pour les systèmes DSRC de véhicules) : Cet article définit un nouvel algorithme de contrôle de la congestion du débit de message linéaire appelé LIMERIC (Contrôle intégré du débit de message LInear), conçu pour la communication de sécurité DSRC V2V exclusivement pour le balisage. LIMERIC tombe dans la catégorie des algorithmes DCC adaptatifs qui agissent sur la différence entre le CBR mesuré et une cible CBR (signal d'erreur CBR). La cible CBR est calculée par une étude mathématique. LIMERIC est un algorithme distribué, exécuté indépendamment par chaque véhicule dans un quartier et il fonctionne sur un réseau simplifié où tous les véhicules peuvent mesurer la même charge de canal. Chaque véhicule peut adapter son propre taux de messages de façon linéaire en fonction de l'erreur CBR entière afin de conduire le CBR vers une limite donnée (la valeur cible CBR), donc LIMERIC vise à atteindre l'équité de sorte que tout le réseau converge vers le même objectif de taux de messages agrégés. Il fournit une amélioration significative par rapport au comportement de convergence de cycle limite inhérent aux algorithmes de contrôle binaire traditionnels.
11. **VAR [77]**, (VANET Adaptive Beaconing Based on Fuzzy Logic) : Le document propose un schéma intelligent appelé basé sur la logique floue VANET Balise adaptative (VAB, VANET Adaptive Beaconing) qui ajuste le taux de balise en fonction de la logique floue. Le système utilise trois facteurs de réglage, à savoir le temps d'occupation des canaux (CBT, channel busy time), la mobilité et le taux de livraison des paquets (PDR, packet delivery ratio). Ces facteurs sont pris comme des intrants pour générer le rang de congestion comme une sortie. Selon ce classement de la congestion produit par le système

logique flou et le taux de balise actuel (CBR, current beacon rate) le taux de balise suivant (NBR, next beacon rate) est déterminé par le mécanisme de contrôle du taux. La performance du protocole VAR est évaluée à la fois en environnement routier et urbain.

12. **RBRC [78]**, (Risk controlled beacon transmission in V2V communications) : Ce document propose un protocole de balise adaptative basé sur les priorités à la couche MAC pour les communications de véhicules qui donne un taux de balise plus élevé pour les véhicules à haut risque. La proposition s'appelle Protocole de contrôle du taux des balises fondé sur le risque (RBRC, Risk-based Beacon Rate Control Protocol), elle ajuste dynamiquement le taux de transmission des balises (balise R) pour chaque véhicule, en fonction du risque que ce véhicule représente pour les véhicules environnants. Ce risque est calculé en fonction du mouvement du véhicule, du temps et de la probabilité qu'un véhicule entre en collision avec des véhicules voisins. Le temps total de collision d'un véhicule avec un autre est indiqué par ( $t_{coll}$ ) qui peut être divisé en trois parties. (1) le temps du système de communication ( $t_s$ ) nécessaire pour qu'une voiture communique avec les véhicules environnants, (2) le temps de réaction ( $t_{React}$ ) nécessaire pour qu'une voiture prenne une décision sur les actions futures, et (3) l'intervalle de freinage ( $t_{brake}$ ), le temps qu'il faut au véhicule pour ralentir ou prendre des mesures d'évitement. Les véhicules qui ont une plus grande  $t_{coll}$  transmettent à un taux de balise inférieur et vice-versa. Cela réduit la probabilité de congestion des voies pour les véhicules hautement prioritaires - ceux qui sont jugés à risque. Le programme détermine un taux de transmission des balises plus élevé pour les véhicules entre 1 et 20 Hz et l'étude d'évaluation prouve qu'il peut conduire à des améliorations significatives de la RDP et des performances du réseau, tout en améliorant la sécurité de chaque véhicule. Sur la base de ces résultats, les auteurs recommandent que le protocole de débit adaptatif de 20 Hz soit inclus dans les futures normes.
13. **BMSF [79]**, (Un protocole MAC optimisé pour la diffusion de messages de sécurité dans les AVNET) : cet article propose une méthode de diffusion MAC optimisée appelée Mécanisme de diffusion des messages de sécurité (BMSF, Broadcast Mechanism For Safety Messages) pour la coexistence des messages de balise et des messages d'urgence et pour résoudre le problème de la concurrence de transmission entre les deux types de messages. Il considère le mécanisme de recul de l'accès aux canaux en utilisant un modèle de chaîne de Markov saturé unidimensionnel (1-D) pour décrire le mécanisme de recul de la diffusion de messages de sécurité. Il utilise également une méthode de contrôle auto-adaptative de la génération de messages pour les messages de balises afin de résoudre le

problème de congestion des canaux causé par la forte densité de trafic dans les VANET. L'algorithme de proposition utilise le CBR, comme paramètre d'évaluation qui peut refléter directement l'état de charge du canal, pour optimiser le mécanisme de recul et adapter le taux de génération de balises.

#### 4.2.1.2 Classification

La section précédente présente différents protocoles basés sur un MAC de type CSMA qui vise à améliorer l'efficacité de la transmission en adaptant les paramètres de transmission de la norme IEEE WAVE/802.11p [14]. Cette section donne une classification des protocoles proposés en fonction des paramètres de transmission présentés comme suit :

- **Adaptation de CW et priorité d'accès :** Ce sont les deux paramètres principaux de l'EDCA qui est le schéma d'accès aux canaux distribués utilisé pour la communication véhiculaire.
- **Débit de paquets :** Ou l'adaptation du débit de balise est également utilisée pour réduire le nombre de messages de sécurité transmis dans un réseau dense, en supposant la relation entre la haute densité et la vitesse réduite dans le trafic automobile.
- **Puissance de transmission :** Le contrôle de la puissance de transmission a un impact important sur le nombre de nœuds cachés qui peuvent augmenter la réutilisation spatiale, et donc la capacité des canaux, dans un réseau congestionné.
- **Temps de transmission :** la répartition du temps d'accès à la transmission sur le CCH est l'un des paramètres attrayants utilisés pour éviter la congestion dans le canal.
- **L'adaptation est basée sur certains paramètres qui sont :** l'estimation de la densité locale, l'estimation de la charge de canal (CBR), la coordination des véhicules (position et vitesse). L'objectif est d'augmenter l'efficacité de la IEEE 802.11p diffuse des communications.

Le tableau 4.1 présente une classification des approches proposées présentées dans la section précédente en fonction des paramètres de transmission et des paramètres d'adaptation.

Tableau 4.1 Classification des protocoles MAC de type CSMA [14].

|                             | paramètres d'Adaptation                              |                                               |         | paramètres de Transmission |                            |               |                 |                       |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|
|                             | Estimation<br>de la<br>Densité<br>Local<br><br>/ CBR | Les véhicules<br>Coordonnent<br>l'information |         | Edaptation<br>CW           | Accede<br>À la<br>priorité | Tx.<br>Timing | Tx<br>puissance | Traif<br>de<br>Paquet |
|                             |                                                      | Position                                      | Vitesse |                            |                            |               |                 |                       |
| <b>PPCA [56]</b>            | X                                                    |                                               |         |                            |                            | X             |                 |                       |
| <b>MBA [57]</b>             | X                                                    |                                               |         | X                          |                            |               |                 |                       |
| <b>Geo-backoff<br/>[58]</b> |                                                      | X                                             |         | X                          |                            |               |                 |                       |
| <b>Adapt_EDCA<br/>[59]</b>  | X                                                    |                                               |         | X                          | X                          |               | X               |                       |
| <b>RES [60]</b>             | X                                                    |                                               |         |                            |                            | X             |                 |                       |
| <b>PTS [61]</b>             |                                                      | X                                             | X       | X                          |                            | X             |                 |                       |
| <b>CEB [62]</b>             | X                                                    |                                               |         | X                          |                            |               |                 |                       |
| <b>DTB-MAC<br/>[63]</b>     | X                                                    |                                               |         |                            |                            | X             |                 |                       |
| <b>LIMERIC<br/>[64]</b>     | X                                                    |                                               |         |                            |                            |               |                 | X                     |
| <b>VAR [65]</b>             | X                                                    |                                               |         |                            |                            |               |                 | X                     |
| <b>RBRC [66]</b>            |                                                      | X                                             | X       |                            |                            |               |                 | X                     |
| <b>BMSF [67]</b>            | X                                                    |                                               |         | X                          |                            |               |                 | X                     |

### 4.3 Discussion

Le CSMA de la norme IEEE 802.11p est une technique MAC basée sur la contention adoptée pour VANET en raison de sa simplicité, de sa dynamique où les mouvements des véhicules n'imposent aucune reconstruction en raison des changements de topologie du réseau ainsi que de son mode asynchrone. Cependant, ce mécanisme de communication basé sur la contention a beaucoup de limitations qui endommagent la fiabilité de la transmission des données de sécurité dans la communication DSRC [14].

Dans la section précédente, plusieurs solutions basées sur un MAC de type CSMA ont été étudiées en profondeur dans la littérature pour améliorer la performance du balisage dans le contexte des réseaux de véhicules. Ils étudient l'impact de l'adaptation des paramètres de transmission : les paramètres EDCA tels que la fenêtre de contention, les priorités et les mécanismes de type DCC tels que la puissance transmise, le taux de génération des balises, le taux de transfert et le calendrier de transmission. Cette adaptation est basée sur la densité de trafic, la charge de canal et la coordination des véhicules, où l'objectif est d'augmenter l'efficacité des émissions IEEE 802.11p.

L'adaptation du paramètre  $CW_{min}$  est l'approche la plus intéressante dans le contexte d'un système de balisage. Cette adaptation peut consister à augmenter ou à diminuer la  $CW_{min}$  en fonction de la densité du réseau. Les chercheurs qui se sont penchés sur la question du recul affirment que la valeur  $CW$  utilisée dans la norme n'est pas optimale. À cet égard, un certain nombre d'algorithmes de retrait modifiés ont été proposés dans la littérature. Ces mécanismes devraient tenir compte de la taille optimale de la fenêtre de contention. L'augmentation de la taille de la balise peut entraîner un problème d'expiration; de plus, la diminution de sa taille peut entraîner une augmentation du nombre de collisions. Ainsi, obtenir un bon équilibre entre ces deux questions reste un problème difficile [14].

Utilisation de différents canaux Les priorités d'accès permettent d'affecter différentes périodes d'écoute/détection et différents intervalles de temps de sauvegarde aux paquets de données. Il pourrait diminuer les collisions survenant en raison du fait que plusieurs noeuds choisissent la même valeur de retrait aléatoire discrète. Cependant, les quatre niveaux de priorité différents appelés catégories d'accès (AC, access categories) de la norme 802.11p ne pouvaient pas supporter une forte densité de véhicules. Notez que l'utilisation d'un  $CW$  adaptatif et de mécanismes d'accès prioritaire ne résout pas complètement le problème

d'évolutivité de l'IEEE 802.11 dans les communications véhiculaires. Ainsi, pour garantir la fiabilité de fonctionnement du système DSRC, le mécanisme efficace de type DCC devrait être utilisé.

L'idée principale du mécanisme de type DCC est de réduire la charge sur les canaux de communication partagés et de coordonner l'accès équitable aux canaux entre les véhicules dans le contexte de VANET. Pour cela, les algorithmes de contrôle de la congestion adoptent généralement une méthode d'ajustement dynamique d'un ou plusieurs paramètres de transmission DCC [14].

Le réglage de la génération de fréquence des balises est la solution la plus évidente pour contrôler la charge des canaux dans un environnement congestionné dans les réseaux de véhicules. Il peut être réalisé de manière simple grâce à des mécanismes inter-couches. Dans un environnement très dense, les véhicules ont généralement de faibles vitesses et la fréquence de balisage pourrait être réduite, ce qui est un outil puissant de contrôle de la congestion. Cependant, une telle réduction devrait être conçue avec soin car envoyer moins de messages peut facilement avoir pour effet d'endommager les performances des applications de sécurité au lieu de les améliorer. Les conséquences de cet ajustement sur chaque application de sécurité devraient être prises en compte, car on ne sait toujours pas si toutes les applications pourraient faire face à une telle réduction. En outre, la fréquence maximale de ces messages est encore un problème de recherche ouverte, Au lieu d'anticiper une valeur maximale entre 5Hz et 10Hz.

Réglage La puissance de transmission est une autre solution qui peut être adoptée pour réduire la congestion sur le canal en limitant le nombre de véhicules voisins tout en maintenant un réseau connecté. C'est l'une des techniques les plus étudiées parmi les mécanismes de type DCC. Elle peut aider à réduire les interférences et à augmenter la probabilité de réception des véhicules à proximité [80]. Toutefois, ce mécanisme doit tenir compte des seuils de propagation de l'information imposés par les applications de sécurité. Si la communication à un seul saut ne pouvait pas atteindre ce seuil, alors la diffusion à plusieurs sauts doit être adoptée. Par conséquent, non seulement le retard est accru, mais le problème de congestion est amplifié. En outre, ce mécanisme nécessiterait de contrôler l'unité radio de transmission chaque fois, ce qui s'est avéré très difficile et expansif selon la capacité des dispositifs IEEE 802.11 existants. Le contrôle de la puissance de transmission peut être très efficace dans

certains cas, mais il ne peut pas être considéré comme une solution générale pour les communications VANET.

Le contrôle de la synchronisation de la transmission consiste à répartir la densité des transmissions sur l'intervalle CCH, ce qui est une solution efficace pour éviter toute controverse sur le canal de transmission. Toutefois, l'intervalle optimal de propagation devrait être conçu avec soin en prenant en considération le nombre de véhicules en lice, car un grand intervalle avec peu de concurrents augmentera le problème d'expiration de la balise de délai de transmission. D'autre part, un petit intervalle avec un grand nombre de concurrents conduit à augmenter la probabilité de collisions [14].

Le tableau 4.1 montre que deux mécanismes d'adaptation CW et l'adaptation du taux de paquets ont reçu beaucoup d'attention de la communauté de recherche VANET. D'autre part, l'adaptation physique du sens porteur et l'ajustement de la puissance de transmission n'est que rarement pris en compte, malgré l'amélioration significative qu'ils pourraient apporter. Ils ont une faible efficacité et pourraient même avoir l'effet inverse et réduire les performances des applications de sécurité sous haute densité de nœuds. Par contre, le contrôle de synchronisation de la transmission est une technique prometteuse pour les mécanismes MAC basés sur le CSMA afin de réduire la probabilité de collision et d'augmenter le taux de réception des paquets. C'est l'argument principal de la proposition de cette mémoire. À noter que l'adaptation de ces paramètres de transmission est généralement réalisée en fonction de l'estimation de la densité locale et du CBR.

## 4.4 Conclusion

L'amélioration de la sécurité routière dans les VANET nécessite des protocoles MAC efficaces et fiables. Ainsi, ce chapitre présente un aperçu complet des protocoles MAC pour les réseaux de véhicules qui existent dans la littérature.

Comme observation générale, Les protocoles de type CSMA sont adaptés aux paquets événementiels, en raison de leur fonctionnement plus simple et de leur capacité à prendre en charge des tailles de paquets variables et il n'a pas besoin de synchronisation entre les véhicules. Cependant, le problème survient lorsque plusieurs véhicules décident de transmettre simultanément, seule une fraction du temps est consacrée à des transmissions réussies, tandis que le reste est gaspillé en raison des collisions directes ainsi que la collision cachée. Le risque augmente avec l'augmentation de la densité des véhicules et le problème

devient critique avec les paquets déclenchés par le temps tels que le balisage lorsque tous les véhicules commencent la transmission en même temps périodiquement. Par conséquent, le mécanisme prometteur de résolution des collisions doit être utilisé et combiné avec l'adaptation du mécanisme de recul, comme l'adaptation du taux des balises et l'adaptation du temps de transmission **[14]**.

# Chapitre 5

## Contribution: Random Beacons Spreading MAC (RBS MAC)

### 5.1 Introduction

La grande revue du travail connexe présentée dans le chapitre des aperçus permet de souligner l'avantage et les limites du protocole MAC existant pour baliser les communications. En outre, il aide à montrer la nouveauté de l'approche MAC proposée dans cette mémoire. Ce chapitre présente un nouveau protocole MAC appelé Balises aléatoires Diffusion MAC (RBS MAC, Random Beacons Spreading MAC). Il est développé spécifiquement pour VANET pour soutenir efficacement les communications de sécurité à un saut et balise sur le CCH. RBS MAC s'attaque au problème de conflit de début d'intervalle causé par le changement de canal IEEE 1609.4 de SCH à CCH. Il vise à réduire les collisions de transmission en combinant certains mécanismes MAC et en gardant la simplicité sans frais généraux. Par conséquent, ce chapitre présente une étude de simulation à travers un simulateur de réseau pour confirmer la constatation analytique et pour évaluer la performance de RBS MAC par rapport à certains protocoles MAC célèbres [14].

Le chapitre est organisé comme suit. La section 5.2 donne un aperçu des bases du RBS MAC. La section 5.3 présente une étude de simulation qui présente les outils de simulation, les protocoles MAC concurrents à comparer avec le RBS MAC, les paramètres de simulation et les mesures de performance utilisées pour l'évaluation des protocoles MAC ainsi que les résultats de simulation. Enfin, une conclusion est présentée à la section 5.4.

### 5.2 Le protocole RBS MAC

#### 5.2.1 L'idée principale

Les collisions entre les messages de sécurité diffusés périodiquement pour le système IEEE Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) sont laissées au contrôle d'accès moyen (MAC) 802.11p de l'IEEE pour résoudre les petits problèmes de taille de fenêtre utilisés dans

l'amendement 802.11p. Cependant, le MAC n'offre qu'une solution limitée au problème de collision, en particulier vers le début de l'intervalle CCH. Récemment, diverses propositions dans la littérature, étudier l'idée d'étendre l'accès au canal des émetteurs pendant l'intervalle CCH pour améliorer les mécanismes de commutation [68],[72],[73],[81], avec différents mécanisme de rendez-vous synchrone ou asynchrone, afin d'éviter le problème de contestation. Ces mécanismes proposent de légères modifications à la norme IEEE 1609.4 pour l'améliorer et aux procédures MAC capables d'atténuer l'influence du mécanisme de commutation. Cependant, ces propositions n'examinent pas la répartition optimale de l'accès aux canaux en fonction de la charge des canaux, ce qui évite les délais inutiles entre la transmission réussie sous un réseau épars et une dispute en cas de réseau dense.

Cette section propose un nouveau MAC d'accès aléatoire évolutif pour les réseaux de véhicules dans le but d'éviter le problème de conflit de début d'intervalle qui se produit lors du passage au CCH. Il vise à fournir un accès de diffusion en un seul point sur le CCH et tente de minimiser le risque de collision directe et cachée.

La proposition est appelée Carrier Sense Pour MAC à Accès Multiple Aléatoire Slotted-ALOHA (RBS MAC, Random Beacons Spreading MAC) qui tente de combiner l'avantage et la simplicité des deux mécanismes MAC : CSMA et Slotted-ALOHA. Il peut être intégré en toute transparence dans IEEE 1609.4 sur le dessus de la norme IEEE 802.11p.

Son idée principale est de répartir le temps de transmission des balises des véhicules concurrents sur une fenêtre d'épandage (SW , Spreading Window) de l'intervalle CCH. Par conséquent, la période CCH est pratiquement répartie de la même manière que la méthode MAC S-ALOHA où les emplacements virtuels représentent les possibles temps de début de transmission (STT, Start of Transmission Times) des balises[14].

Le processus de propagation des balises est le fait d'assigner aléatoirement une STT du SW à chaque balise. Par conséquent, avec ce mécanisme RBS MAC vise à assurer une utilisation plus efficace de la bande passante limitée disponible. Par conséquent, une analyse analytique est effectuée afin de calculer la taille SW optimale en fonction du nombre de véhicules en lice. À l'aide d'un modèle mathématique, il est possible de prédire le rapport de contention, la probabilité de transmission et de collisions réussies et le temps perdu entre la première et la dernière transmission réussie.

Le protocole RBS MAC se compose de deux parties : (1) la diffusion des balises du véhicule : au début de chaque intervalle CCH, les balises sont réparties dans le temps sur le SW (un STT est attribué aléatoirement pour chaque balise). Une telle solution peut être activée par une modification mineure à la norme IEEE 1609.4; et (2) accès moyen : lorsque le STT est atteint, un véhicule a une chance d'accéder au canal, et tente de transmettre en utilisant le CSMA/CA de l'IEEE 802.11p classique[14].

### 5.2.2 Modèle de système

Le système est formé par des véhicules qui peuvent transmettre, recevoir et transmettre des messages de balise à / de véhicules dans son unique saut de l'autre. Les liaisons de communication sont supposées être symétriques, et chaque véhicule dans le réseau a une même portée de communication, qui est fixée à une valeur spécifiée. La portée de détection du support est supposée être la même que celle des communications. Le système utilise le protocole MAC tel que défini dans IEEE 802.11p/1609.4, et fonctionne dans un CCH qui est utilisé pour la transmission d'un message de balise, également connu dans l'architecture WAVE comme un (BSM) et (CAM) dans l'architecture ETSI. Ces messages sont toujours transmis au début de chaque intervalle CCH. Tous les véhicules transmettent des paquets de balises de même taille, et à la même vitesse de transmission  $\lambda$ , et ils commencent en même temps instantané. On suppose que la durée de transmission entre deux balises successives est égale à l'intervalle CCH qui est raisonnable pour limiter la durée de vie d'un message de balise à un intervalle CCH. La synchronisation temporelle au niveau de la couche MAC est également requise par notre schéma, et elle peut être réalisée dans des déploiements réels en s'appuyant sur le temps universel coordonné (UTC, Coordinated Universal Time), qui peut être facilement obtenu en utilisant des horodateurs GPS.

L'intervalle CCH est divisé en un nombre variable de STT virtuels où leurs frontières et leur taille sont calculées au début de chaque intervalle CCH en fonction de la taille de la balise et du taux de transmission de la balise... Noter que le  $STT_{CCH} = \{i / 0 \leq i \leq N\}$ , représente le jeu de STT de l'intervalle CCH et le jeu de logiciels en fait partie ( $|SW| \leq |STT_{CCH}|$ ), comme le montre la Figure 5.1.

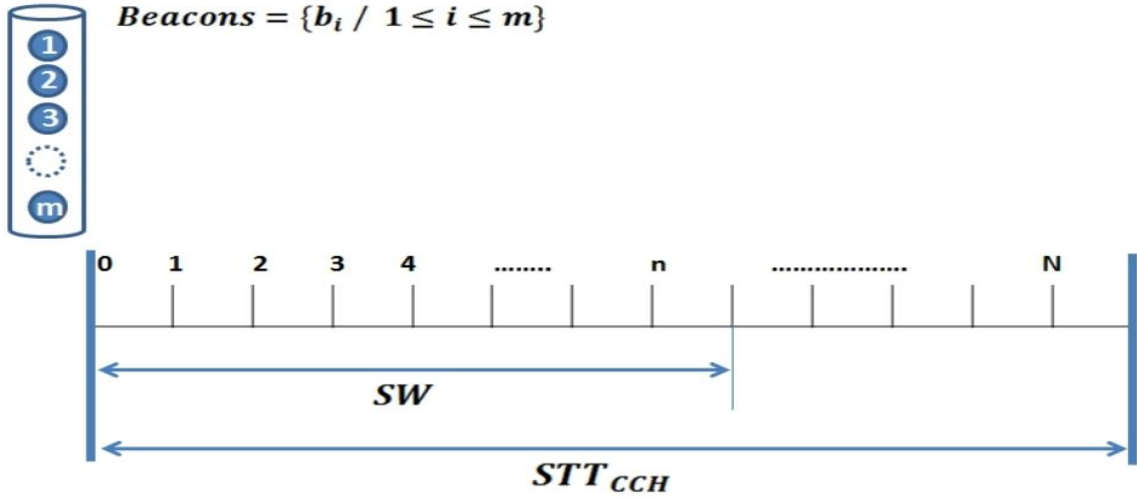


Figure 5.1. Le découpage du temps virtuel et la taille du SW par rapport à l'intervalle CCH [14].

Pour cela, le protocole définit la durée totale de transmission (TTD) des balises qui consiste en un temps de protection ( $T_{Guard}$ ) dont l'intervalle de protection qui tient compte du retard de propagation et de l'inexactitude de synchronisation et une période AIFS et la fenêtre de contention minimale (CWmin) l'intervalle et le temps de transmission de la balise (TBeacon). Notez que le CWmin est utilisé pour assurer la concurrence entre les véhicules ayant choisi le même STT, quand ils arrivent à la couche MAC. Toutefois, avec S-ALOHA, le TTD est composé uniquement de TBeacon. (Voir Figure 5.2). La durée de la valeur, utilisée par RBS MAC, peut être ajustée selon la valeur CW et la taille de balise choisie comme suit :

$$TTD = T_{Guard} + T_{AIFS} + T_{CW} + T_{Beacon}.$$

Après que le canal est fendu virtuellement et la taille de  $STT_{CCH}$  est calculé comme suit :

$$|STT_{CCH}| = \left[ \left( \frac{1}{\gamma} \right) \text{div } TTD \right]$$

Où fait  $\gamma$  référence au taux de transmission des balises (notez que  $\left( \frac{1}{\gamma} \right)$  est égal à l'intervalle CCH).

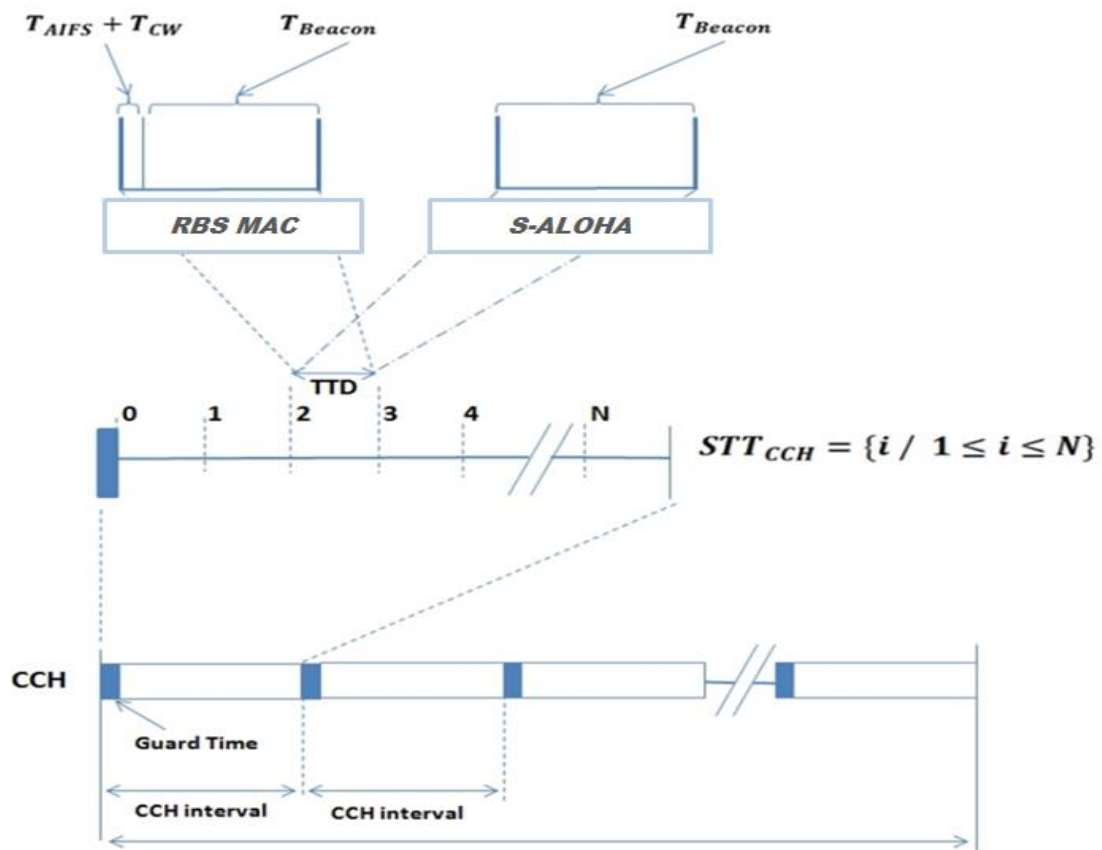


Figure 5.2 Intervalle de synchronisation, intervalle de garde, intervalle CCH et intervalle TTD[14].

### 5.2.3 Répartition du temps de transmission de départ avec IEEE 1609.4

L'idée proposée consiste à répartir aléatoirement la balise, sur la base du principe S-ALOHA, tout au long de l'intervalle de temps SW ; l'objectif principal est d'empêcher les tentatives d'accès simultanées aux canaux. La taille du logiciel peut couvrir tout l'intervalle CCH, ou une partie de celui-ci, de sorte qu'il peut varier dans la plage suivante :  $SW \in [0, |STT_{set}| - 1]$ . RBS MAC ajuste le logiciel en fonction du nombre de voisins ou de la densité locale (LD, Local Density) dans une plage de deux sauts, où les messages de balise est utilisé comme notification. Au début de chaque intervalle CCH, chaque véhicule met à jour la taille de son SW en fonction de la densité locale (voir Figure 5.4). Dans la section suivante, nous montrons comment déterminer la valeur optimale du logiciel qui permet d'atteindre l'équilibre correct entre les messages en collision et expirés. Lorsque la balise arrive à la couche IEEE 1609.4, elle est répartie aléatoirement sur le SW avant d'être

transmise à la couche MAC (voir Figure 5.4 et Figure 5.3 (a)(b)). L'allocation STT et la durée d'attente avant le temps de transmission (Temps d'Attente) sont définies comme suit :

$$\forall b \in Beacons, \exists STT \in STT_{CCH}:$$

$$STT = Random(0, SW) \text{ and } WaitingTime(b) = STT \times TTD.$$

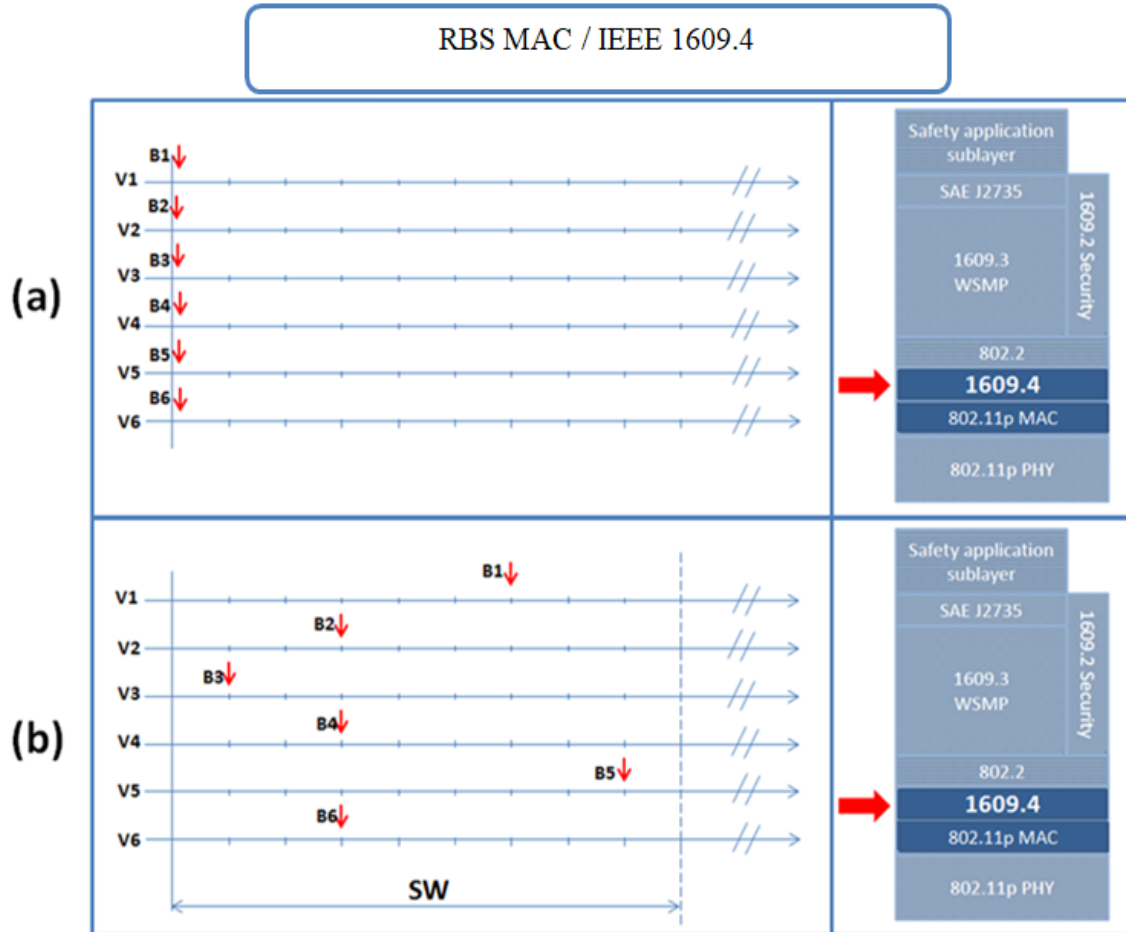


Figure 5.3. Fonctionnement du MAC du RBS : a) les balises arrivent simultanément à la couche IEEE 1609.4; b) les balises sont réparties sur le SW [14].

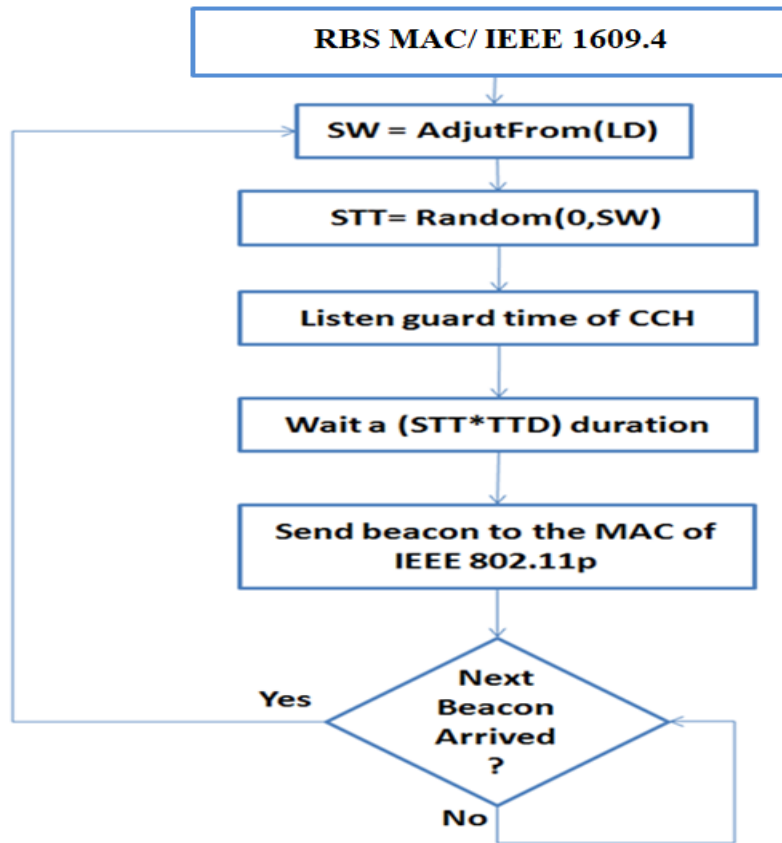


Figure 5.4. La méthode RBS MAC pour le balisage : la procédure IEEE 1609.4 [14].

#### 5.2.4 Accès moyen à l'aide du CSMA/CA de l'IEEE 802.11p

Lorsqu'il est temps pour un véhicule d'accéder au canal et de tenter de transmettre, la balise est transmise à la couche MAC (c.-à-d. IEEE 802.11p). Il peut arriver que plusieurs balises entrent dans le même VSTT, ce qui signifie qu'elles se feront concurrence pour l'accès aux canaux. Avant de transmettre le paquet de balise, chaque véhicule invoque la procédure de retrait en utilisant l'intervalle de la fenêtre de contention minimale ( $CW_{min}$ ) pour réduire la probabilité de collision entre eux. Le compteur back-off est décrémenté uniquement si le canal a été inactif pour une fente physique ( $\emptyset$ ); sinon, le compteur est gelé jusqu'à la fin de la transmission de courant. Lorsque le compteur atteint zéro, le véhicule émet sa balise (voir la figure 5.6). S'il n'y a pas de prétendants pour le STT sélectionné, le véhicule envoie avec succès sans aucune contestation; sinon, il sera confronté à un risque de collision [14]. (voir la figure 5.5).

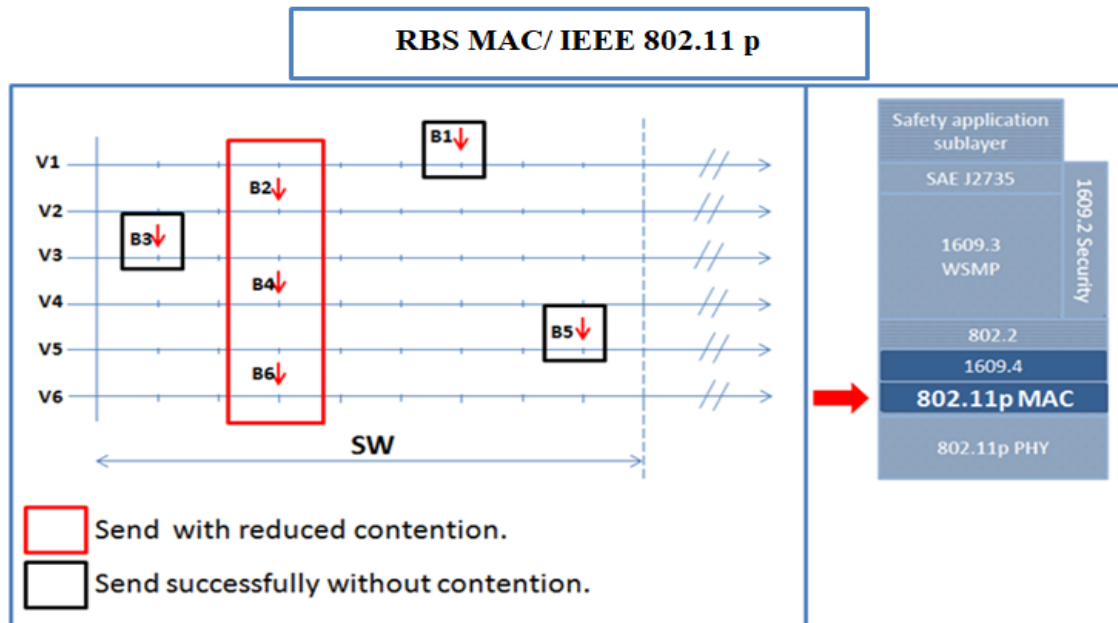


Figure 5.5. Fonctionnement du RBS MAC : balises arrivant à la couche IEEE 802.11p et transmises par une méthode CSMA.

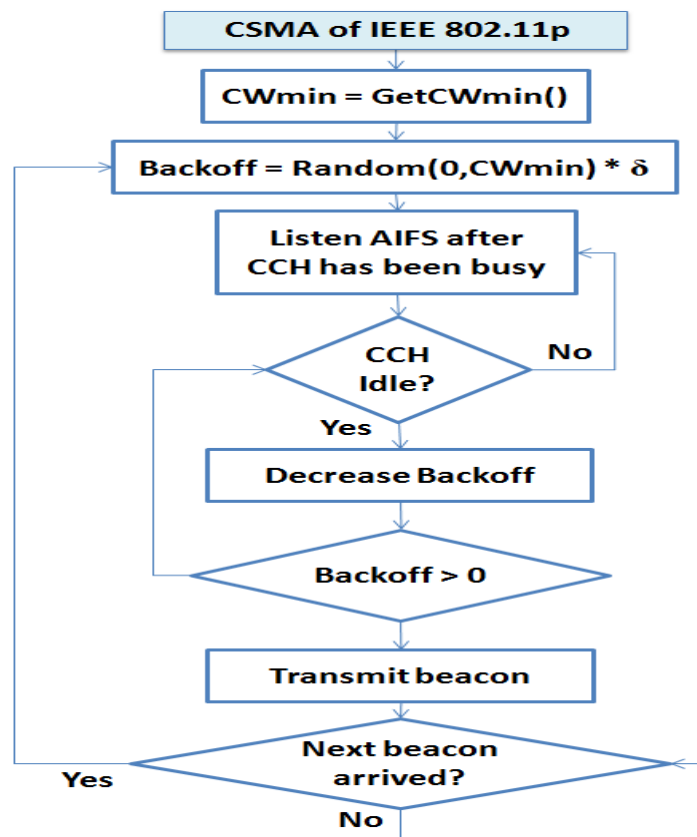


Figure 5.6. La méthode RBS MAC pour le balisage : la procédure CSMA/CA de l'IEEE 802.11p.

## 5.3 Étude de simulation

### 5.3.1 Outils de simulation

#### 5.3.1.1 L'importance de Simulation pour l'évaluation de performance des protocoles.

Puisque les performances des applications VANETs sont directement affectées par les phénomènes MAC, l'évaluation du comportement MAC devient un besoin important. Par conséquent, les outils utilisés pour l'évaluation du comportement de MAC peuvent aller du plus pratique au plus théorique. Elles comprennent (1) des simulations, (2) des modèles analytiques et (3) des mesures réelles ou sur banc d'essai.

La simulation est considérée comme l'approche la plus utilisée pour les études VANET et la raison de ce succès est que les outils de simulation ont des avantages remarquables. Beaucoup de plates-formes de simulation sont bon marché et open source et facile à utiliser, même les débutants peuvent exécuter la simulation avec un effort modeste, et ils sont de plus en plus précis. En outre, les simulations peuvent tester des scénarios hétérogènes, impliquant un grand nombre de nœuds, avec des paramètres différents simplement en changeant le script et de manière répétée, ce qui est un problème dans les tests sur le terrain. En outre, la capacité de calcul croissante et la technologie de cloud computing permettent de lancer simultanément des simulations depuis plusieurs endroits [82]. Mais les deux principaux avantages conceptuels du simulateur sont : (1) la modularité hétérogène et (2) la définition de métriques flexibles [3].

La modularité à laquelle il est fait référence, considérer que chaque partie de la simulation repose sur son simulateur spécifique, par exemple application, mobilité et communication, ect, comme le montre la figure 5.7. Ils peuvent être classés comme suit:

- **Simulateur d'application** : Il met en œuvre l'ensemble d'application de base défini par ETSI TC ITS [83], qui sont classés en trois groupes : la sécurité, l'efficacité du trafic et l'application de service à valeur ajoutée. Généralement, cette partie de la simulation est intégrée dans le simulateur de réseau.
- **Simulateur de réseau** : Il concentre sa simulation sur le fonctionnement du protocole pour les schémas de diffusion de l'information, à partir de la couche MAC aux couches supérieures, les protocoles d'unicast ou de géodiffusion [84] et de diffusion ou de balisage [85] des protocoles tels que BSM et CAM peuvent être nécessaires pour les

applications C-ITS. Elle adopte généralement des modèles de propagation et de réception de signaux physiques simplifiés. Les outils les plus populaires et fréquemment utilisés pour la simulation de réseau sont : NS-2 et son successeur NS-3 [86], OMNeT++ [87] et JiST/SWANS [88], ils sont Open Source et distribués gratuitement pour les non-commerciaux.

- **Simulateur PHY** : Il est intégré aux simulateurs réseau en tant que module séparé de la simulation de la couche physique. Il s'agit d'un modèle raffiné de réception et de propagation du signal qui conduit à des résultats de simulation très précis [89].
- **Simulateur de mobilité** : Il fournit le fichier de mobilité qui contient la position temporelle de chaque véhicule. Il existe deux approches de l'extraction, selon l'application véhiculaire étudiée qui définit le type d'interaction entre mobilité et communication. Avec l'application à valeur ajoutée, la mobilité des véhicules n'a pas besoin d'être influencée par la communication véhiculaire. Ainsi, l'approche commune pour ce type d'applications est de générer le fichier de mobilité a priori et peut ensuite être intégré dans le réseau simulé. Les outils populaires de générateur de mobilité pour ce type d'application sont les suivants : IMPORTANT [90], GrooveNet [91], MoVes [92], et le modèle de ville [93], VanetMobiSim [94], SUMO [95] et le logiciel de simulation commerciale VISSIM [96]. Compte tenu de l'application de la sécurité et de l'efficacité routière, où la mobilité et les communications doivent être interdépendantes, une interaction bidirectionnelle doit être créée entre les deux simulateurs avec un feedback mutuel complet. Afin que, en fonction des modèles de mobilité, les applications véhiculaires soient déclenchées, par exemple, le message critique pour la sécurité sera envoyé en réaction aux accidents de la circulation et aux embouteillages, et en fonction des messages reçus, le modèle de mobilité changera. Les outils de simulation de cette catégorie doivent intégrer la mobilité et la simulation de réseau avec l'interaction en temps réel. Les outils candidats les plus prometteurs sont : Veins [97], iTETRIS [98] et VSimRTI [5].
- **Outils de visualisation** : A la fin de la simulation, des résultats très complexes sont générés et il faut interpréter correctement ces résultats. Utiliser des outils visuels qui appuient l'analyse des données en animant le mouvement des véhicules et en montrant comment les mesures peuvent évoluer en les affichant sous forme de cartes de couleur et d'étiquettes. La visualisation peut faciliter l'interprétation des résultats.

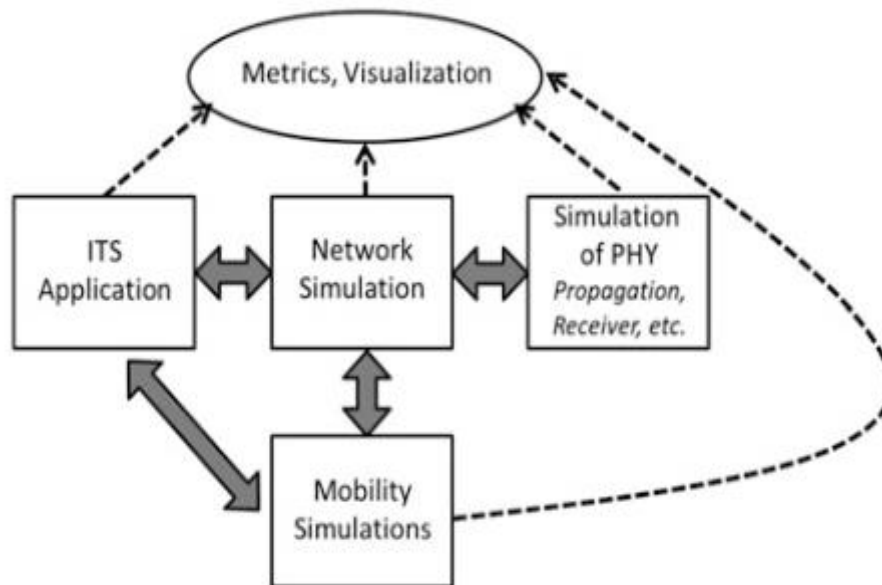


Figure 5.7 Représentation modulaire des blocs de simulation potentiellement impliqués dans une simulation VANET [3].

#### 5.3.1.2 Simulateur de réseau 2 (NS2, Network Simulator 2) :

Network Simulator 2 (NS-2) est un outil de simulation de réseau libre qui permet aux chercheurs et aux développeurs de modéliser, simuler et analyser le comportement des réseaux informatiques. Il est largement utilisé dans le domaine des réseaux informatiques pour la conception et l'évaluation des protocoles, algorithmes et architectures réseau.

NS-2 fournit un environnement de simulation d'événements discrets où les utilisateurs peuvent créer des topologies réseau, définir des schémas de trafic réseau et spécifier le comportement des éléments réseau tels que les routeurs, les commutateurs et les hôtes. Il prend en charge diverses technologies de réseautage, y compris les réseaux filaires et sans fil, et offre une gamme de modèles de protocole et de générateurs de trafic.

Avec NS-2, les utilisateurs peuvent étudier les performances de différents protocoles réseau, évaluer l'impact des configurations réseau sur les performances des applications et étudier le comportement de scénarios de réseaux complexes.

La figure 5.8 montre l'architecture de base de NS2. Il fournit aux utilisateurs une commande exécutable `ns` qui prend en entrée l'argument, le nom d'un fichier de script de simulation Tcl. Les utilisateurs utilisent le nom d'un script de simulation Tcl (qui crée une simulation) comme argument d'entrée d'une commande exécutable `NS2 NS` ainsi que le fichier modèle de

mobilité qui décrit la mobilité des nœuds pendant la simulation. Dans la plupart des cas, un fichier de trace de simulation est créé et utilisé pour tracer le graphique et/ou pour créer une animation. NS2 se compose de deux langues clés : C++ et Object-oriented Tool Command Language (OTcl). Alors que le C++ définit le mécanisme interne (c'est-à-dire un backend) des objets de simulation, l'OTcl met en place la simulation en assemblant et configurant les objets ainsi qu'en programmant des événements discrets (c'est-à-dire un frontend). Le C++ et l'OTcl sont liés ensemble en utilisant TclCL. Mappées à un objet C++, les variables des domaines OTcl sont parfois appelées des poignées.

Après la simulation, NS2 produit des résultats de simulation à base de texte ou d'animation. Pour interpréter ces résultats graphiquement et interactivement, des outils tels que NAM (Network AniMator) et XGraph sont utilisés. Pour analyser un comportement particulier du réseau, les utilisateurs peuvent extraire un sous-ensemble pertinent de données textuelles et le transformer en une présentation plus concevable en utilisant le langage AWK qui est l'acronyme du nom des fondateurs (Alfred Aho, Peter Weinberger et Brian Kernighan).

La figure 5.9 montre les couches réseau du nœud mobile utilisé dans les réseaux sans fil comme VANET.

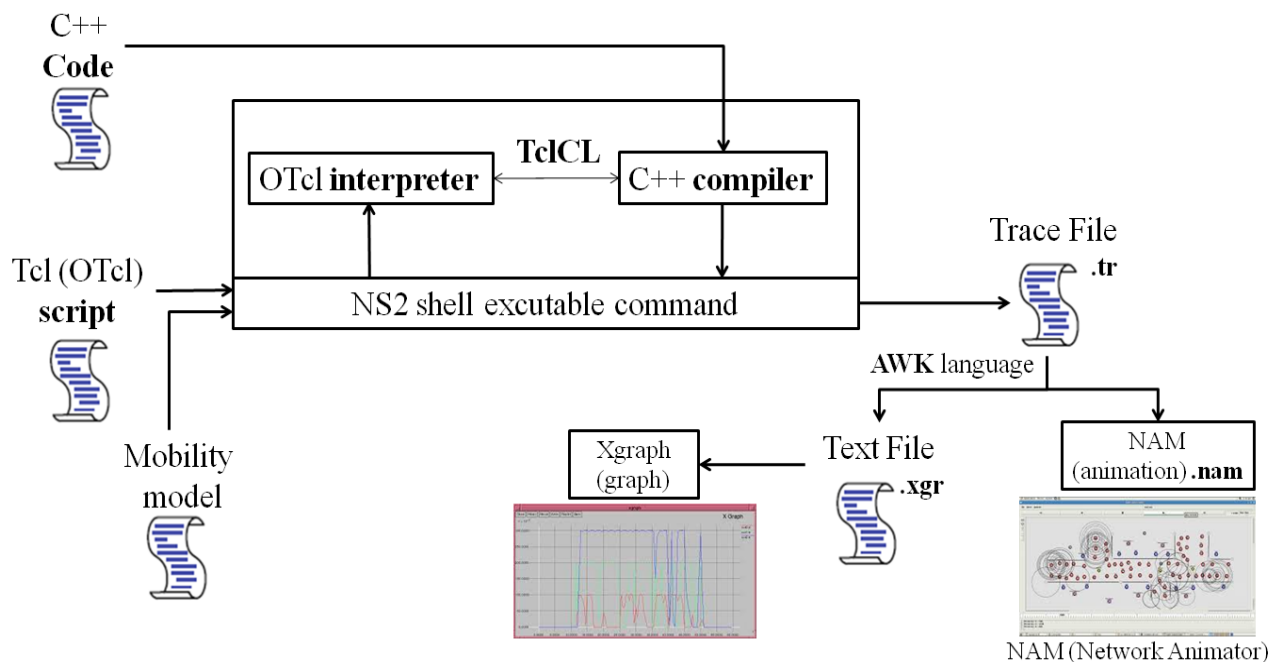


Figure 5.8 Structure du simulateur de réseau 2.

## Network layers of NS-2

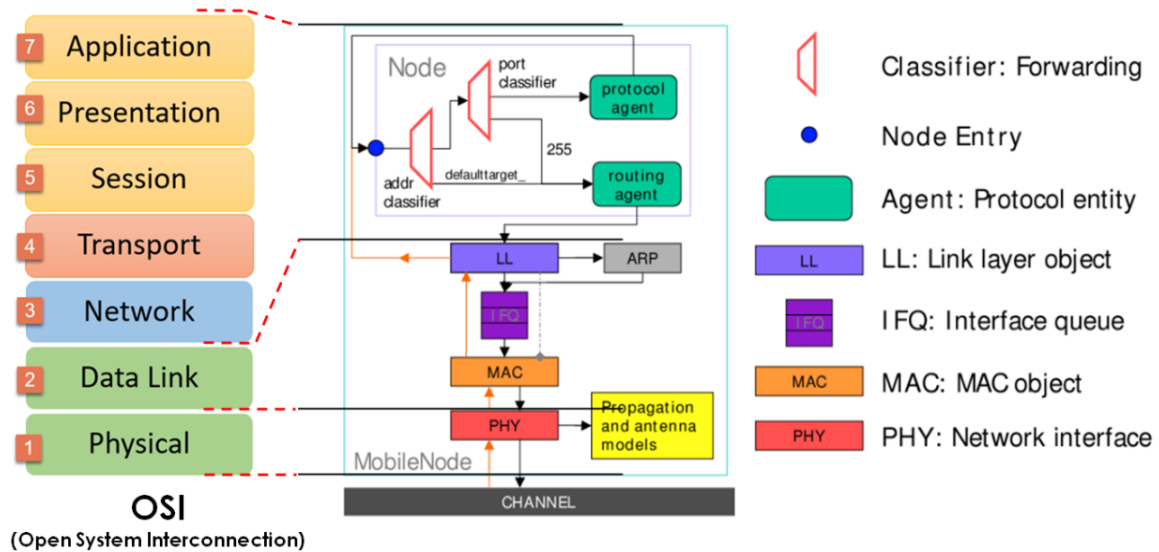


Figure 5.9 Architecture du simulateur réseau.

### 5.3.2 Les protocoles simulés

Cette section présente les protocoles MAC à comparer avec le protocole RBS MAC qui est considéré comme une combinaison des avantages des deux mécanismes MAC S-ALOHA et CSMA. La balise aléatoire est répartie dans l'espace à l'aide de S-ALOHA, et le recul aléatoire avant la transmission de balise à l'aide de CSMA. Afin de montrer l'efficacité de la combinaison de ces deux avantages contre les différents types de collisions,

Il est important de comparer le RBS MAC avec la version originale des deux protocoles. Veuillez noter qu'avec le CSMA, la fenêtre de contention (CW) utilisée est la même que celle utilisée dans la norme 802.11p.

D'autre part, le S-ALOHA utilise la même fenêtre d'épandage (SW) utilisée par RBS MAC mais avec la transmission immédiate et sans mécanisme de retrait. Avec le S-ALOHA, les emplacements sont choisis au hasard et uniformément sur la même fenêtre d'épandage (SW) utilisée par le RBS MAC. La fente est appelée singleton si elle ne contient qu'un seul paquet mais si elle contient plus d'un paquet, une collision se produira en raison de la transmission immédiate et sans le mécanisme de sauvegarde [14].

### 5.3.3 Paramètres de simulation

Évaluer la performance du protocole RBS par rapport aux autres protocoles MAC en diffusant des messages de sécurité périodiques qui sont générés en continu, à chaque noeud dans les simulations. Les simulations informatiques sont réalisées à l'aide du simulateur réseau NS-2 [99] et tous les protocoles des concurrents fonctionnent sur la couche physique des normes IEEE 802.11p. Il utilise la couche physique OFDM pour la bande de 5 GHz où la fréquence porteuse de 5,89 GHz qui représente la fréquence centrale du canal 178 DSRC (le CCH). D'autre part, l'IEEE 802.11p utilise le système EDCA, qui attribue tout paquet à l'une des quatre catégories d'accès (ACs, access categories). Pour l'étude en cours, le message de sécurité périodique est attribué à la deuxième priorité des quatre catégories d'accès, soit la vidéo AC. Cette priorité utilise une CWmin égale à sept emplacements physiques (CWmin = 7). Dans les travaux à venir, la coexistence des deux applications de sécurité sera étudiée, la première priorité sera attribuée à l'événement. Tous les véhicules génèrent des paquets longs de 300 octets, y compris tous les frais généraux du protocole transmis avec un taux de transfert de 3 Mbit/s. En plus du temps de garde ( $T_{Guard}$ ), de la période AIFS et de la Fenêtre de Contention minimale (CWmin) la durée de la plage horaire sera égale à une milliseconde. La portée de communication et la portée de détection du support sont égales à 300 m pour la propagation en espace libre. Le tableau 5.1 résume les paramètres du réseau.

Tableau 5.1. Paramètres du réseau [14].

| Paramètre                  | Valeur                               |
|----------------------------|--------------------------------------|
| SIFS, TSIFS                | 16 $\mu s$                           |
| Physical slot, $\vartheta$ | 9 $\mu s$                            |
| CWmin                      | 7                                    |
| CWmax                      | Jamais utilisé (broadcast seulement) |
| Portée de transmission     | 300 m                                |
| Débit de données           | 3 Mbps                               |
| Intervalle de temps        | 1 ms                                 |

L'autoroute est les scénarios de simulation considérés pour l'évaluation de la performance des protocoles concurrents qui sont générés par le générateur de mobilité IMPORTANT [100]. Il s'agit d'un segment de 1000 mètres avec deux véhicules face autoroute et deux voies chacune où les véhicules peuvent communiquer entre eux sans obstacles. Le véhicule se déplace avec une vitesse élevée variable tirée de la distribution normale et le nombre de véhicules sur l'autoroute reste constant pendant le temps de simulation. Lorsqu'un véhicule atteint une extrémité du tronçon routier, il revient de l'autre extrémité. Ce scénario est le meilleur pour évaluer l'efficacité des protocoles contre les collisions fusionnées sous faible et moyenne densité de véhicules.

La figure 5.10 montre une représentation du scénario routier simulé où les triangles noir et blanc représentent des véhicules qui se déplacent dans des directions opposées.

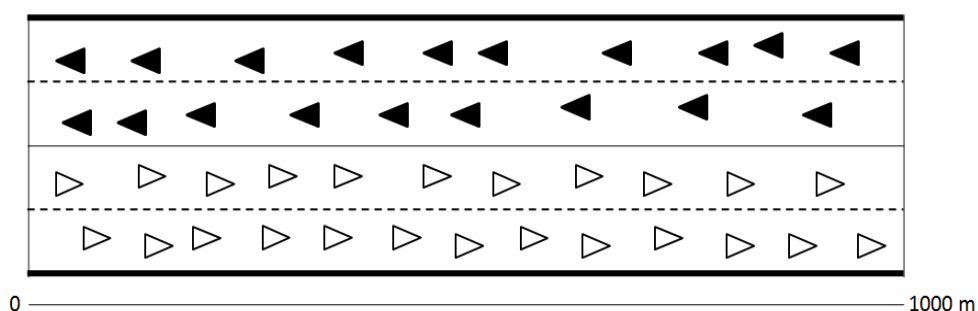


Figure 5.10 Représentation du tronçon routier simulé[14].

Pour le scénario considéré, tous les paquets transmis sont des paquets de diffusion périodique, le canal sans fil est idéal, et la seule source d'erreurs de paquets est la collision de transmission. Tous les véhicules sont distribués uniformément et indépendamment sur la voie. On suppose que les liaisons de communication sont symétriques et que chaque véhicule du réseau a la même portée et la même portée de communication.

Le tableau 5.2 résume les paramètres du scénario.

Tableau 5.2. Paramètres du scénario [14].

| Paramètre             | Valeur |
|-----------------------|--------|
| Dimension de la route | 1 Km   |

|                                                      |                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------|
| Nombre de voies                                      | 4                        |
| Vitesse des véhicules                                | 80 – 120 Km/h            |
| Densité des véhicules                                | 20 à 300                 |
| Taux de Transmission<br>( $\approx$ taille du cadre) | 2 Hz $\approx$ 500 slots |
| Temps de simulation                                  | 50 s                     |

### 5.3.4 Mesures de rendement

Sept indicateurs de performance différents ont donc été sélectionnés pour évaluer la performance des protocoles simulés. Ces mesures de performance reflètent à la fois les caractéristiques spécifiques de l'MAC et le rendement global de C- ITS. Les mesures de rendement suivantes sont prises en compte :

1. **Probabilité moyenne de collisions moyennes** : le nombre total de collisions détectées par l'antenne réceptrice, divisé par le nombre total de messages envoyés dans la plage de communications (la même collision, lorsqu'elle est détectée par plusieurs véhicules, est considérée comme une seule collision).
2. **Probabilité moyenne d'accès réussi** **Probabilité moyenne d'accès** : probabilité d'avoir accès au canal sans collision directe. Il fait référence au nombre total de balises envoyées avec succès, divisé par le nombre total de balises générées par les véhicules.
3. **Ratio moyen d'équité de l'accès** : Le concept dépend de la définition de l'équité, de la prémisses que tous les nœuds devraient pouvoir envoyer le même nombre de messages dans un temps donné. Il mesure la capacité des véhicules à transmettre un nombre similaire de balises, et d'avoir des chances équitables lors de l'accès au canal (probabilité d'accès moyen équitable).
4. **Rapport de livraison des paquets** (PDR, Packet Delivery Ratio) : Fraction des balises correctement reçues par un véhicule donné sur le nombre total de balises transmises par ses voisins. Cette métrique a une relation avec le taux de réception du trafic de radiodiffusion qui dépend généralement de la distance mutuelle entre l'émetteur et les récepteurs où les sources de transmission sont distribuées uniformément et sans retransmission.

5. **Rapport de découverte moyen** : La plage de découverte est définie comme la plus longue distance entre un émetteur et un récepteur capable de recevoir des paquets avec un taux de réception de paquets donné. Le rapport de découverte idéal devrait avoir le taux de réception des paquets le plus élevé et rester constant à mesure que la densité augmente pour toute la période de transmission.
6. **Temps moyen d'interposition des paquets** (ou délai de mise à jour réel) : Cette mesure est très utilisée pour évaluer l'efficacité de l'MAC selon les mécanismes de DCC. Il est exclusivement lié au trafic périodique (CAM) pour définir le temps moyen entre deux paquets consécutifs reçus avec succès du même expéditeur. On peut donc l'utiliser pour calculer la probabilité que ce temps moyen dépasse un certain seuil.
7. **Rapport moyen des pignons de temps** : représente la moyenne du total des créneaux horaires vides entre le créneau occupé (collisions ou transmission réussie) que chaque véhicule peut percevoir pendant un laps de temps donné divisé par la période totale du début du cadre à la dernière fente occupée dans le cadre.

Notez que, Chacun des paramètres est mesuré pour l'ensemble de la zone de simulation, puis multiplié par 0,6 ce qui représente la taille de THC par rapport aux scénarios routiers d'un kilomètre [14].

### 5.3.5 Résultats de simulation

La première mesure à étudier est la probabilité moyenne de collisions pour protocoles à l'étude, comme le montre la figure 5.11 Comme on pouvait s'y attendre, la norme CSMA de l'IEEE 802.11p montre une probabilité considérablement élevée de collisions moyennes par rapport aux autres protocoles et elle augmente à mesure que la densité des véhicules augmente. Cela vérifie l'inefficacité de l'accès moyen utilisé par la norme pour éviter les collisions moyennes en particulier sous haute densité de véhicules. Le S-ALOHA illustre une amélioration des résultats par rapport à la norme grâce à la technique de diffusion des messages STT (Start of Transmission Time) de Beacons qui réduisent la discorde dans le médium. Le protocole RBS MAC atteint un taux de collisions moyen inférieur à celui du S-ALOHA. Cette réduction est due à la combinaison de la méthode d'accès moyen du CSMA/CA et de la diffusion de la technique STT utilisée par le protocole S-ALOHA. De plus, le tracé du protocole RBS MAC, en général, reste constant pour presque des densités qui assurent le facteur d'évolutivité.

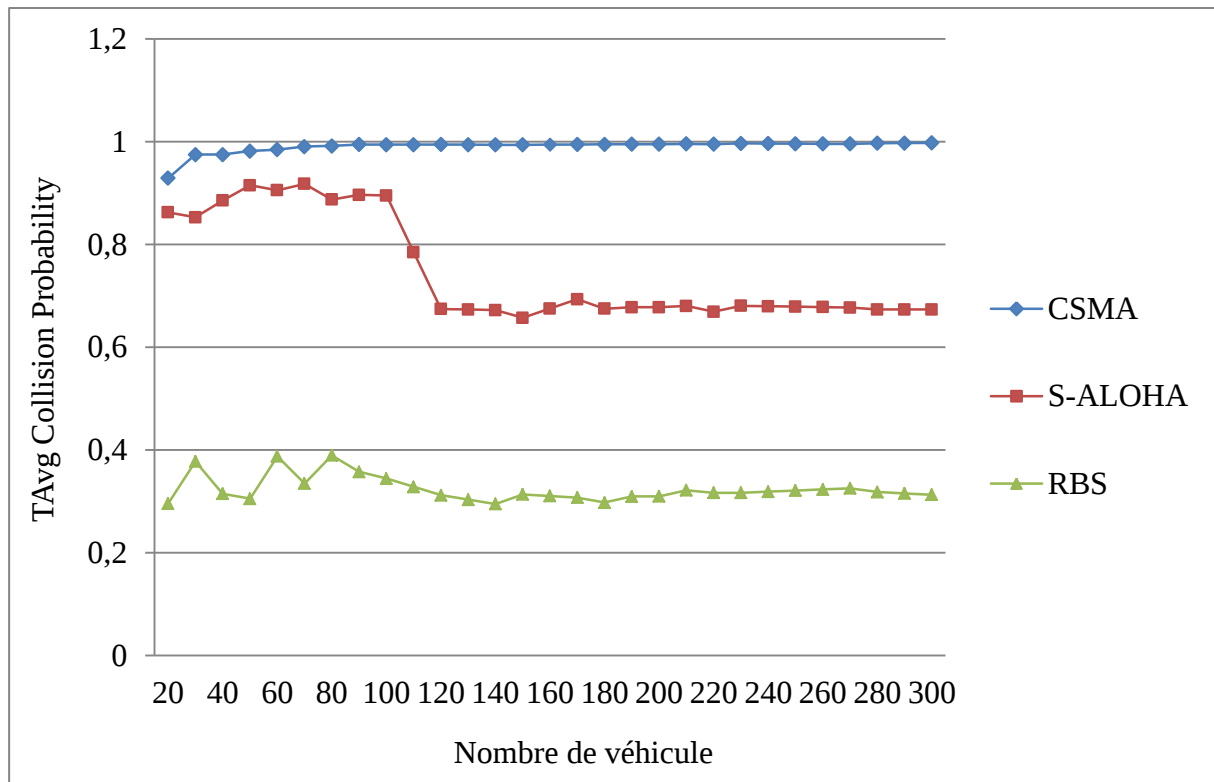


Figure 5.11. Probabilité moyenne de collision

La figure 5.12 montre la probabilité moyenne d'accès moyen pour les protocoles MAC étudiés. L'objectif de cette mesure est de démontrer la capacité des protocoles étudiés à accéder au canal avec succès et d'éviter les collisions d'accès direct entre les véhicules dans la portée de l'autre. Le RBS fournit une valeur stable pour différentes densités de véhicule qui représente également la probabilité la plus élevée par rapport aux autres protocoles. Notez que le protocole S-ALOHA offre une faible probabilité d'accès par rapport à la RBS MAC et montre également une valeur d'accès stable, quelle que soit la densité des véhicules. Cette stabilité est due au mécanisme de diffusion des messages utilisé par RBS MAC et S-ALOHA. Le CSMA de l'IEEE 802.11p le protocole atteint la plus faible probabilité d'accès moyen qui diminue à mesure que la densité des véhicules augmente.

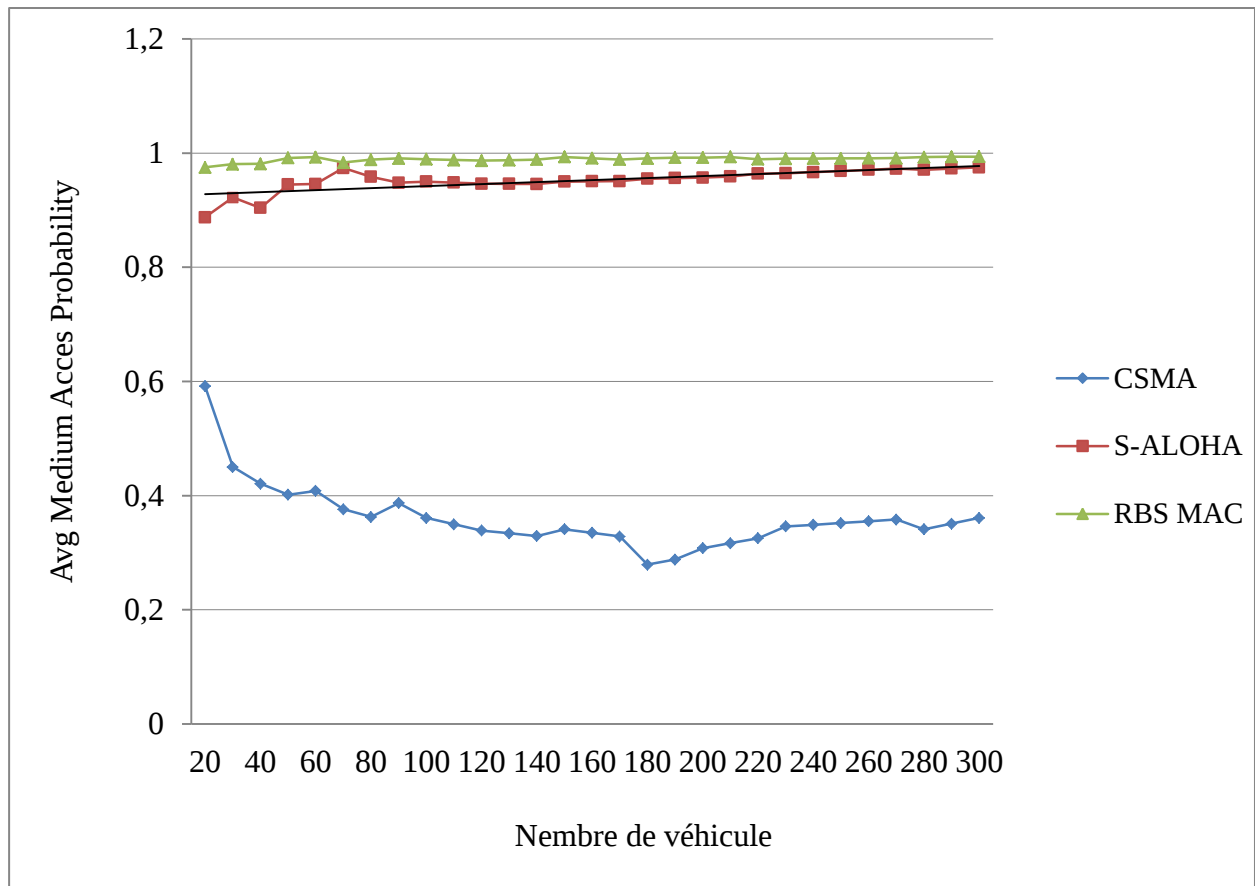


Figure 5.12. Probabilité moyenne d'accès

La figure 5.13 montre le rapport de livraison moyen des balises (BDR) pour les protocoles concurrents. Comme pour IEEE 802.11p, le BDR diminue rapidement à mesure que la densité de trafic augmente, et la majorité des messages transmis sont perdus car les collisions sont fréquentes. Le protocole S-ALOHA affiche de meilleurs résultats que l'IEEE 802.11p, car il génère moins de collisions d'accès. La raison en est que le protocole IEEE 802.11p souffre de la fameuse « dispute de début d'intervalle » à chaque début de l'intervalle CCH lorsque tout le véhicule commence à envoyer en même temps. Cette situation génère un grand nombre de collisions d'accès qui affectent négativement le rapport de livraison des balises. Ce genre de problème n'existe pas avec le protocole S-ALOHA qui utilise la technique de l'étalement des temps d'accès. Le protocole RBS MAC peut améliorer le BDR, comparé au S-ALOHA et comme toujours il assure un taux constant pour toutes les densités. La supériorité du RBS MAC est due à la combinaison de la technique de retrait utilisée par le protocole CSMA avec la propagation du temps d'accès à la transmission. Cette combinaison donne au protocole une chance supplémentaire d'éviter les collisions moyennes.

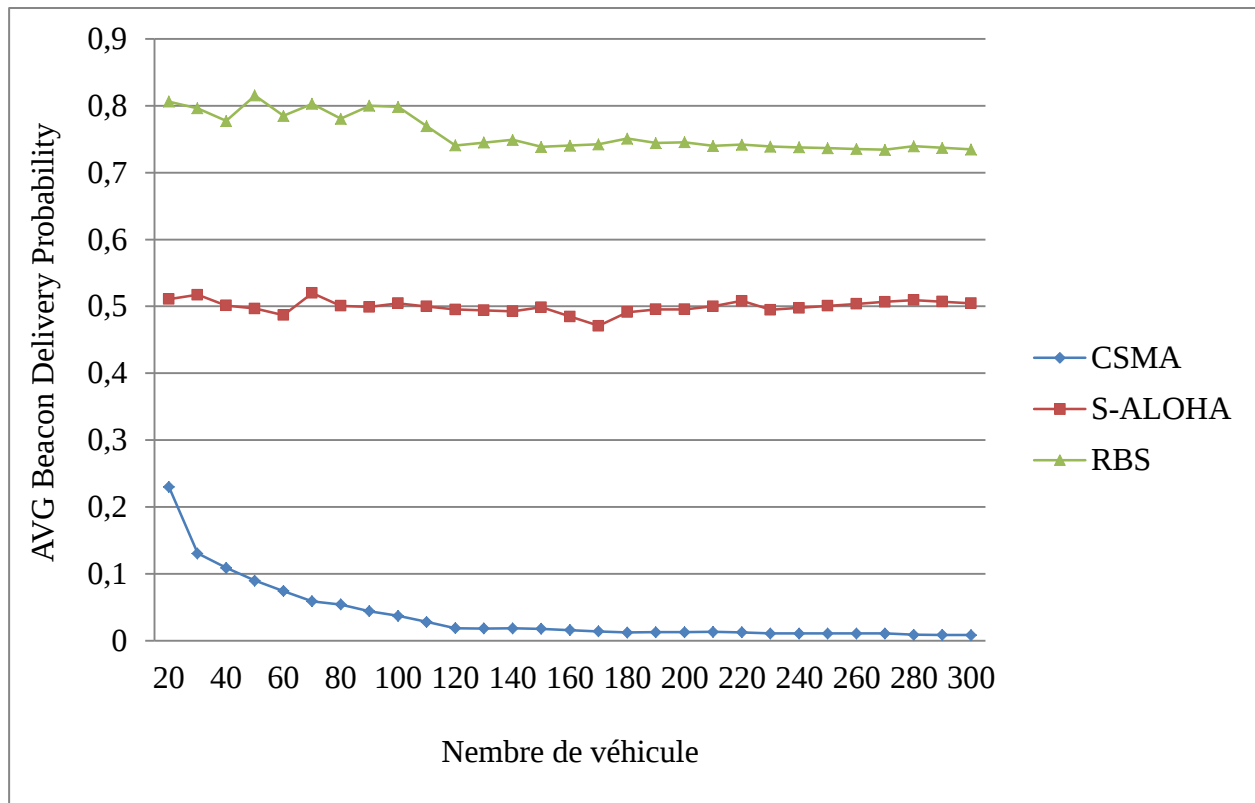


Figure 5.13 Probabilité moyenne d'émission de balises

Figure 5.14 Montre le rapport de découverte moyen des différents protocoles MAC étudiés pour une densité de 300 véhicules par THC. Il est également communément appelé le taux de réception qui mesure le pourcentage de messages qui peuvent être reçus avec succès par un récepteur en fonction de la distance de l'expéditeur. L'axe des x est la distance de découverte dans l'espacement entre les voitures, et l'axe des y est le rapport de découverte. En général, avec tous les protocoles, les tracés montrent que le rapport de découverte se dégrade à mesure que la distance entre l'expéditeur et le récepteur augmente, mais avec une grande déférence dans les performances. Le ratio de découverte du CSMA diminue de 0 % à mesure qu'il approche des limites de la plage de transmission. Ceci est dû à l'inefficacité du mécanisme de recul face au nombre élevé de transmissions simultanées par les véhicules à proximité, ainsi que les transmissions qui se chevauchent causées par les Véhicules cachés. Le protocole S-ALOHA fournit un taux de découverte nettement supérieur à celui du protocole CSMA Cette amélioration est due à la capacité du Protocole S- ALOHA pour diffuser les transmissions dans le temps par rapport au CSMA où les véhicules sont plus susceptibles de transmettre en même temps sous haute densité. Ainsi, les avantages de la propagation des transmissions de balises dans le temps entre en jeu. Le protocole RBS MAC montre une amélioration considérable du rapport de découverte par rapport au protocole S-ALOHA Ceci est dû à la

combinaison du temps de transmission étalé avec le mécanisme de recul adopté par le protocole CSMA qui réduit considérablement le risque de collisions.

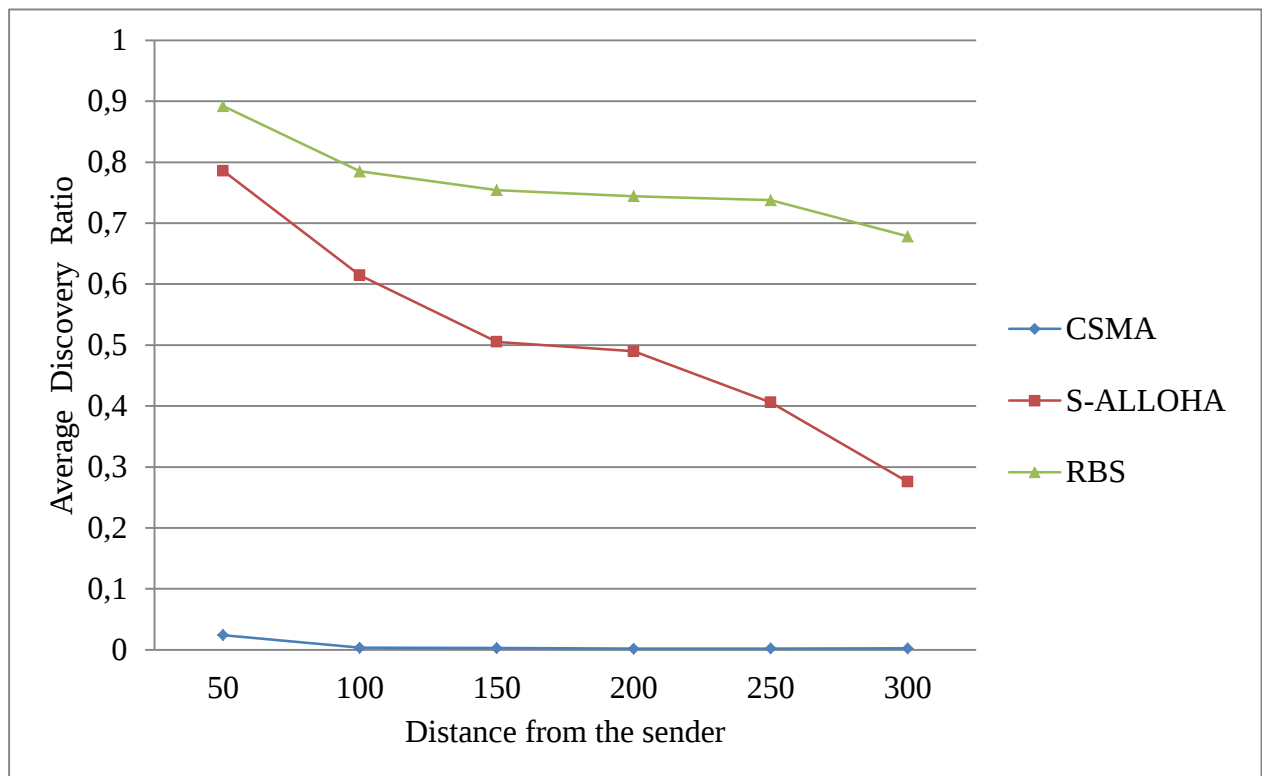


Figure 5.14 Rapport moyen de la plage Discovery

## 5.4 Conclusion

Ce chapitre présente le RBS MAC, un nouveau protocole MAC basé sur le CSMA et le S-ALOHA pour les messages de sécurité périodiques dans les VANET. Les résultats de la simulation montrent le rendement supérieur du protocole RBS MAC par rapport au CSMA et au S-ALOHA selon des critères d'évaluation différés. Ces résultats confirment l'efficacité de l'utilisation d'une répartition aléatoire des temps d'accès combinée avec le mécanisme CSMA/CA, comme stratégie d'accès moyen. En particulier, elle permet d'éviter le « début d'intervalle » au début de chaque CCH, et de minimiser le risque de collision en utilisant le mécanisme CSMA/CA lorsque certaines balises sélectionnent le même STT.

# Chapitre6

## Conclusion générale

### 6.1 Résumé

L'objectif principal de cette mémoire est de soutenir les exigences QoS des applications de sécurité C-ITS, précisément le service de diffusion périodique à un seul hop via un protocole MAC efficace. Il traite de la fiabilité, en particulier dans les scénarios à haute densité, où les transmissions doivent être soigneusement chronométrées pour maintenir un degré élevé de sensibilisation parmi les véhicules environnants. Pour atteindre cet objectif, la mémoire a les deux contributions suivantes :

1. Une enquête de pointe est établie pour les mécanismes d'accès moyen qui sont les MAC asynchrones fondées sur le CSMA. Ils se caractérisent par leur simplicité, leur nature distribuée, leur absence de coordinateur central, leur efficacité à faire face aux changements de mobilité et de topologie sans aucune synchronisation temporelle entre les véhicules.
2. Une étude comparative d'un protocole récemment proposé appelé RBS MAC qui combine l'avantage des deux protocoles MAC : CSMA et Slotted-ALOHA. Il peut être intégré en toute transparence sur la norme IEEE 802.11p. Il se compose de deux parties : 1) la propagation des balises du véhicule : au début de chaque intervalle CCH, le temps de transmission des balises les véhicules prétendants sont répartis sur une fenêtre d'étalement (SW) de l'intervalle CCH. Par conséquent, la période CCH est pratiquement répartie de la même façon que la méthode MAC S-ALOHA où les emplacements virtuels représentent les possibles Heures de Début de Transmission (STT) des balises (une STT est répartie aléatoirement pour chaque balise). et 2) accès moyen : lorsque le STT est atteint, un véhicule a une chance d'accéder au canal, et tente de transmettre en utilisant le CSMA/CA de l'IEEE 802.11p classique [14]. Une étude de simulation est effectuée en utilisant NS2 pour évaluer la performance de la proposition RBS MAC par rapport à la norme IEEE 802.11p et certains protocoles MAC célèbres qui est S-ALOHA. Les résultats de la

simulation montrent que RBS MAC fournit un taux de collisions de transmission plus faible que les autres protocoles.

La recherche effectuée dans cette mémoire présente le RBS MAC comme un protocole prometteur pour le MAC dans les VANET et un remplacement approprié de la norme IEEE 802.11p, qui ont des limites importantes dans le soutien des applications de sécurité VANET. Cependant, d'autres améliorations sont nécessaires à l'avenir pour le RBS MAC.

## 6.2 Travaux futurs

Certaines perspectives d'avenir devraient être prises en compte afin d'améliorer le travail actuel et d'atteindre la vision de la mémoire. Elles peuvent être énumérées comme suit :

1. Le mécanisme de retrait utilisé dans le RBS MAC ne tient pas compte du nombre de balises affectées à un STT donné après l'étape d'épandage. En raison de l'affectation aléatoire et de l'utilisation d'une fenêtre de contention constante, il peut arriver que certaines STTs reçoivent beaucoup de balises et ont plus de contention que les autres. La prévision du nombre de balises dans chaque STT est considérée comme un problème d'occupation qui nécessite une analyse mathématique pour estimer la taille optimale du CW.
2. Ce travail est principalement axé sur la radiobalise de sécurité du message CAM/BSM. Cependant, l'efficacité du message DENM événementiel (après un accident par exemple) grâce à la diffusion multi-usines, qui est transmise lorsqu'un événement important est détecté, est également essentielle pour le succès des applications de sécurité routière. Le protocole MAC doit comprendre des mécanismes de coexistence des deux types de messages où la priorité la plus élevée est accordée au DENM.

## *Références:*

- [1] ISO TR 17465-1: Draft, Intelligent transport systems – Terms, definitions, and guidelines for Cooperative standards documents – Part 1: Terms, definitions and outline guidance for standards documents, May 2012.
- [2] IEEE Std. 802.11p-2010, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environment, July 2010. Superseded.
- [3] Campolo, C., Molinaro, A., & Scopigno, R. (2015). Vehicular ad hoc Networks. Standards, Solutions, and Research.
- [4] ETSI EN 302 637-2 Draft V.0.0.5, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service, June 2012.
- [5] SAE Std. J2735, Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary, DSRC Committee, Nov. 2009.
- [6] ETSI EN 302 637-3: Draft V0.0.7, Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specification of Decentralized Environmental Notification Basic Service, June 2012.
- [7] Booyesen, M. J., Zeadally, S., & Van Rooyen, G. J. (2011). Survey of media access control protocols for vehicular ad hoc networks. IET communications, 5(11), 1619-1631.
- [8] Jiang, D., & Delgrossi, L. (2008, May). IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments. In Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE (pp. 2036-2040). IEEE.
- [9] Wang, Y., Ahmed, A., Krishnamachari, B., & Psounis, K. (2008, September). IEEE 802.11 p performance evaluation and protocol enhancement. In Vehicular Electronics and Safety, 2008. ICVES 2008. IEEE International Conference on (pp. 317-322). IEEE.
- [10] IEEE 802.11p/D10.0, Part11 (2010): Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and the Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environment, Draft 7.0.
- [11] IEEE Std 1609.4TM-2010(2010)., IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)- Multi-channel Operation, IEEE Vehicular Technology Society, February 7.
- [12] Toutouh, J., & Alba, E. (2016). Distributed fair rate congestion control for vehicular networks. In Distributed Computing and Artificial Intelligence, 13th International Conference (pp. 433-442). Springer, Cham.

- [13] Lakhdar Kamal Ouladdjedid, Mohamed Bachir Yagoubi, Hamid Menouar, “CSSA MAC: carrier sense with slotted Aloha multiple access MAC in vehicular network“, International Journal of Vehicle Information and Communication Systems, Vol. 3, No. 4, 20
- [14] MÉMOIRE Elaboration d’un mécanisme de dissémination pour les VANets 2021 ; Dr Lakhdar Kamel OULADDJEDID ; UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
- [15] Flurschein H (1925). Patent No. (US 1612427 A) 28522/23. UK, 1925
- [16] Ian Catling ed., Advanced Technology for Road Transport: IVHS and ATT, Artech House, US, 1994. [13] Lakhdar Kamal Ouladdjedid, Mohamed Bachir Yagoubi, Hamid Menouar, “CSSA MAC: carrier sense with slotted Aloha multiple access MAC in vehicular network“, International Journal of Vehicle Information and Communication Systems, Vol. 3, No. 4, 20
- [17] Giordano, S. (2002). Mobile ad hoc networks. Handbook of wireless networks and mobile computing, 325-346.
- [18] European Telecommunications Standards Institute (2009) intelligent transport systems (ITS); vehicular communications; basic set of applications; definitions. ETSI TR 102 638, June 2009
- [19] Khaled Y, Tsukada M, Santa J, Choi J, Ernst T (2009) A usage oriented analysis of vehicular networks: from technologies to applications. J Commun 4(5):357–368
- [20] PREparation for DRIVING implementation and Evaluation of C-2-X communication technology, Detailed description of selected use-cases and corresponding technical requirements , preDrive C2X Deliverable D4.1, September 2008
- [21] Hayward JC (1972) Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, vol 384
- [22] MobileInfo Automotive WG (2006) TPEG TEC application specification
- [23] ETSI (2013) ETSI TS 101 539-1 (V1.1.1): “Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Part 1: Road Hazard Signalling (RHS) application requirements specification”
- [24] ETSI (2013) ETSI TS 101 539-3 (V1.1.1): “Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Part 3: Longitudinal Collision Risk Warning (LCRW) application requirements specification”
- [25] ETSI (2011) Vehicle Safety Communications Applications (VSC-A), Final Report
- [26] Union E (2013) Commission delegated regulation (EU) No 305/2013 of 26 November 2012 supplementing Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council with regard to the harmonised provision for an interoperable EU-wide eCall

- [27] K. Bilstrup, E. Uhlemann, E. G. Ström, and U. Bilstrup, “On the ability of the 802.11p MAC method and STDMA to support real-time vehicle-to-vehicle communication,” in EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2009, Article ID 902414, 13 pages, doi:10.1155/2009/902414.
- [28] SJÖBERG BILSTRUP, Katrin. Predictable and scalable medium access control for vehicular ad hoc networks. 2009. Mémoire de doctorat. Department of Signals and Systems, Chalmers University of Technology
- [29] M.J. Booyens, S. Zeadally, G.-J. Van Rooyen” Survey of media access control protocols for vehicular ad hoc networks”, in IET Commun., 2011, Vol. 5, Iss. 11, pp. 1619–1631 doi: 10.1049/iet-com.2011.0085
- [30] Doppler K, Rinne M, Wijting C, Ribeiro C, Hugl K (2009) Device-to-device communication as an underlay to LTE-Advanced networks. IEEE Commun Mag 47(12):42–49
- [31] Fodor G, Dahlman E, Mildh G, Parkvall S, Reider N, Miklós G, Turányi Z (2012) Design aspects of network assisted device-to-device communications. IEEE Commun Mag 50(3):170–177
- [32] <https://www.auto-talks.com/technology/dsrc-technology/>. 2019
- [33] Costandoiu, A., & Leba, M. (2019, February). Convergence of V2X communication systems and next generation networks. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 477, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.akhdar Kamel OULADDJEDID; UN
- [34] Efficient and Provably Secure Schemes for Vehicular Ad-Hoc Networks. Ikram Ali • Yong Chen • Mohammad Faisal • Meng Li, 2022
- [35] Mémoire : Sécurisation des VANETS par la méthode de réputation des nœuds. Richard Engoulou /2013/ UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
- [36] Mémoire : Les Réseaux Véhiculaires VANET/ AOUES Abdelaziz, HAMMOUDI Meryam BENAÏSSA Youcef, BENSADANE Nadjat / UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE /2014/2015
- [37] Mémoire : GESTION DE LA PROTECTION DE LA VIE PRIVÉE DANS LES RESEAUX VEHICULAIRES (VANET)/ L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES / JUILLET 2017.IVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT18.
- [38] ASTM E2213-03, Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange between Roadside and Vehicle Systems – 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 2003.

- [39] ISO 21217:2014, Intelligent transport systems – communications access for land mobiles (CALM) – architecture
- [40] Schade, H. J. (2011). The Mandate on Co-operative ITS and the ITS Directive. In CEN. 3rd ETSI TC ITS Workshop.
- [41] CEN (2014) CEN/TC278 - Intelligent transport systems. Retrieved from <http://www.itsstandards.eu/>
- [42] ETSI TC ITS (2010) ETSI EN 302 665 V1.1.1 (2010-09) - intelligent transport systems (ITS); communications architecture. ETSI
- [43] TO, P. A. (2007). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [44] Xiang, W., Gozalvez, J., Niu, Z., Altintas, O., & Ekici, E. (2009). Wireless access in vehicular environments.
- [45] Di Felice M, Ghandour A, Artail H, Bononi L (2012) On the impact of multi-channel technology on safety-message delivery in IEEE 802.11p/1609.4 vehicular networks. In: IEEE 21st International conference on computer communications and networks (ICCCN), pp 1–8
- [46] Feedback to ITS Standards Development Organizations Communications, EU-US ITS Task Force – Standards Harmonization Working Group - Harmonization Task Group 3, Document HTG3-3, <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/progress-and-findingsharmonisation-eu-us-security-and-communications-standards-field>
- [47] US Federal Communications Commission (2003) DSRC Licensing and Service Rules. Technical Report. FCC-0 324A1, FCC
- [48] ECC/DEC/(08) 01 Electronic Communications Committee (ECC) (2008) ECC Decision (08)/01 on the harmonized use of the 5875–5925 MHz frequency band for Intelligent Transport Systems (ITS). Decision ECC/DEC/(08)01, ECC
- [49] IEEE 1609.0 - 2013, IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) – architecture
- [50] IEEE Standard 802.11-2012 - IEEE standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks – specific requirements Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications
- [51] ISO 29281-1:2013, Intelligent transport systems – communications access for land mobiles (CALM) – non-IP networking – Part 1: fast networking & transport layer protocol (FNTP)
- [52] ETSI EN 302 636-4-1, Intelligent transport systems (ITS); vehicular communications; GeoNetworking; Part 4: geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: media-independent functionality

- [53] CEN ISO 17419:2014, intelligent transport systems – cooperative systems – classification and management of ITS applications in a global context
- [54] CEN ISO 17423:2014, Intelligent transport systems – cooperative systems – ITS application requirements and objectives for selection of communication profiles
- [55] ETSI (2013) ETSI EN 302 637-2 (V1.3.0) - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service.
- [56] ETSI (2013) ETSI EN 302 637-3 V1.2.0 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specification of Decentralized Environmental Notification Basic Service.
- [58] ISO (2008) ISO/TS 14823: Traffic and travel information—messages via media independent stationary dissemination systems—graphic data dictionary for pre-trip and in-trip information dissemination systems
- [59] C2C-CC (2007) Car2Car communication consortium manifesto.
- [60] IEEE P1609.2/D15, IEEE Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) – Security Services for Applications and Management Messages, Draft 15, May 2012.
- [61] Sjöberg, K. (2013). Medium access control for vehicular ad hoc networks. Chalmers University of Technology.
- [62] IEEE Standard 802.11-2012 - Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications (2012)
- [63] Mangold, S., Choi, S., May, P., Klein, O., Hiertz, G., & Stibor, L. (2002, February). IEEE 802.11 e Wireless LAN for Quality of Service. In Proc. European Wireless (Vol. 2, pp. 32-39). Sn.
- [64] Cottingham, D. N., Wassell, I. J., & Harle, R. K. (2007, April). Performance of IEEE 802.11 a in vehicular contexts. In 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference-VTC2007-Spring (pp. 854-858). IEEE.
- [65] Hafeez K, Zhao L, Ma B, Mark J (2013) Performance analysis and enhancement of the dsrc for vanet's safety applications. IEEE Trans Veh Technol 62(7):3069–3083.doi:10.1109/TVT.2013.2251374
- [66] Batsuuri T, Bril R, Lukkien J (2010) Application level phase adjustment for maximizing the fairness in vanet. In: 2010 IEEE 7th international conference on mobile adhoc and sensor systems (MASS), pp 697–702. doi:10.1109/MASS.2010.5663797

- [67] Standardisation mandate addressed to CEN, Cenelec and ETSI in the field of information and communication technologies to support the interoperability of co-operative systems for intelligent transport in the European Community, European Commission, Enterprise and Industrial Directorate-General, Brussels, 6 Oct 2009
- [68] Batsuuri, T., Bril, R. J., & Lukkien, J. J. (2011). Performance and fairness in VANETs. In 29th International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2011, Las Vegas NV, USA, January 9-12, 2011) (pp. 637-638). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/ICCE.2011.5722782>
- [69] Wu, Y. J., Wang, W. S., & Hwang, W. S. (2014, July). A modified backoff algorithm for safety message delivery in IEEE 802.11 p/WAVE networks. In 2014 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS) (pp. 1-5). IEEE
- [70] Kloiber B, Harri J, Strang T, Sand S (2014) Bigger is better - combining contention window adaptation with geo-based backoff generation in dsrc networks. In: 2013 international conference on connected vehicles and expo (ICCVE). doi:10.1109/ICCE.2011.5722782
- [71] Rawat, D. B., Popescu, D. C., Yan, G., & Olariu, S. (2011). Enhancing VANET performance by joint adaptation of transmission power and contention window size. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 22(9), 1528-1535
- [72] Park, Y., & Kim, H. (2012). Collision control of periodic safety messages with strict messaging frequency requirements. IEEE transactions on vehicular technology, 62(2), 843-85
- [73] Ahmad, A., Doughan, M., Mougharbel, I., & Marot, M. (2012, June). A new adapted back-off scheme for broadcasting on IEEE 1609.4 control channel in VANET. In 2012 The 11th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net) (pp. 9-15). IEEE
- [74] Zhao, H., Du, A., Zhu, H., Li, D., & Liu, N. (2016). A self-adaptive back-off optimization scheme based on beacons probability prediction for vehicle ad-hoc networks. China Communications, 13(12), 132-138.
- [75] Balador, A., Böhm, A., Calafate, C. T., & Cano, J. C. (2016, September). A reliable token-based MAC protocol for V2V communication in urban VANET. In 2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC) (pp. 1-6). IEEE.
- [76] Kenney, J. B., Bansal, G., & Rohrs, C. E. (2011, September). LIMERIC: a linear message rate control algorithm for vehicular DSRC systems. In Proceedings of the Eighth ACM international workshop on Vehicular inter-networking (pp. 21-30).
- [77] Alhameed, M., & Mahgoub, I. (2017, November). VANET Adaptive Beaconing Based on Fuzzy Logic. In 2017 IEEE 15th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 15th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 3rd Intl Conf on Big

Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech) (pp. 736-743). IEEE.

[78] Dayal, A., Colbert, E., Marojevic, V., & Reed, J. (2019, April). Risk controlled beacon transmission in v2v communications. In 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring) (pp. 1-6). IEEE.

[79] Zheng, H., & Wang, H. (2019, July). An optimized MAC Protocol for Safety Messages9 Broadcasting in VANETs. In 2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS) (pp. 833-838). IEEE.

[80] P. Gupta and P. R. Kumar, "The Capacity of Wireless Networks," IEEE Trans. Info. Theory, vol. 46, no. 2, Mar. 2000, pp. 388–404.

[81] Karamad, E., & Ashtiani, F. (2008). A modified 802.11-based MAC scheme to assure fair access for vehicle-to-roadside communications. *Computer communications*, 31(12), 2898-2906

[82] Caragnano G, Goga K, Brevi D, Cozzetti H, Terzo O, Scopigno R (2012) A hybrid cloud infrastructure for the optimization of vanet simulations. In: Sixth international conference on complex, intelligent and software intensive systems (CISIS), 2012, pp 1007–1012. doi:10.1109/CISIS.2012.151

[83] ETSI TR 102 638 (V.1.1.1), Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions, 2009.

[84] Lee KC, Lee U, Gerla M (2009) TO-GO: topology-assist geo-opportunistic routing in urban Vehicular Grids. In: 6th IEEE/IFIP conference on wireless on demand network systems and services (WONS 2009). IEEE, Snowbird, UT, pp 11–18

[85] van Eenennaam M, Wolterink W, Karagiannis G, Heijenk G (2009) Exploring the solution space of beaconing in VANETs. In: 1st IEEE vehicular networking conference (VNC 2009). IEEE, Tokyo. doi:10.1109/VNC.2009.5416370

[86] Font J, Iñigo P, Domínguez M, Sevillano JL, Amaya C (2010) Architecture, design and source code comparison of ns 2 and ns-3 network simulators. In: 2010 spring simulation multiconference (SpringSim 2010). SCS, Orlando, FL

[87] Varga A, Hornig R (2008) An overview of the OMNeT++ simulation environment. In: 1st ACM/ICST international conference on simulation tools and techniques for communications, networks and systems (SIMUTools 2008). ACM, Marseille

[88] Schoch E, Feiri M, Kargl F, and Weber M (2008) Simulation of ad hoc networks: ns-2 compared to JiST/SWANS. In: 1st ACM/ICST international conference on simulation tools and techniques for communications, networks and systems (SIMUTools 2008). ICST, Marseille

- [89] Schumacher H, Schack M, Kurner T (2009) Coupling of simulators for the investigation of car-to-x communication aspects. In: IEEE Asia-Pacific services computing conference, 2009. APSCC 2009, pp 58–63. doi:10.1109/APSCC.2009.5394139
- [90] Bai F, Sadagopan N, Helmy A (2003) The IMPORTANT framework for analyzing the impact of mobility on performance of routing protocols for adhoc networks. Elsevier Ad Hoc Netw 1:383–403
- [91] Mangharam R, Weller D, Rajkumar R, Mudalige P (2006) GrooveNet: a hybrid simulator for vehicle-to-vehicle networks. In: IEEE Mobiquitous.
- [92] Bononi L, Di Felice M, D'Angelo G, Bracuto M, Donatiello L (2008) MoVES: A framework for parallel and distributed simulation of wireless vehicular ad hoc networks. Comput Netw 52(1):155–179
- [93] Jaap S, Bechler M, Wolf L (2005) Evaluation of routing protocols for vehicular ad hoc networks in city traffic scenarios. In: ITST
- [94] Härrä J, Fiore M, Filali F, Bonnet C (2011) Vehicular mobility simulation with VanetMobiSim. Simulation 87(4):275–300. Doi:10.1177/0037549709345997. <http://dx.doi.org/10.1177/0037549709345997>
- [95] Krajzewicz D, Hertkorn G, Rössel C, Wagner P (2002) SUMO (Simulation of Urban Mobility); An open-source traffic simulation. In: 4th Middle East symposium on simulation and modelling (MESM 2002), Sharjah, pp 183–187
- [96] Lownes NE, Machemehl RB (2006) VISSIM: a multi-parameter sensitivity analysis. In: 38th winter simulation conference (WSC '06). IEEE, Monterey, CA, pp 1406–1413. doi:10.1109/WSC.2006.323241
- [97] Sommer C, German R, Dressler F (2011) Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved IVC analysis. IEEE Trans Mobile Comput 10(1):3–15. doi:10.1109/TMC.2010.133
- [98] Rondinone M, Maneros J, Krajzewicz D, Bauza R, Cataldi P, Hrizi F, Gozalvez J, Kumar V, Röckl M, Lin L, Lazaro O, Leguay J, Härrä J, Vaz S, Lopez Y, Sepulcre M, Wetterwald M, Blokpoel R, Cartolano F (2013) iTETRIS: a modular simulation platform for the large scale evaluation of cooperative ITS applications. Simul Modell Pract Theory 34:99–125. doi:10.1016/j.simpat.2013.01.007
- [99] <http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/MainPage>.
- [100] Bai, F., Sadagopan, N., & Helmy, A. (2003). The IMPORTANT framework for analyzing the Impact of Mobility on Performance of Routing protocols for Adhoc Networks. Ad hoc networks, 1(4), 383-403.