

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa

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

## MÉMOIRE DE MASTER RECHERCHE

En  
Informatique

Option  
*Réseaux et Systèmes Distribués*

Thème

*Etat de l'art sur la Migration de  
Machines Virtuelles dans un Cloud  
Véhiculaire*

Présenté par : M<sup>lle</sup> MAMOURI Aldja

Devant le jury composé de :

Rapporteur : M<sup>me</sup> ZIDANI Ferroudja  
Examinatrice 1 : M<sup>me</sup> BOULEFKHAR Samra  
Examinatrice 2 : M<sup>me</sup> BACHIRI Lina

Promotion 2019/2020.

**\*\*\*\*\* Remerciements \*\*\*\*\***

*Je tiens tout d'abord à remercier dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail ainsi qu'à la réussite de ma formation universitaire.*

*Ce travail n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de M<sup>me</sup> ZIDANI Ferroudja qui m'a permis de bénéficier de la qualité de son encadrement. Je la remercie très chaleureusement pour ces judicieux conseils qu'elle m'a prodiguée et qui ont contribué à l'alimentation de ma réflexion, je la remercie aussi pour sa disponibilité durant la préparation de ce modeste travail.*

*Ma gratitude et mes remerciements vont aux membres de jurés,  
M<sup>ME</sup> BOULEFKHAR Samra et M<sup>me</sup> BACHIRI Lina  
Qui ont accepté de bien vouloir évaluer notre modeste travail*

*Je remercie en particulier ma chère famille et belle famille pour leurs encouragements, leurs soutiens et leurs patiences.*

*Un merci plus particulier à mon cher et tendre mari qui n'a jamais cessé de m'encourager à poursuivre mes études mais aussi il y a une autre raison qui m'a donné le courage de finir ce travail, c'est la naissance prochaine de mon premier enfant qui ne va pas tarder à venir et que j'ai hâte de tenir dans mes bras*

\*\*\*\*\*

# Table des matières

|   |   |
|---|---|
| <b>Table des matières</b> -----   |   |
| <b>Liste des abréviations</b> -----   |   |
| <b>Table des figures</b> -----  |   |
| <b>Liste des tableaux</b> -----   |   |
| Introduction générale .....   | 1 |
| I.1. Introduction.....  | 3 |
| I.2. Définition d'un réseau véhiculaire.....                                | 3 |
| I.3. Composants d'un réseau véhiculaire .....                               | 4 |
| I.3.1. Véhicule intelligent.....  | 4 |
| I.3.2. RSU (Road Side Unit).....  | 4 |
| I.3.3. CA (Central Authority) ou (Certificat Authority).....                | 5 |
| I.4. Modes de communication dans les réseaux véhiculaires .....             | 5 |
| I.4.1. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V).....                 | 5 |
| I.4.2. Mode de communication de Véhicule à Infrastructure (V2I ou I2V)..... | 5 |
| I.4.3. Communications hybrides (V2V-V2I ou I2V) .....                       | 6 |
| I.5. Technologies de communication .....                                    | 6 |
| I.5.1. Les réseaux cellulaires (2/2.1/2.71/3G) .....                        | 6 |
| I.5.2. Wifi et DSRC .....   | 7 |
| I.5.3. Mobile WiMax.....  | 7 |
| I.6. Caractéristiques d'un réseau véhiculaire .....                         | 7 |
| I.6.1. Energie (capacité et autonomie).....                                 | 8 |
| I.6.2. Topologie et connectivité.....                                       | 8 |
| I.6.3. Modèle de communication.....   | 8 |
| I.6.4. Capacités de traitement, de stockage et de communication.....        | 8 |
| I.6.5. Modèle de mobilité .....   | 8 |
| I.6.7. Densité du réseau .....  | 9 |

|  |    |
|--|----|
| I.6.8. Environnement de communication .....                                      | 9  |
| I.7. Types de messages.....  | 9  |
| I.7.1. Messages liés à la sécurité .....   | 9  |
| I.7.1.1. Messages de prévention (beacons) .....                                  | 9  |
| I.7.1.2. Message d’alerte (d’urgence) .....                                      | 10 |
| I.7.1.3. Message à valeur ajoutée .....  | 10 |
| I.8. Applications d’un réseau véhiculaires .....                                 | 10 |
| I.8.1. Application de sûreté et de sécurité routière .....                       | 10 |
| I.8.2. Applications de de gestion du trafic.....                                 | 10 |
| I.8.3. Applications d’informations et divertissements.....                       | 11 |
| I.9. Conclusion .....  | 11 |
| II.1. Introduction .....   | 12 |
| II.2. Cloud computing .....  | 12 |
| II.2.1. Définition d’un cloud Computing.....                                     | 12 |
| II.2.2. Caractéristiques du cloud Computing.....                                 | 13 |
| II.2.2.1. Accès libre-service et à la demande .....                              | 13 |
| II.2.2.2. Accès ubiquitaire à un vaste réseau.....                               | 13 |
| II.2.2.3. Regroupement de ressources .....                                       | 13 |
| II.2.2.4. Un ajustement souple est rapide (Élasticité) .....                     | 14 |
| II.2.2.5. Paiement au fur et à mesure (Pay as you go) .....                      | 14 |
| II.3. Virtualisation .....   | 14 |
| II.3.1. Rôle de la virtualisation .....  | 14 |
| II.3.2. L’hyperviseur et les machine virtuelle et couche de virtualisation ..... | 14 |
| II.3.3. Les avantages de la virtualisation .....                                 | 15 |
| II. 4. Virtualisation et cloud computing : quelles différences.....              | 17 |
| II.5. Services du cloud computing .....  | 17 |
| II.5.1. IAAS (Infrastructure as a Service) .....                                 | 17 |
| II.5.2. PAAS (Platform as a Service) .....                                       | 17 |

|  |    |
|--|----|
| II.5.3. SAAS (Software as a Service).....  | 18 |
| II.6. Différents Modèles de Déploiement du Cloud computing.....                  | 18 |
| II.6.1. Cloud public.....  | 19 |
| II.6.2. Cloud privé .....  | 19 |
| II.6.3. Cloud hybride .....  | 20 |
| II.7. Avantages et inconvénients du Cloud computing .....                        | 20 |
| II.7.1. Avantages .....  | 20 |
| II.7.2. Inconvénients.....   | 21 |
| II.8. Mobile Cloud Computing.....  | 21 |
| II.9. Cloud Computing véhiculaire .....  | 22 |
| II.9.1. Objectifs et fonctionnement.....   | 23 |
| II.9.2. Architecture du Cloud Computing véhiculaire.....                         | 24 |
| II.9.2.1. La couche intérieure du véhicule.....                                  | 24 |
| II.9.2.2. La couche communication.....   | 25 |
| II.9.2.3. La couche Cloud Computing.....   | 25 |
| II.9.3. Les services de Cloud Computing véhiculaire .....                        | 26 |
| II.9.3.1. Le calcul en tant que service (Computing as a service) .....           | 26 |
| II.9.3.2. Réseau en tant que service (Network as a service -NaaS) .....          | 27 |
| II.9.3.3. Stockage en tant que service (Storage as a service -STaaS) .....       | 27 |
| II.9.3.4. Coopération en tant que service (Cooperation as a service - CaaS)..... | 27 |
| II.10. Organisation des infrastructures du Cloud véhiculaire (VC).....           | 28 |
| II.10.1. Cloud véhiculaire statique .....  | 28 |
| II.10.2. Cloud véhiculaire dynamique .....                                       | 28 |
| II.11. Applications de cloud computing véhiculaire .....                         | 29 |
| II.11.1. Les applications de sécurité dans une très grande zone.....             | 29 |
| II.11.2. Alerte d'accident aux intersections.....                                | 29 |
| II.11.3. Partage de l'état de la route .....                                     | 29 |
| II.11.4. Gestion intelligente du stationnement ou des parkings .....             | 29 |

|  |    |
|--|----|
| II.11.5. Amélioration des signaux de circulation .....   | 30 |
| II.11.6. Cloud véhiculaire comme centre de données .....   | 30 |
| II.11.7. Entretien du véhicule .....   | 30 |
| II.11.8. Gestion de l'évacuation .....   | 30 |
| II.12. Problèmes liés au Cloud computing véhiculaire .....                                       | 31 |
| II.12.1. La gestion de ressources .....  | 31 |
| II.12.1.1. Estimation des ressources disponibles .....   | 31 |
| II.12.1.2. Allocation des ressources .....   | 31 |
| II.12.1.3. Migration de machine virtuelle dans le Cloud véhiculaire.....                         | 32 |
| II.12.2. La sécurité et la vie privée .....  | 32 |
| II.12.2.1. La confiance entre les membres du Cloud véhiculaire.....                              | 32 |
| II.12.2.2. Les nœuds malveillants et égoïstes .....  | 33 |
| II.12.2.3. L'anonymat et la vie privée des conducteurs .....                                     | 33 |
| II.12.2.4. Autres défis .....  | 33 |
| II.12.3. Rareté des ressources réseau.....   | 33 |
| II.12.4. Dispositifs et technologies hétérogènes.....  | 34 |
| II.12.5. Type de services et applications .....  | 34 |
| II.12.6. Évolutivité de l'architecture .....   | 35 |
| II.12.7. Coût des services .....   | 36 |
| II.12.8. Contrôle d'accès .....  | 36 |
| II.13. Conclusion.....   | 37 |
| III. 1. Introduction.....  | 38 |
| III.2. Vers des réseaux de véhicules basés sur le cloud avec une gestion efficace des ressources | 38 |
| III.2.1. L'architecture de réseaux de véhicules basée sur le cloud proposée .....                | 38 |
| III.2.1.1. Le cloud véhiculaire.....   | 39 |
| III.2.1. 2. Le cloud de bord de la route.....  | 40 |
| III.2.1. 3. Cloud central.....   | 40 |
| III.2.2. Une approche basée sur la théorie des jeux pour l'allocation des ressources.....        | 41 |

|   |    |
|---|----|
| III.2.2.1. Modèle basé sur la théorie des jeux pour l'allocation des ressources .....   | 41 |
| III.2.3. Un schéma de réservation de ressources pour la migration de machine virtuelle.....                                   | 42 |
| III.2.3.1. Un système de réservation de ressources.....   | 43 |
| III.2.3.2. Critique.....  | 44 |
| III.3. Virtualisation des ressources de nœuds véhiculaires: étude de faisabilité de la migration des machines virtuelles..... | 44 |
| III.3.1. Architecture.....  | 44 |
| III.3.2. Fonctionnement.....  | 45 |
| III.3.3. Evaluation.....  | 47 |
| III.3.4. Critique.....  | 47 |
| III.4. Migration et gestion de machines virtuelles pour les clouds véhiculaires.....  | 47 |
| III.4.1. Les algorithmes proposés .....   | 49 |
| III.4.1.1. VVMM-LW (Vehicular Virtual Ma-chine Migration with Least Workload) .....   | 49 |
| III.4.1.2. VVMM-MA (Vehicular Virtual Ma-chine Migration with Mobility-Awareness) .....                                       | 49 |
| III.4.1.3. MDWLAM (Mobility and Destination Workload Aware Migration).....  | 50 |
| III.4.2. Évaluation des performances.....   | 50 |
| III.4.3. Critique.....  | 52 |
| III.5. Migration dynamique de service et gestion des ressources pour les clouds véhiculaires....                              | 52 |
| III.5.1. Modèle de cloud véhiculaire .....  | 52 |
| III.5.2. Algorithme proposé.....  | 54 |
| III.5.3. Mesures de performance .....   | 56 |
| III.5.4. Critique.....  | 57 |
| III.6. Une nouvelle technique de planification des demandes pour une gestion efficace des ressources dans un cloud RSU.....   | 57 |
| III.6.1. Modèle du système utilisé .....  | 57 |
| III.6.2. Méthodologie proposée .....  | 58 |
| III.6.3. Critique.....  | 59 |
| III.7. Comparaison entre les différentes caractéristiques des solutions abordées.....   | 59 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| III.8. Conclusion .....  | 61 |
| Conclusion Générale..... | 62 |
| Bibliographie -----      | 63 |

## Liste des abréviations

|              |   |
|--------------|---|
| <b>CaaS</b>  | Containers as a Service.                      |
| <b>CC</b>    | Cloud Computing                               |
| <b>DSM</b>   | Dynamic Service Migration                     |
| <b>DSRC</b>  | Dedicated Short-Range Communications.         |
| <b>ECN</b>   | Electronic Chassis Number.                    |
| <b>ELP</b>   | Electronic License Plate.                     |
| <b>GPS</b>   | Global Positioning System.                    |
| <b>GVCC</b>  | Général Vehicular Cloud Computing             |
| <b>IaaS</b>  | Infrastructure as a Service.                  |
| <b>IEEE</b>  | Institute Electrical Electronics Engineers.   |
| <b>ISP</b>   | Internet Service Provider.                    |
| <b>ITSA</b>  | Intelligent Transportation Society of America |
| <b>LTE</b>   | Long Term Evolution                           |
| <b>MANET</b> | Mobile Ad hoc NETwork.                        |
| <b>MCC</b>   | Mobile Cloud Computing.                       |
| <b>MInP</b>  | Mobile Infrastructure Providers               |
| <b>MSP</b>   | Managed Service Provider                      |
| <b>NaaS</b>  | Network as a service                          |
| <b>OBU</b>   | On Board Unit.                                |
| <b>PaaS</b>  | Platform as a Service                         |
| <b>QoS</b>   | Quality of Service.                           |
| <b>RSU</b>   | Road Side Unit.                               |
| <b>SaaS</b>  | Software as a Service.                        |
| <b>STaaS</b> | Storage as a Service                          |
| <b>STI</b>   | Systèmes de Transport Intelligent.            |
| <b>SVCC</b>  | Specifique Vehicular Cloud Computing          |
| <b>UMTS</b>  | Universal Mobile Telecommunications System.   |
| <b>UR</b>    | User Request                                  |
| <b>V2I</b>   | Vehicle-to-Infrastructure                     |
| <b>V2V</b>   | Vehicle-to-Vehicle                            |
| <b>VANET</b> | Vehicular Ad-hoc NETworks.                    |

|              |  |
|--------------|--|
| <b>VCC</b>   | Vehicular cloud computing.                       |
| <b>VM</b>    | Virtual Machine.                                 |
| <b>VRC</b>   | virtuelles Ressource compter                     |
| <b>VVMM</b>  | Vehicular Virtual Machine Migration              |
| <b>WAVE</b>  | Wireless Access for the Vehicular Environment    |
| <b>WiMax</b> | Worldwide Interoperability for Microwave Access. |
| <b>WLAN</b>  | Wireless Local Area Network                      |

## Liste des figures

|                       |   |           |
|-----------------------|---|-----------|
| <b>Figure I.1 :</b>   | Exemple de réseau véhiculaire -----                                     | <b>2</b>  |
| <b>Figure I.2 :</b>   | Véhicule intelligent-----   | <b>3</b>  |
| <b>Figure I.3 :</b>   | On Board Unit (OBU) -----   | <b>3</b>  |
| <b>Figure I.4 :</b>   | Mode de communication dans un réseau véhiculaire -----                  | <b>5</b>  |
| <b>Figure II.1 :</b>  | Illustration du cloud computing. -----                                  | <b>12</b> |
| <b>Figure II.2 :</b>  | Création des ressources virtuelles propres à chaque VM. -----           | <b>14</b> |
| <b>Figure II.3 :</b>  | Architecture orienté service de Cloud computing -----                   | <b>17</b> |
| <b>Figure II.4 :</b>  | Les types de Cloud computing. -----                                     | <b>18</b> |
| <b>Figure II.5 :</b>  | Les sous-modèles du Cloud véhiculaire. -----                            | <b>22</b> |
| <b>Figure II.6 :</b>  | L'architecture générale du Cloud Computing véhiculaire -----            | <b>25</b> |
| <b>Figure II.7 :</b>  | Statique et dynamique VCC -----   | <b>27</b> |
| <b>Figure III.1 :</b> | Architecture de réseau véhiculaire basée sur le cloud -----             | <b>37</b> |
| <b>Figure III.2 :</b> | Migration de machine virtuelle entre deux nœuds mobiles en contact ---- | <b>45</b> |
| <b>Figure III.3 :</b> | Pseudocode général de migration de VM -----                             | <b>47</b> |
| <b>Figure III.4 :</b> | Grille de simulation -----  | <b>50</b> |
| <b>Figure III.5 :</b> | Grande zone urbaine avec quatre grilles -----                           | <b>52</b> |
| <b>Figure III.6 :</b> | Exemple de grille -----   | <b>52</b> |
| <b>Figure III.7 :</b> | Architecture du système -----   | <b>57</b> |

## Liste des tableaux

**Tableau III.1** : Tableau comparatif des différentes solutions abordées ----- 61

## Introduction générale

Les réseaux ad hoc de véhicules (VANET) jouent un rôle important dans la sécurité routière, une meilleure utilisation des feux de circulation, la gestion du trafic, etc. [SK<sub>a</sub>]. Ils comprennent également d'autres services comme les services de divertissement, un accès à Internet, des jeux en ligne et d'autres services similaires. Le besoin d'utiliser des applications tierces dans les véhicules est donc élevé, mais il a été remarqué que les capacités (calcul, stockage, bande passante) présentes dans les véhicules ne sont pas utilisées efficacement par les applications [MK, SK<sub>a</sub>, MA<sub>a</sub>]. Le cloud computing véhiculaire (VC) est un nouveau paradigme qui intègre deux domaines émergents, à savoir le cloud computing et les réseaux ad hoc véhiculaires. Son objectif initial est d'exploiter les ressources sous-utilisées des véhicules pour fournir un meilleur support pour les applications et les services complexes dans les véhicules et les systèmes de transport [MA<sub>a</sub>]. Ce qui à son tour réduit les dépenses d'investissement liées à l'expansion des centres de données traditionnels [SK<sub>b</sub>]. En effet, Le cloud computing véhiculaire peut être utilisé par le fournisseur de services cloud pour atténuer la charge de pointe des centres de données traditionnels.

Pour augmenter la convivialité des ressources mises à disposition par le cloud véhiculaire et une isolation entre les services exécutés par plusieurs utilisateurs, les machines virtuelles (VM) sont utilisées pour apporter un plus grand dynamisme dans l'utilisation des ressources [RI<sub>a</sub>]. Les machines virtuelles peuvent migrer d'un hôte physique à un autre pour garantir que les besoins en ressources peuvent être satisfaits. En raison des caractéristiques de mobilité des véhicules, ainsi que la dynamique de la quantité de ressources d'un cloud véhiculaire, la gestion et la migration des VM dans un cloud véhiculaire présente un défi considérable [BB]. La politique de migration des VM dans les clouds véhiculaires doit non seulement prendre en compte la capacité en ressources d'une machine, mais doit également surmonter les défis rencontrés dans les réseaux véhiculaires (la grande mobilité, les contraintes temps réel des applications de sécurité, etc.) sans affecter les performances du réseau et les services fournis par le cloud. [RI<sub>a</sub>, RI<sub>b</sub>]

Dans ce mémoire, on va présenter et critiquer quelques travaux et solutions qui ont été proposé pour faire face aux défis de la migration des VM dans le cloud véhiculaire. Il est organisé en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons les réseaux véhiculaires. Plus précisément, nous présentons leurs principales caractéristiques, une classification des applications susceptibles d'être déployées dans ce type de réseaux et les technologies d'accès sans fil pouvant être utilisées pour

permettre à ces applications de fonctionner. Nous décrivons également les types de messages relatifs aux applications de sécurité et les modes de communication.

Le deuxième chapitre est consacré aux concepts du Cloud véhiculaire. En tenant en considération que ce dernier est identifié comme une agrégation de deux paradigmes : Réseaux VANET et Cloud Computing, nous allons d'abord faire une présentation du cloud computing. Le mobile cloud computing (MCC) est également abordé brièvement dans ce chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous allons d'abord étudier et critiquer quelques travaux et solutions qui ont été proposés pour faire face aux défis de la migration des VM dans le cloud véhiculaire. Puis, nous allons établir un tableau pour résumer et comparer entre les différentes caractéristiques des solutions qui ont été abordées dans le chapitre (leurs principaux objectifs, l'approche utilisée pour trouver la solution optimale, les différents facteurs pris en compte dans la solution, le type d'évaluation, si elle repose sur une infrastructure et pour quel environnement elle est adaptée).

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives.

# CHAPITRE I

## LES RESEAUX VEHICULAIRES

## I.1. Introduction

Les techniques de communication mobile ont transformé l'industrie automobile en permettant une communication à tout moment et en tout lieu entre différents appareils. Cette facilité de communication et les grands progrès technologiques ont permis l'apparition du concept de Vehicular Ad-hoc NETWORKS (VANET) qui a ouvert des possibilités pour l'utilisation d'un large éventail de nouvelles applications. VANET se réfère à un réseau créé de manière ad hoc où différents véhicules en mouvement et autres dispositifs de connexion entrent en contact sur un support sans fil et échangent des informations utiles les uns avec les autres. L'une de ses applications concerne la sécurité routière qui consiste à renforcer la prévention routière et à munir nos voitures et nos routes de capacités permettant de réduire le nombre d'accidents et de rendre les routes plus sûres et plus conviviales.

Dans ce chapitre, nous présenterons les réseaux véhiculaires. On commence par la définition de ce type de réseau et de ses composantes puis on passe à la description de ses modes de communication et les technologies d'accès sans fil pouvant être utilisées pour établir ces communications. Nous présentons également leurs principales caractéristiques et les applications des réseaux véhiculaires, qui rendent ces réseaux intéressants.

## I.2. Définition d'un réseau véhiculaire

Un réseau véhiculaire, est une forme de réseau Ad-Hoc mobile ou MANET (Mobile Ad hoc NETWORK), pour fournir des communications au sein d'un groupe de véhicules à portée les uns des autres et entre les véhicules et les équipements fixes à portée, usuellement appelés équipements de la route ou RSU (Road Side Unit). [FZ], un exemple d'un réseau véhiculaire est illustre par la Figure I.1.

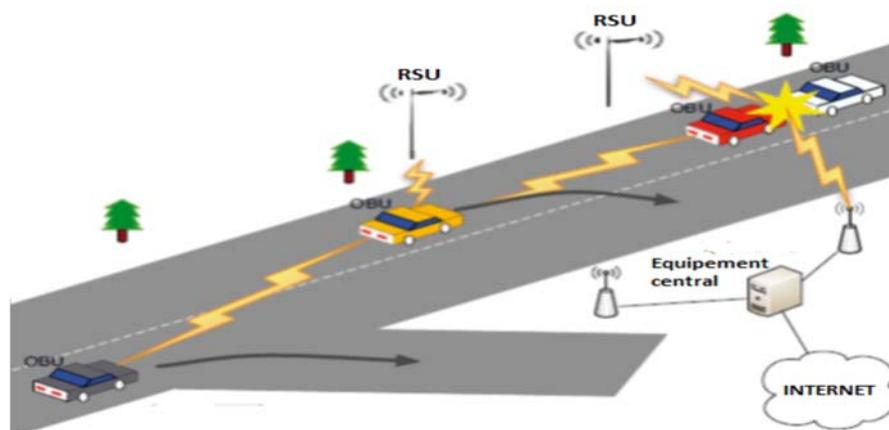


Figure I.1: Exemple de réseau véhiculaire. [FZ]

### I.3. Composants d'un réseau véhiculaire

Un réseau véhiculaire est composé de

#### I.3.1. Véhicule intelligent

Un véhicule intelligent, intègre essentiellement, un ensemble de capteurs (radar avant, radar de recul, etc.). Il est équipé d'un système de communication (qui peut être multi-interface), d'un système informatique, d'un dispositif d'enregistrement d'événements dont le fonctionnement est similaire à celui de la boîte noire d'un avion et d'un système de positionnement comme le GPS (Global Positioning System) par exemple, qui est essentiel pour localiser et aider à la conduite. La figure I.2 illustre un exemple de véhicule intelligent et les équipements le constituant.

L'ensemble de composants matériels et logiciels (GPS, radar, caméras, divers capteurs, processeur, etc.) dont le rôle est d'assurer la localisation, le calcul, le stockage et l'échange de données sur le réseau sont regroupés dans une seule unité appelée OBU (On Board Unit) (voir la figure I.3).

Pour des raisons de sécurité, un véhicule intelligent doit être équipé d'un **ELP** (Electronic License Plate) ou d'un **ECN** (Electronic Chassis Number) qui indique l'identité électronique du véhicule au lieu de l'identification conventionnelle par plaques d'immatriculation.

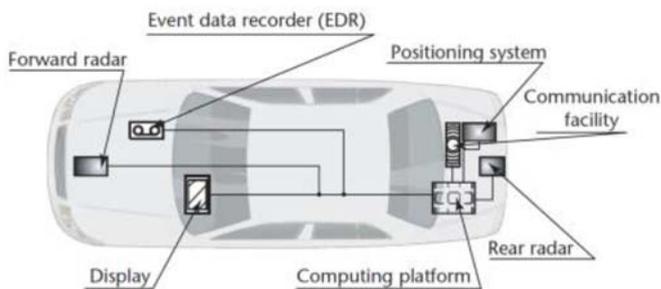


Figure I.2: Véhicule intelligent. [JP]



Figure I.3: On Board Unit (OBU) [OB]

#### I.3.2. RSU (Road Side Unit)

Le RSU est un dispositif de communication sans fil, il est généralement fixé au bord de la route ou à des emplacements spécifiques, tels que des intersections ou des espaces de stationnement. Le RSU est équipé d'un périphérique réseau pour une communication dédiée à courte portée. Il peut également être équipé d'autres périphériques réseau afin de pouvoir être utilisé à des fins de communication dans le réseau infrastructurel. Les principales fonctions et procédures associées à RSU sont [DM] :

- Extension de la portée de communication du réseau VANET en redistribuant les informations à d'autres OBU et en les transmettant à d'autres RSU afin d'atteindre d'autres OBUs.
- Exécution d'applications de sécurité telle qu'un avertissement d'accident ou une zone de travail.
- Fournir une connectivité Internet aux OBUs.

### **I.3.3. CA (Central Authority) ou (Certificat Authority)**

C'est une autorité de confiance, elle joue le rôle d'un serveur qui assure la sécurité des différents services (délivrance de certificats, de clés de communication et de stockage des données). [WB]

## **I.4. Modes de communication dans les réseaux véhiculaires**

Il est possible de reconnaître trois modes de communication pour les réseaux véhiculaires, à savoir les communications Véhicule-à-Véhicule (V2V), les communications Véhicule à Infrastructure (V2I) et les communications hybrides. Dans cette section, nous décrirons le principe de chaque mode.

### **I.4.1. Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V)**

Dans ce mode de communication, les véhicules collaborent d'une manière décentralisée sans s'appuyer sur une quelconque infrastructure. On parle dans ce cas d'un réseau ad hoc de véhicules (VANET) qui donne des communications moins coûteuses et plus flexibles. Ce mode de communication V2V peut être utilisé dans les scénarios de diffusion d'alerte (freinage d'urgence, collision, ralentissement, etc.) ou pour la conduite coopérative. En effet, dans le cadre des applications de sécurité routière, les réseaux à infrastructure montrent leurs limites, surtout en termes de délai et il semble plus rapide d'envoyer l'information directement aux autres véhicules plutôt que de la faire transiter par une station de base. Ce mode est aussi essentiel si certains équipements RSUs deviennent indisponibles pour assurer la disponibilité du service. [FZ]

### **I.4.2. Mode de communication de Véhicule à Infrastructure (V2I ou I2V)**

Ce mode de communication est établi entre les OBUs qui sont installés dans les véhicules et les RSUs, il assure une meilleure utilisation des ressources partagées et démultiplie les services fournis (par exemple : accès à Internet, échange de données de voiture à domicile, communications de voiture à garage de réparation pour le diagnostic distant, les informations sur les conditions routières, etc.). [FZ]

### I.4.3. Communications hybrides (V2V-V2I ou I2V)

La combinaison des deux modes de communications Véhicule à Véhicule et Véhicule à Infrastructure permet d'obtenir une communication hybride très intéressante. En effet, les portées des infrastructures étant limitées, l'utilisation de véhicules comme relais permet d'étendre cette portée. Dans un but économique et afin d'éviter la multiplication des stations de bases, l'utilisation des sauts par véhicules intermédiaires prend toute son importance. [FZ]

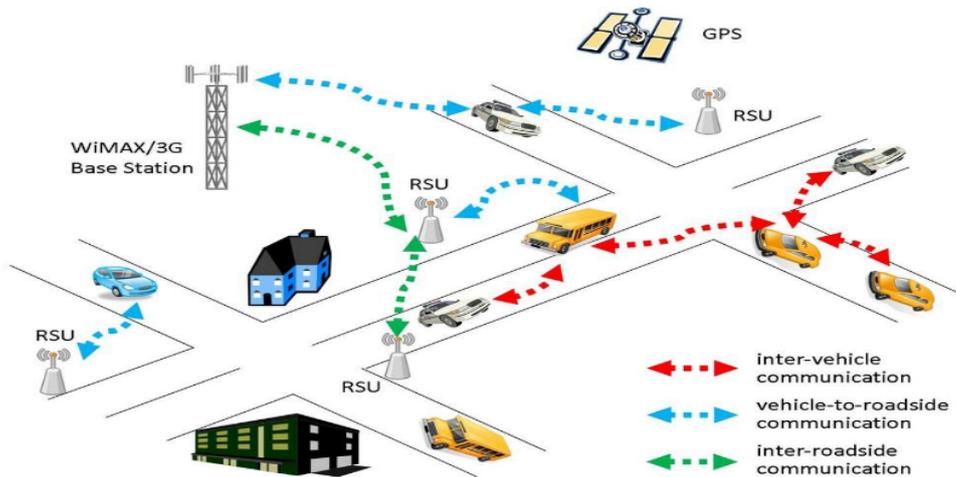


Figure I.4 : Mode de communication dans un réseau véhiculaire. [SG]

## I.5. Technologies de communication

Diverses technologies de communication peuvent être utilisées pour assurer les échanges de données dont le WiFi, le WiMax, les réseaux cellulaires et les systèmes DSRC. L'intérêt d'utiliser une technologie plutôt qu'une autre est étroitement lié au type d'applications envisagées. Les principales technologies d'accès sans fil sont décrites ci-dessous. [FZ]

### I.5.1. Les réseaux cellulaires (2/2.1/2.71/3G)

L'idée d'introduire les réseaux cellulaires dans les réseaux de véhicules est de permettre des communications V2I à longue distance à travers des infrastructures qui sont déjà existantes. Grâce au débit qu'ils offrent et leur support de la mobilité à grande vitesse, les réseaux cellulaires de troisième génération, comme l'UMTS et LTE, sont utilisés pour l'accès à Internet et les communications V2V. Cependant, l'inconvénient des réseaux cellulaires reste le problème de latence et le coût supplémentaire nécessaire pour l'utilisation des infrastructures des opérateurs. De plus, rien ne dit que les véhicules utiliseront le même opérateur. Il y aura donc un délai supplémentaire afin

d'atteindre le(s) réseau(x) opérateur(s) des autres véhicules. Cela explique donc pourquoi les réseaux cellulaires sont principalement utilisés pour les applications de confort.

### **I.5.2. Wifi et DSRC**

En raison du large déploiement des réseaux du type WLAN, de nombreux travaux de recherche ont été réalisés considérant cette technologie pour les communications en mode infrastructure ou en mode ad hoc. Cependant, les WLAN étant conçus pour les réseaux à faible mobilité et à faible portée et de nombreux travaux de recherche ont démontrés qu'à cause des caractéristiques uniques des VANETs, cette technologie ne peut pas être appliquée telle quelle due au taux de perte de paquets élevé à vitesse enlevée. Pour surmonter cette insuffisance, une nouvelle technologie de type WLAN a été proposée par l'ITSA (Intelligent Transportation Society of America) spécifiquement pour les communications dans les réseaux véhiculaires. Cette technologie, nommée DSRC (Dedicated Short-Range Communications) [JB, ST], se base sur une nouvelle variante de la norme IEEE 802.11a dite IEEE 802.11p [IE]. Elle définit essentiellement les services de sécurité et le format des messages.

DSRC est une technologie de communication à portée courte et moyenne (offre des portées de transmission qui peuvent atteindre les 1000 m), à latence très basse (garantit un temps de latence ne dépassant pas 10 ms) et capable de diffuser de l'information entre deux véhicules, à grande vitesse (supporte des vitesses allant jusqu'à 200km/h) et en temps réel. Ces caractéristiques permettent à DSRC de couvrir les exigences des communications à la fois d'informations périodiques et critiques et de supporter le déploiement d'une grande variété de services pour véhicules, en utilisant les deux modes de communication V2V et V2I.

### **I.5.3. Mobile WiMax**

Mobile WiMax, basé sur le standard 802.16e, constitue une autre possibilité pour la communication dans les réseaux véhiculaires. Les mécanismes sur lesquels se base cette norme lui permettent de supporter des vitesses allant jusqu' à 100km/h sur une zone de couverture de 10 km. Ces caractéristiques font de cette technologie une bonne option pour les scénarios urbains dans lesquels les véhicules peuvent être connectés avec un débit de données élevé à des stations de base pour l'acquisition d'informations.

## **I.6. Caractéristiques d'un réseau véhiculaire**

Les réseaux véhiculaires ont des caractéristiques spécifiques qui les distinguent des réseaux ad hoc mobiles parmi ces propriétés et contraintes en peut citer :

**I.6.1. Energie (capacité et autonomie)**

L'énergie n'est pas un défi majeur dans les VANETs comme les réseaux MANET, car les véhicules sont capables d'utiliser l'énergie en continu en utilisant la batterie longue durée. [DM]

**I.6.2. Topologie et connectivité**

Les réseaux VANETs sont caractérisés par une connectivité irrégulière et relativement faible, liée directement à la vitesse des véhicules, leurs déplacements aléatoires et leurs comportements face à des obstacles, qui peuvent réduire considérablement les durées des communications. En effet un véhicule peut rapidement rejoindre ou quitter un groupe de véhicules, ce qui rend les changements de topologie très fréquents et très dynamiques, constitués de plusieurs groupes séparés, ceci entraîne une réorganisation de la topologie du réseau. [MB]

**I.6.3. Modèle de communication**

Les réseaux VANETs ont été déployés principalement pour des raisons de sécurité routière (messages de prévention ou d'alerte). Ils doivent relier une source vers une multitude de destinations (véhicules ou infrastructures), Nous retrouvons ainsi, selon le type de message à envoyer, deux modèles de communication dominants : la diffusion totale (broadcast) et la diffusion multipoint vers une zone géographique définie (**géocast**). [FZ, MB]

**I.6.4. Capacités de traitement, de stockage et de communication**

Puisque les nœuds du réseau VANET sont des véhicules, ils peuvent être équipés d'une ressource informatique, comprenant des processeurs, une capacité de mémoire à grande vitesse, une capacité de stockage et différents types de capteurs. Ces ressources augmentent la capacité de calcul du véhicule, qui offre plus d'applications et de services que MANET. En outre, les véhicules sont caractérisés par la diversification de leurs modes de communications, car ils supportent multiples interfaces de communication (WIFI, Bluetooth, Radio, UMTS et autres). [DM, FZ]

**I.6.5. Modèle de mobilité**

Le modèle de mobilité des réseaux véhiculaires est lié à la diversité environnementale (urbaine, rurale ou autoroutière) et aux infrastructures routières (feux de circulation et limitations de vitesse). Dans une certaine mesure, il est possible de prévoir l'évolution des déplacements des véhicules grâce à leurs vitesses, leurs directions et surtout la connaissance des cartes routières. Car les déplacements des véhicules sont structurés par les routes et les rues. [MB, FZ]

**I.6.7. Densité du réseau**

La densité dans les VANETs peut varier en fonction de l'environnement (rural, ville, autoroute) et du temps (heures de pointe, tard la nuit ou tôt le matin). En effet, le trafic routier peut être très dense comme dans le cas des embouteillages durant les heures de pointe dans les grandes villes. Dans un environnement rural ou tôt le matin dans les villes, le trafic routier est faible et les véhicules sont dispersés. Dans le premier cas, le nombre de nœuds dans la portée de transmission d'un véhicule peut aller jusqu'à plusieurs centaines, ce qui pose plusieurs problèmes, tels que les interférences et les collisions de paquets. À l'inverse, quand les véhicules sont dispersés la connectivité entre eux n'est pas garantie, car un véhicule peut ne pas avoir de voisin pendant une longue durée. [FZ]

**I.6.8. Environnement de communication**

Contrairement aux environnements des réseaux Ad-hoc mobiles qui sont souvent stables et limités en espace (bâtiment, aéroport ou aérogare et centre commercial). Les réseaux VANETs sont caractérisés par la grande diversité de leurs environnements qui sont déployés dans la nature à grande échelle. Passant du milieu urbain qui présente différents obstacles (immeubles) qui peuvent réduire la qualité de transmission radio, à un environnement autoroutier affecté principalement par les très grandes vitesses des véhicules. [MB, FZ]

**I.7. Types de messages**

Les différents messages échangés dans les réseaux VANETs peuvent être facilement classés, selon leurs utilités et leurs contenus, en deux grands types de messages : des messages liés à la sécurité routière et des messages à valeur ajoutée.

**I.7.1. Messages liés à la sécurité**

Il existe différents messages liés à la sécurité

**I.7.1.1. Messages de prévention (beacons)**

Les messages de prévention contiennent souvent les informations relatives à l'identité et à l'état actuel du véhicule (position, vitesse, direction et autres). Ils sont diffusés périodiquement et sont utilisés principalement pour permettre à chaque véhicule d'être conscient de son environnement afin de prédire et d'anticiper des situations dangereuses ou de congestion sur la route. Ce type de message représente la base des applications de sécurité routière et jouent un rôle primordial dans la plupart des protocoles de routage. [MB, FZ]

**I.7.1.2. Message d'alerte (d'urgence)**

Les messages d'alerte sont envoyés uniquement pour prévenir les autres véhicules de différentes urgences et des catastrophes sur la route (accident, congestion de la circulation, information météorologique, passage d'un véhicule de secours et autres), afin qu'ils aient plus de temps pour agir. Ce type de messages contient en particulier les coordonnées du lieu de l'accident, une estampille temporelle et les paramètres de la zone de retransmission. Les véhicules sont plus ou moins concernés en fonction de leur position géographique et leur degré d'implication dans l'évènement. [MB, FZ]

**I.7.1.3. Message à valeur ajoutée**

Ce type de message peut contenir n'importe quelle autre information ou donnée. Il peut contenir des informations sur des services. Comme l'endroit des restaurants ou des hôtels. Il peut aussi contenir des données multimédias ou n'importe quelle donnée ou information, qui peut améliorer le confort des usagers de la route.

**I.8. Applications d'un réseau véhiculaires**

Les principales applications des réseaux véhiculaires peuvent être classées selon le service offert en trois grandes catégories : les applications de sécurité routière, les applications de gestion du trafic et les applications de confort ou de divertissement.

**I.8.1. Application de sûreté et de sécurité routière**

C'est les applications les plus importantes dans un réseau véhiculaire car elles ont pour but de réduire les risques d'accidents routiers et cela en fournissant aux conducteurs des données pertinentes pour qu'ils puissent prendre des décisions adéquates à temps.

Les véhicules rassemblent les données sur la situation des routes, puis ils les analysent dans le but d'avoir un état courant, si un risque d'incidents ou de collisions est détecté alors le véhicule diffuse un message d'alerte aux autres véhicules se situant dans son environnement pour les mettre au courant de la situation [FZ]. Comme exemple d'application de sécurité routière, nous citons : Avertissement de collision dans l'intersection, avertissement violation du panneau d'arrêt, avertissement vitesse du virage, Avertissement dépassement et changement de voie [FZ].

**I.8.2. Applications de de gestion du trafic**

Les applications de gestion du trafic sont utilisées par les conducteurs dans le but d'améliorer l'efficacité du trafic routier et ainsi de faciliter et d'optimiser leurs déplacements en les aidant à choisir des chemins et des routes moins encombrées et sans obstacles. En plus de gain

de temps, ce type d'application a des avantages sur le plan économique et écologique. Elles peuvent, par exemple, aider à réduire la consommation du carburant et à diminuer la pollution. En outre, les applications de gestion du trafic routier améliorent la sécurité routière en prévenant les accidents potentiels dus à la congestion.

### **I.8.3. Applications d'informations et divertissements**

Ces applications sont utilisées pour améliorer le confort et la commodité d'un conducteur et de ses passagers en leur fournissant des informations météorologiques ou des localisations (Disponibilité du stationnement, l'emplacement du restaurant, de la station-service ou de l'hôtel le plus proche et leurs prix, etc.). Elles permettent aussi un accès à des services basés sur internet (péage automatique des autoroutes, connexion à du contenu multimédia en ligne, etc.).

Pour fonctionner pleinement, le véhicule a besoin d'une puissance de calcul de plus en plus grande et d'une connexion quasi-continue. Afin de garantir cette contrainte, les réseaux véhiculaires font de plus en plus appel au Cloud.

## **I.9. Conclusion**

La naissance des réseaux véhiculaires a permis de résoudre de nombreux problèmes de sécurité routière et d'améliorer le bien-être du conducteur. En effet, ces réseaux de véhicule ont donné de nombreuses applications pour rendre l'expérience de la route plus efficace, plus sûre, plus convaincante, plus facile et plus agréable en réduisant le temps de déplacement, la congestion routière, en augmentant la capacité routière, en évitant les zones congestionnées et les situations d'urgence etc. Cependant, la motivation incessante de l'utilisation de ressources embarquées sous-utilisées pour les VANETs et les progrès de la technologie dans la gestion des ressources a favorisé le concept de Clouds véhiculaires.

Ce chapitre a donné un aperçu général des réseaux VANETs, le chapitre suivant va être consacré au Cloud Véhiculaire.

# CHAPITRE II

## LE RESEAU VEHICULAIRE EN CLOUD

## **II.1. Introduction**

Comme on l'avait vu dans le chapitre précédent, les VANETs ont permis à nos routes de se développer et de devenir plus intelligentes et plus interactives. Les véhicules actuels sont considérés comme un ordinateur sur routes parce qu'ils sont équipés avec un ordinateur de bord puissant, un dispositif de stockage de grande capacité, des émetteurs-récepteurs radio sensibles, des radars de collision et un appareil GPS.

Une évolution des VANETs est le réseau cloud véhiculaire (Vehicular Cloud, VC) qui a été développé pour exploiter les ressources sous-utilisées du véhicule telles que la connectivité réseau, la puissance de calcul, le stockage et la capacité de détection, qui peuvent être partagées avec les propriétaires de véhicules. L'idée de base des VCs est d'utiliser efficacement les ressources de VANET et ainsi fournir aux abonnés des services sûrs et en temps réel.

Le but de ce chapitre est de fournir une vue claire des fondamentaux du Cloud véhiculaire. En tenant en considération que ce dernier est identifié comme une agrégation de deux paradigmes : Réseaux VANET et Cloud Computing, nous allons d'abord faire une présentation du cloud computing. Le mobile cloud computing (MCC) est également et brièvement abordé dans la dernière section.

## **II.2. Cloud computing**

Depuis plusieurs années, la virtualisation et le Cloud Computing font partie des solutions pour stocker de grandes quantités de données et les rendre disponibles pour un client indépendamment de sa localisation et de l'appareil qu'il utilise.

### **II.2.1. Définition d'un cloud Computing**

Le Cloud Computing est un modèle qui permet un accès omniprésent, pratique, à la demande et avec n'importe quel appareil à un réseau partagé et à un ensemble de ressources informatiques configurables (des réseaux, des serveurs, du stockage, des applications et des services). Ces ressources peuvent être rapidement provisionnées et libérées avec un minimum d'effort de gestion ou d'interaction avec les fournisseurs des services. [MK] Un exemple d'un Cloud Computing est illustré par la figure suivante :

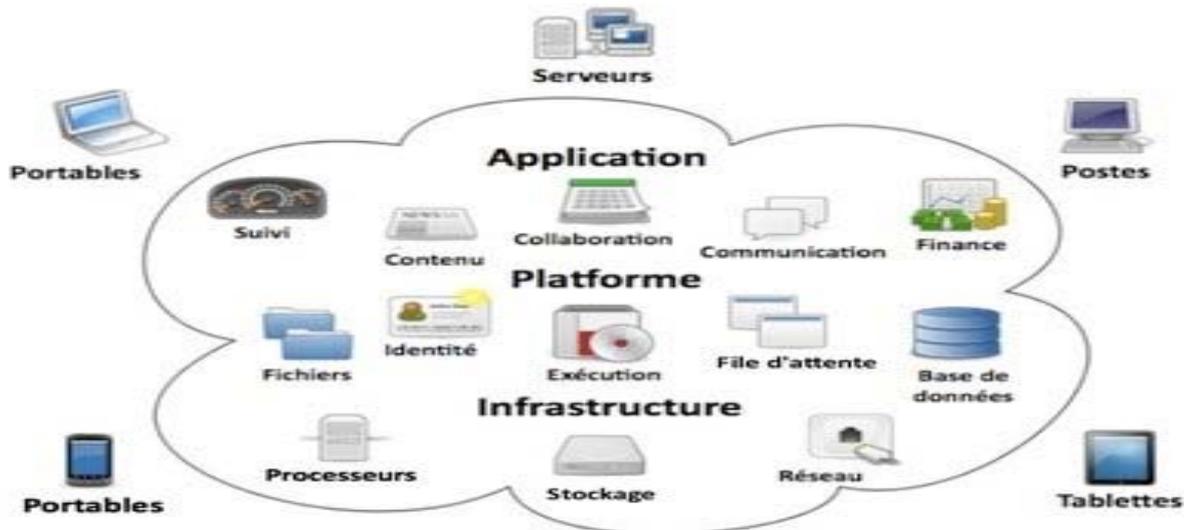


Figure II.1 : Illustration du cloud computing [HT<sub>a</sub>].

## II.2.2. Caractéristiques du cloud Computing

Le cloud computing se distingue par [MK] :

### II.2.2.1. Accès libre-service et à la demande

Le Cloud Computing permet à l'utilisateur final d'accéder à n'importe quelle ressource informatique à la demande au moment de son besoin, et un accès libre qui consiste au provisionnement des ressources sans interaction humaine entre l'utilisateur et le fournisseur de services.

### II.2.2.2. Accès ubiquitaire à un vaste réseau

Grâce au Cloud, les ressources sont accessibles sur le réseau de n'importe où, à tout moment et depuis des plateformes hétérogènes (tablettes, stations de travail, smartphones, etc.).

### II.2.2.3. Regroupement de ressources

Le Cloud Computing permet à plusieurs locataires de partager un bassin de ressources de manière dynamique. On peut partager une seule instance physique du matériel, une base de données et de l'infrastructure de base. Sur le Cloud, une même application peut être utilisée par plusieurs clients en même temps, en préservant la sécurité et les données privées de chaque client. Cela est possible en utilisant des outils de virtualisation qui permettent à une ressource de servir plusieurs utilisateurs et agir comme des machines séparées. Les différentes ressources physiques et virtuelles (par exemple, le stockage, le traitement, la mémoire et la bande passante du réseau)

sont attribuées dynamiquement et réaffectées aux clients en fonction de la demande des consommateurs [SZ].

#### **II.2.2.4. Un ajustement souple est rapide (Élasticité)**

Le Cloud computing se caractérise par la capacité de localiser et de libérer rapidement les ressources. Cela permettra aux consommateurs d'augmenter à tout moment les ressources dont ils ont besoin pour faire face aux charges lourdes et aux pics d'utilisation, puis de les réduire en retournant les ressources dans le regroupement une fois terminées [DM].

#### **II.2.2.5. Paiement au fur et à mesure (Pay as you go)**

Appelé aussi le service mesuré. L'utilisateur du service Cloud est facturé à l'usage, en fonction de sa consommation du service, un peu comme n'importe quel autre service public payant comme l'électricité, le gaz et l'eau. La facturation doit donc pouvoir s'adapter, à la hausse comme à la baisse, selon l'usage effectif du service [TM].

### **II.3. Virtualisation**

La virtualisation est une technologie permettant de créer une version ou une représentation virtuelle, basée logicielle, d'un objet, d'une ressource ou d'un équipement physique tel un serveur, un système de stockage ou un réseau. Ces ressources simulées ou émulées sont en tous points identiques à leur version physique [HT<sub>b</sub>].

#### **II.3.1. Rôle de la virtualisation**

L'objectif de la virtualisation est de faire fonctionner plusieurs ressources virtuelles sur une même infrastructure physique, comme si elles étaient chacune exécutées sur une entité distincte. Les capacités de chaque équipement et les ressources physiques d'une machine sont ainsi optimisées et mieux exploitées : grâce à une couche de virtualisation, les capacités du matériel (ou hardware) sont pleinement exploitées et on gagne en espace, en puissance, en flexibilité, en disponibilité et en sécurité.

#### **II.3.2. L'hyperviseur et les machine virtuelle et couche de virtualisation**

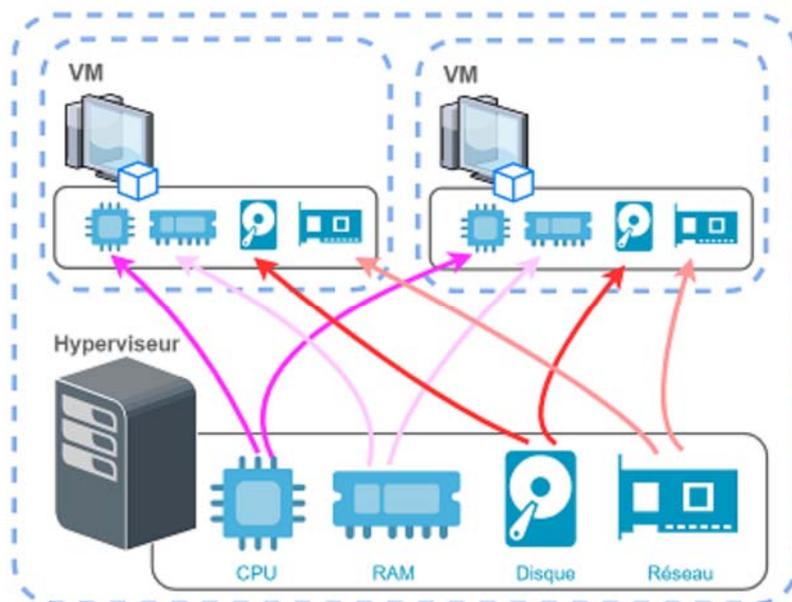
Au cœur du fonctionnement de la virtualisation se trouve l'hyperviseur. Il s'agit d'une couche logicielle installée sur le matériel physique qui permet de créer des environnements séparés et/ou d'exécuter de façon indépendante plusieurs applications sur la même machine physique. Ce programme a pour tâche de gérer l'ensemble des environnements virtualisés ou machine virtuelle (VM ou Virtual machine en anglais) ainsi mis en place sur chaque machine physique. L'hyperviseur a 2 rôles majeurs [HT<sub>b</sub>, SZ].

- **Créer des ressources virtuelles propres à chaque VM**

Dans un premier temps, il crée pour chaque VM des ressources virtuelles (voir Figure II.2). Les VMs ne vont pas aller se servir directement dans les ressources de la machine hôte (la machine physique), tout simplement car elles n'ont pas conscience d'être des VM hébergées sur un hôte. Et comme n'importe quelle machine physique, une VM aura donc son propre disque dur, sa mémoire, son processeur et ses périphériques, à la différence près que tout cela sera virtuel.

- **Répartir ses propres ressources**

Dans un second temps, l'hyperviseur joue le rôle de chef d'orchestre pour allouer à chaque VM les ressources dont elles ont besoin, au bon moment et dans les bonnes quantités (mais dans une certaine limite qui aura été fixée).



**Figure II.2** : Création des ressources virtuelles propres à chaque VM [SZ].

Chaque machine virtuelle possède son propre système d'exploitation. Ainsi, plusieurs VMs et donc plusieurs systèmes d'exploitation peuvent fonctionner simultanément à partir de la même infrastructure physique grâce à la virtualisation, ce qui renforce l'efficacité des infrastructures informatiques.

### II.3.3. Les avantages de la virtualisation

La virtualisation permet à plusieurs entités virtualisées de se partager les ressources d'une même infrastructure ou machine physique. Elle est avant tout très intéressante pour faire des économies de différentes sortes (matérielles, énergétiques, financières). Plusieurs aspects démontrent pour quelles raisons la virtualisation a pris autant d'ampleur :

➤ **Gain d'espace**

Grâce à la technologie de la virtualisation, plusieurs serveurs virtuels peuvent être utilisés à partir d'un nombre réduit de serveurs physiques.

➤ **Moindre consommation**

Comme un plus petit nombre de ressources physiques énergivores fonctionnent en même temps, la consommation diminue forcément. Traitement, stockage et distribution des données, les exigences pesant sur les serveurs augmentent. Avant cette technologie, chaque serveur hébergeait une seule application. Avec la virtualisation, les capacités et ressources des serveurs sont mieux exploitées, ce qui a également un impact écologique plus positif

➤ **Réduction des coûts**

En consommant moins d'énergie, on réduit également la facture d'énergie. De plus, on évite d'acquérir de multiples nouvelles ressources physiques (serveurs, processeur, routeurs, etc.) : cela signifie moins d'investissements, mais aussi de moindres coûts d'installation, de fonctionnement et de maintenance.

➤ **Optimisation des ressources**

Les charges de travail sont mieux réparties : des ressources physiques et de la bande passante sont requises pour que les utilisateurs aient accès aux applications hébergées. Leur répartition est gérée automatiquement entre les serveurs physiques, optimisant ainsi la puissance allouée à chacune.

➤ **Meilleure supervision**

La centralisation des ressources informatiques offre une gestion centralisée et simplifiée du parc informatique, qui peut comprendre jusqu'à plusieurs milliers de machines virtuelles, selon la taille de la structure. L'administrateur bénéficie d'une vue d'ensemble précise des serveurs, ou des Datacenter hébergeant le matériel physique et virtuel, et peut exercer une supervision en temps réel. Les éventuels incidents peuvent être détectés et traités plus rapidement, ce qui améliore la productivité des services informatiques.

➤ **Continuité de service**

La virtualisation offre une disponibilité accrue : les opérations de migrations (de déplacement) ou de sauvegardes, par exemple, peuvent être exécutées pendant l'exploitation, sans interruption de service. De plus, le plan de reprise d'activité est simplifié grâce à la virtualisation : comme les machines virtuelles fonctionnent indépendamment de l'infrastructure physique qui les héberge, en cas de panne ou d'arrêt du serveur physique, elles pourront être transférées (migrées) rapidement et redémarrer sur un autre serveur. La continuité est assurée et les activités de l'utilisateur final ne sont pas impactées.

## II. 4. Virtualisation et cloud computing : quelles différences

La virtualisation s'appuie sur des solutions logicielles pour mettre en place un ou plusieurs environnements virtuels à partir d'une même infrastructure physique, en les rendant indépendants de la machine physique. Le cloud computing est un système de partage de ressources informatiques via un réseau, généralement internet. Il met à disposition des utilisateurs des services (logiciels, applications, données, etc.) ou des dispositifs de stockage, de réseau ou de calcul en ligne, sans nécessiter d'installer de matériel ni de logiciel.

Ainsi, le cloud désigne l'ensemble de ressources virtuelles accessibles à la demande pour l'utilisateur, quel que soit le lieu et souvent sur une période limitée, par exemple via une facturation par abonnement.

## II.5. Services du cloud computing

Le Cloud Computing comprend trois modèles de service à savoir, l'IaaS (Infrastructure as a Service), le PaaS (Platform as a Service) et le SaaS (Software as a Service). Ces services sont généralement classés en se basant sur le concept de couche [PM, SZ]. (voir la figure II.3).

### II.5.1. IAAS (Infrastructure as a Service)

C'est la catégorie la plus rudimentaire des types de Cloud computing, l'IaaS fournit une infrastructure sous la forme d'un service pour le déploiement et l'exécution des applications, par exemple des serveurs, des capacités de calcul, des réseaux, un espace de stockage, de bande passante etc. Ces services sont offerts via l'internet et sous une forme de paiement à l'utilisation. Les clients de l'infrastructure ne paient que les ressources qu'ils consomment. L'utilisateur contrôle les systèmes d'exploitation, la capacité de stockage, et les applications déployées. Amazon EC2 (Amazon Elastic Compute Cloud)<sup>1</sup> est un exemple d'IaaS.

### II.5.2. PAAS (Platform as a Service)

Offre aux développeurs les outils nécessaires pour créer et héberger des applications web. La stratégie PaaS est conçue pour permettre aux utilisateurs d'accéder aux composants dont ils ont besoin afin de développer et d'implémenter rapidement des applications web ou mobiles sur Internet, sans devoir à se soucier de configurer ou de gérer l'infrastructure sous-jacente de serveurs, de stockage, de réseaux et autres bases de données.

---

<sup>1</sup> <https://aws.amazon.com/fr/ec2/>

Les plateformes de développement les plus connues sont proposées par de grands éditeurs de logiciels en tant que services tels que Google App Engine<sup>2</sup> et la plate-forme Azure de Microsoft<sup>3</sup>.

### II.5.3. SAAS (Software as a Service)

Ce modèle est utilisé pour les applications web. La stratégie SaaS est une méthode de distribution d'applications logicielles sur Internet, où les fournisseurs de Cloud hébergent et gèrent les applications logicielles, ce qui facilite la mise à disposition d'une même application sur tous nos appareils en même temps, via un accès dans le Cloud. Ce modèle a presque le prix d'un forfait tel que le paiement mensuel qui couvrira le coût de maintenance des applications, les frais de licence et le coût du support technique (i. e. Au lieu d'acheter le logiciel et de l'installer sur leur système, les utilisateurs louent le logiciel en payant à l'utilisation ou un abonnement).

Le Software as a service (SaaS) permet aux utilisateurs de se connecter à des applications Cloud et de les utiliser via Internet. Les exemples les plus courants sont les outils de messagerie, de calendrier et les outils de bureautique, comme Microsoft Office.

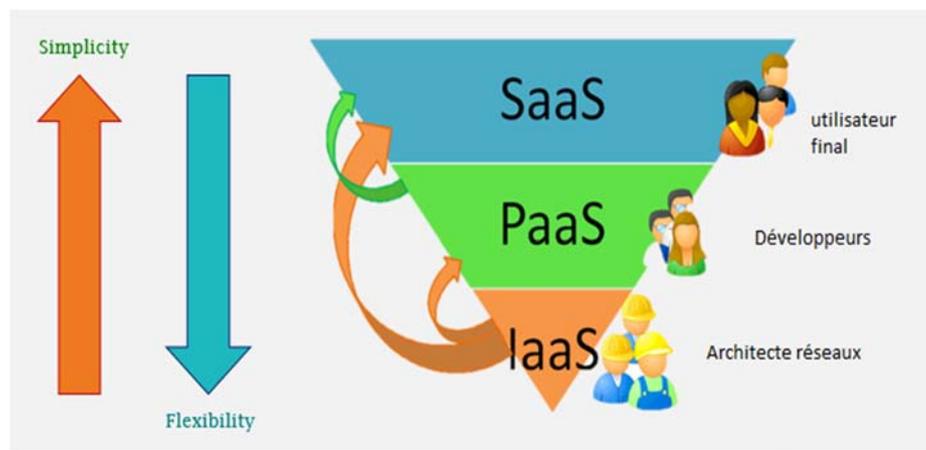


Figure II.3: Architecture orientée service de Cloud computing [HTc].

## II.6. Différents Modèles de Déploiement du Cloud computing

Le déploiement de Cloud Computing peut varier selon les besoins. Nous présentons les trois modèles de déploiement, associés à trois types de Cloud computing comme montré dans la figure (II.4.)

<sup>2</sup> <http://appengine.google.com>

<sup>3</sup> <https://azure.microsoft.com/fr-fr/>



Figure II.4 : Les types de Cloud computing [NH].

### II.6.1. Cloud public

Le Cloud public, est généralement ouvert pour une utilisation par le grand public sur Internet. Le grand public peut être défini par des utilisateurs, un organisme commercial, universitaire ou gouvernemental, ou une combinaison entre eux. Avec ce modèle, les utilisateurs (les clients) n'ont ni visibilité ni contrôle sur l'emplacement de l'infrastructure.

Les services de Cloud public sont vendus ou loués sur demande. Les clients payent uniquement pour les cycles des CPU, le stockage ou la bande passante qu'ils consomment.

Amazon, Google, Microsoft, et Salesforce proposent un Cloud public dans lequel n'importe quel particulier ou n'importe quelle entreprise peut y héberger ses applications, ses services ou ses données.

### II.6.2. Cloud privé

Un Cloud privé est une infrastructure entièrement dédiée à une entreprise unique, pouvant être gérée en interne ou par un tiers, et hébergée en interne ou en externe. Ce modèle offre une versatilité aux entreprises, tout en préservant la gestion, le contrôle et la sécurité.

Les avantages de ce modèle sont l'accès en self-service à l'interface de contrôle, permettant à l'équipe informatique un approvisionnement rapide, et l'allocation ou la livraison de ressources informatiques à la demande. De même, la gestion des ressources est automatisée, aussi bien pour le stockage ou l'analyse. De même, la sécurité et la gouvernance sont conçues sur mesure pour les besoins spécifiques de l'entreprise.

Eucalyptus, OpenNebula et OpenStack sont des exemples de solutions pour la mise en place du Cloud privé.

### II.6.3. Cloud hybride

Le Cloud hybride est le croisement entre le Cloud public et le Cloud privé. Les entreprises peuvent par exemple effectuer des tâches très importantes ou des applications sensibles sur le Cloud privé, et utiliser le Cloud public pour les tâches nécessitant une scalabilité des ressources. L'approche hybride du Cloud Computing sera la solution pour les entreprises qui auraient la possibilité de ne pas externaliser les données confidentielles ou les applications sensibles. L'objectif du Cloud hybride est de créer un environnement unifié, automatisé et scalable tirant avantage des infrastructures de Cloud public tout en maintenant un contrôle total sur les données.

## II.7. Avantages et inconvénients du Cloud computing

Le Cloud computing est une technologie d'actualité donc il est important de connaître ses avantages et ses inconvénients [SZ, NH].

### II.7.1. Avantages

Certains des avantages, très pertinents, concernant l'utilisation d'un Cloud peuvent être les suivants :

- Réduire le coût de gestion et de l'investissement initial : avec le Cloud les entreprises ne se soucient pas de la gestion des ressources ou du personnel nécessaire à la supervision de leurs plateformes. Le Cloud minimise les risques commerciaux
- Fournir une infrastructure dynamique qui offre des coûts réduits et des services améliorés avec moins de coûts de développement et de maintenance
- Fournir des services à la demande, flexibles, évolutifs, améliorés et adaptables grâce au modèle de paiement à l'usage « *Pay-as-you-go* »
- Fournir une disponibilité et des performances cohérentes avec des charges maximales provisionnées automatiquement. Ceci est soutenu par des interfaces simples qui donnent le pouvoir de choix même au personnel le plus courant.
- Se rétablir rapidement et améliorer les capacités de restauration pour améliorer la résilience des entreprises
- Fournir une capacité de traitement, de stockage, de réseau illimité, etc. de manière élastique
- Offrir des mises à jour automatiques de logiciels, compatibilité du format de document améliorée et compatibilité améliorée entre les différents systèmes d'exploitation
- Permettre à l'utilisateur de se connecter à ses applications et son flux de travail à tout moment et à partir de n'importe quel type d'appareil.

- Offrir une collaboration du groupe facile, c'est-à-dire une flexibilité pour les utilisateurs à l'échelle mondiale de travailler ensemble sur le même projet et de partager des informations si nécessaires
- Offrir un calcul respectueux de l'environnement car il utilise uniquement l'espace serveur requis par l'application.
- Eviter le problème de l'ordinateur perdu ou piraté et des documents confidentiels perdus dans la nature en stockant des données (les mots de passe et identifiants de connexion, etc.) sur le Cloud.

### **II.7.2. Inconvénients**

Parmi ses inconvénients on peut citer :

- **Connexion** : L'utilisateur ne pourra accéder à sa plateforme de travail en l'absence de connexion internet, ou avec une connexion insuffisante.
- **Perte de données** : les services en Cloud sont ciblés pour des attaques et donc ouverts à être infectés de Virus. Cela pourrait conduire à des pertes de données qui pourraient être très désastreuses pour les utilisateurs de Cloud.
- **Sécurité** : la plateforme cloud, si elle est externe (non installée sur le réseau interne ou avec une ouverture extérieure) doit être suffisamment sécurisée pour éviter le risque d'intrusion, de vol des données par piratage. L'autre risque est qu'un utilisateur peut oublier de se déconnecter sur un appareil accessible par des éléments externes à l'organisation.

### **II.8. Mobile Cloud Computing**

Le Mobile Cloud Computing (Mobile Cloud Computing, MCC) dans sa simplicité se réfère à une infrastructure où, à la fois, le stockage et le traitement de données se produisent en dehors de l'appareil mobile. Les applications du Cloud mobiles transfèrent le stockage de données et la puissance de calcul à une plateforme puissante située dans le Cloud, afin que les utilisateurs mobiles dotés de capacités informatiques limitées puissent bénéficier des ressources Cloud.

Dans [MG], de nombreux utilisateurs peuvent être servis grâce à la mise en commun des ressources et les services sont accessibles partout dans le monde. Les appareils mobiles n'ont pas besoin d'une configuration puissante (ex. la vitesse de CPU et une grande capacité de stockage) puisque tous les modules complexes en termes de gestion peuvent être traités dans le Cloud. [MG, DMF, MB].

Dans la section suivante, nous parlons de VC en tant que version informatique particulière du MCC.

## II.9. Cloud Computing véhiculaire

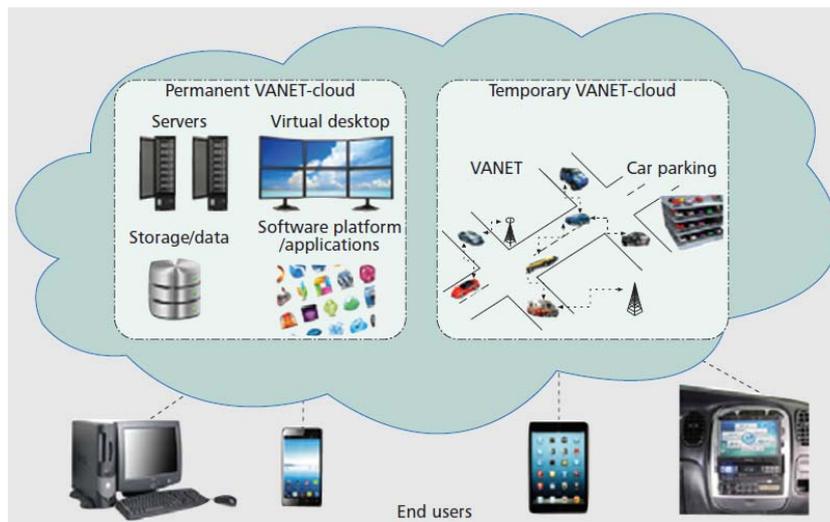
Le Cloud Computing véhiculaire est une extension du cloud computing mobile basé sur le réseau véhiculaire. Il consiste à exploiter de manière optimale et efficace les ressources véhiculaires et infrastructurelles sous-utilisées. Ces ressources sont représentées par des capacités telles que le traitement, la communication, le stockage et la détection, qui peuvent être récoltées dynamiquement dans des groupes de véhicules grâce à l'autorisation et à l'accord des propriétaires et des conducteurs. Dans le VC, les véhicules sont transformés en fournisseurs et consommateurs de services. Ils peuvent collaborer pour partager librement leurs ressources afin d'exécuter leurs applications ou effectuer certaines tâches, ou les louer à la demande aux consommateurs, ce qui peut apporter des avantages significatifs aux différents agents impliqués dans le réseau de véhicules (conducteurs, passagers, autorités de la circulation, police, etc.). Les propriétaires des véhicules peuvent, par exemple, recevoir des incitations, y compris un parking gratuit, des recharges gratuites et des connexions Internet gratuites pendant que leur véhicule sont sur le réseau VC [TM, MW].

Comme le montre la figure II.5, le modèle du Cloud Computing véhiculaire est formé de deux sous-modèles [SB].

- Le sous-modèle de Cloud permanent (stationnaire) constitué de centres de données stationnaires et virtualisés, y compris l'infrastructure de cloud computing traditionnelle. Ces centres de données sont interconnectés à travers les réseaux traditionnels, fournissant plusieurs fonctionnalités informatiques et services aux utilisateurs finaux et

- Le sous-modèle de Cloud temporaire (mobile) qui est composé d'un ensemble de ressources informatiques mobiles et véhiculaires telles que les ordinateurs de bord des véhicules et les appareils informatiques des passagers qui ne sont pas utilisés par le cloud computing traditionnel. Ces ressources (situées initialement dans la zone des véhicules) sont interconnectées via le réseau VANET.

Le Cloud véhiculaire tire parti du Cloud conventionnel et le met à la disposition des entités VANET tels que les véhicules et les RSU (Road Side Unit). De l'autre côté, il rend les ressources informatiques des VANETs disponibles à un client contre un prix de location.



**Figure II.5** : Les sous-modèles du Cloud véhiculaire [SB].

### II.9.1. Objectifs et fonctionnement

Les véhicules modernes sont intelligents et contiennent déjà de solides ressources informatiques, de communication, de stockage et d'énergie. Ces caractéristiques les différencient des appareils mobiles, qui sont supposés présenter des ressources limitées. Le VC, dans ce cas, fonctionne dans le sens opposé du paradigme MCC. Le MCC tente de tirer parti des capacités des appareils tandis que le VC permet de récolter les ressources sous-utilisées ou disponibles du véhicule [AB].

En raison des intérêts pratiques de l'infrastructure de transport et des services cloud déjà existants, VC a ouvert des possibilités pour un grand nombre d'applications potentielles. Parmi ces applications, une proposition de composition et de construction d'un centre de données dans les parkings et les espaces de stationnement de l'aéroport était notable en raison de son faible niveau de complexité et de facilité de mise en œuvre. L'applicabilité de cette approche réside dans l'existence d'un grand nombre de véhicules dans les garages des entreprises ou les parkings des centres commerciaux et de l'aéroport qui restent immobiles pendant une durée raisonnable. Parallèlement à cette condition, le stockage à bord de ces véhicules est agrégé comme élément fondamental de l'assemblage d'un centre de données. Certains propriétaires de véhicules peuvent accepter de louer les excédents de ressources à bord de leurs véhicules, tout comme les détenteurs d'immenses installations de calcul et de stockage qui louent leur capacité excédentaire et en tirent des avantages économiques. De même, la congestion du trafic est une préoccupation cruciale dans les zones urbaines et elle ne cesse de croître en raison du nombre croissant de véhicules sur les routes. La condition d'être dans un trafic encombré conduit à une position où les conducteurs

pourraient accepter de partager leurs ressources informatiques à bord avec le système de gestion du trafic. Les véhicules, dans ce cas, peuvent recevoir la charge partitionnée des calculs de traitement et des simulations d'exécution. Ces tâches pourraient faire partie d'une procédure de détermination de solutions alternatives pour réduire la congestion grâce au contrôle des feux de circulation. De plus, plusieurs travaux ont mis au point d'autres applications potentielles du Cloud véhiculaire, telles que l'optimisation dynamique des feux de circulation, la gestion des évacuations projetées et l'attribution dynamique des voies très fréquentées aux véhicules [MB, AB].

Au final, nos voitures passent beaucoup de temps sur la route et peuvent faire face à des emplacements dynamiques. Dans ce cas, les véhicules aideront les consultants locaux à résoudre les incidents de circulation en temps opportun, ce qui n'est pas possible avec les centres de gestion de la circulation municipaux uniquement en raison du manque de ressources de calcul adéquats [MB, MW].

En fin de compte, en utilisant des ressources autonomes et auto-organisées, les véhicules serviront à la demande en temps réel pour résoudre des problèmes importants et sérieux d'événements inattendus. Les nouveaux Clouds véhiculaires aideront à résoudre les problèmes techniques et contribueront à la complexité des systèmes de transport avec leur comportement évolutif [MB, AB].

## **II.9.2. Architecture du Cloud Computing véhiculaire**

L'architecture du Cloud Computing Véhiculaire, comme l'illustre la figure II.6 se base sur trois couches, qui sont, l'intérieur du véhicule, le Cloud Computing et la communication.

### **II.9.2.1. La couche intérieure du véhicule**

Elle est également appelée couche embarquée. Elle permet aux véhicules de détecter l'état de l'environnement, l'état de la route, le comportement des conducteurs pour prédire leurs réflexes et leurs intentions, et de recueillir des informations relatives à la voiture telles que la pression et la température. Pour cela un certain nombre de capteurs (les capteurs environnementaux, les capteurs internes de véhicules, les capteurs de smartphones, les capteurs de reconnaissance du comportement du conducteur, etc.) sont utilisés. Chaque véhicule présente également des unités de calcul et de stockage, complétant sa suite sophistiquée de capteurs intégrés. Ces éléments comprennent les blocs de base qui forment les ressources de Cloud Computing [AB, MW].

Les informations rassemblées sont stockées sur le Cloud ou considérées comme entrées pour d'autres logiciels dans la couche application [AB, MW].

**II.9.2.2. La couche communication**

Cette couche est utilisée pour permettre la communication entre les véhicules et les Clouds véhiculaires via des dispositifs de communication cellulaire 3G ou 4G, Wi-Fi, WiMax, accès sans fil dans un environnement de véhicule (WAVE), ou le DSRC.

**II.9.2.3. La couche Cloud Computing**

Elle offre les différents services cloud (informatique, stockage, applications...). Elle est constituée de cinq sous-couches. [MW, AB]

➤ **Ressources de cloud computing** : L'un des avantages les plus importants de VC est l'agrégation de données en utilisant le stockage dans le Cloud, où diverses agences gouvernementales et privées, en particulier la police ou le département de météorologie peuvent utiliser les données stockées dans le Cloud pour effectuer diverses études. La partie de calcul peut effectuer des calculs massifs et complexes en un temps minimal.

➤ **Couche de virtualisation** : La technologie de virtualisation prend en charge de manière flexible l'accès à la puissance de calcul, au stockage et aux informations liées au trafic.

➤ **Services cloud véhiculaires** : Englobe les services primaires déployés (implémentés) dans le Cloud véhiculaire, tels que le réseau en tant que service (NaaS : Network as a service), le stockage en tant que service (STaaS), la coopération en tant que service (CaaS : Containers as a Service.), et le calcul en tant que service (CaaS).

➤ **API** : rend disponibles les services primaires du Cloud véhiculaire et permet le développement d'une large gamme d'applications.

➤ **Applications** : comprends de nombreuses applications. Les utilisateurs finaux autorisés, tels que le système de gestion du trafic ou les conducteurs, peuvent accéder à ces applications à distance via Internet.

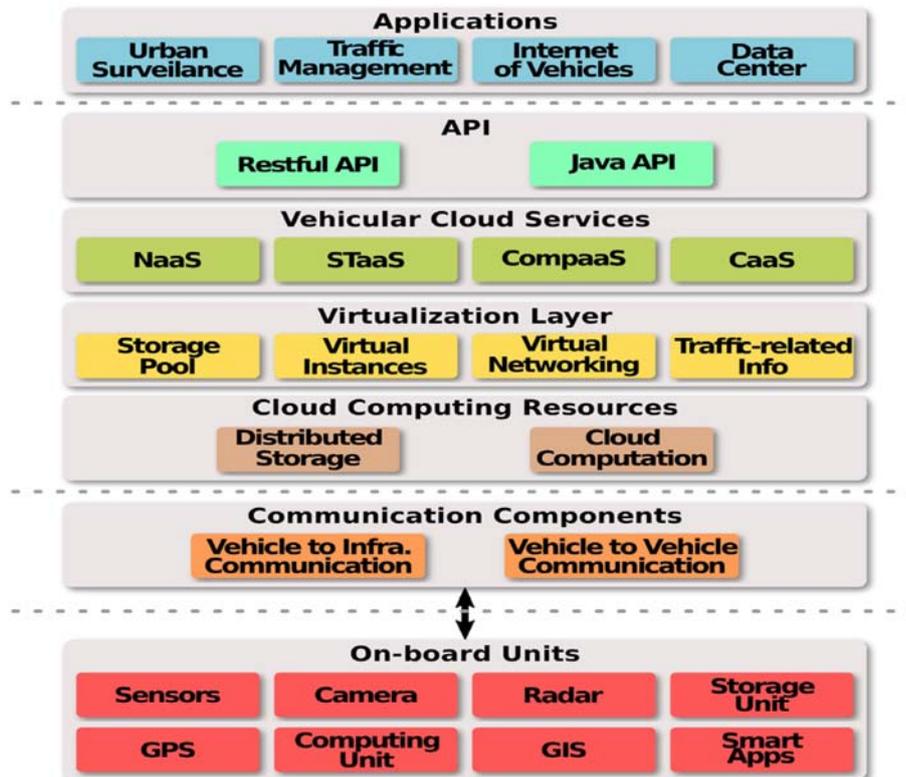


Figure II.6 : L'architecture générale du Cloud Computing véhiculaire [AB].

### II.9.3. Les services de Cloud Computing véhiculaire

Le VC peut permettre une grande variété de services. Cette large gamme de services est regroupée en plusieurs catégories de types de services, dont les plus importantes sont le calcul en tant que service, le réseau en tant que service (NaaS), le stockage en tant que service (STaaS) et la coopération en tant que service (CaaS).

#### II.9.3.1. Le calcul en tant que service (Computing as a service)

Il traite l'agrégation des ressources de calcul disponibles et inutilisées des véhicules, en les rendant accessibles aux utilisateurs autorisés par le biais d'un service. Le Cloud Computing véhiculaire consiste en un concept très récent qui traite d'un contexte très sensible et complexe : l'exploration des ressources informatiques dans des environnements très mobiles. L'étude menée dans [SA<sub>b</sub>] peut servir à estimer les capacités de calcul possibles dans un parking, où les véhicules restent immobiles pendant une durée prévisible. Le défi dans cette situation est de savoir comment définir un modèle approprié qui permet une migration efficace des tâches à l'intérieur et à partir des véhicules stationnés, en redistribuant les tâches lorsque les véhicules quittent ou arrivent sur le parking. Dans ce cas, le modèle doit tenir compte de la charge de migration, qui implique la suspension des tâches, la sauvegarde de leur statut d'exécution, l'identification de nouveaux hôtes

et le transfert des travaux, tous ces facteurs sont essentiels pour déterminer la faisabilité du déchargement des tâches dans de tels scénarios dynamiques [AB].

### **II.9.3.2. Réseau en tant que service (Network as a service -NaaS)**

Le NaaS est basé sur l'hypothèse que des conducteurs sur la route ont une connectivité continue à Internet via des réseaux cellulaires et d'autres points d'accès fixes et que cette ressource réseau devrait être sous-utilisée par de nombreux conducteurs. Cette importante ressource peut être partagée entre les chauffeurs sur la route, fournissant Internet à ceux intéressés à la louer. Le conducteur qui accepte de partager sa connexion réseau doit publier ses informations auprès de tous les autres véhicules autour de lui [MW, AB].

### **II.9.3.3. Stockage en tant que service (Storage as a service -STaaS)**

Le STaaS est basé sur le fait que chaque véhicule moderne est supposé être équipé d'une grande capacité de stockage et il est intéressant de rendre ses capacités de stockage accessibles depuis Internet pour l'échange de données ou de fichiers. Par exemple, les auteurs du [SA<sub>a</sub>] ont déterminé des paramètres qui conditionnent la conception et la mise en œuvre d'un centre de données dans le parking d'un aéroport international pour exploiter la disponibilité des ressources embarquées des véhicules stationnés. Les propriétaires de ces véhicules peuvent bénéficier d'un stationnement gratuit ou de services automobiles pour les encourager et les motiver à partager les ressources non utilisées afin de construire le cloud véhiculaire [AB, MA<sub>b</sub>].

### **II.9.3.4. Coopération en tant que service (Cooperation as a service - CaaS)**

Les réseaux de véhicules offrent une variété de nouveaux services, tels que la sécurité des conducteurs, les informations sur la circulation, les avertissements d'embouteillages et d'accidents, les conditions météorologiques ou routières, la disponibilité du stationnement et les publicités [MW]. La collaboration coordonnée entre les véhicules présente un large éventail d'avantages pour le système et les applications. La collaboration favorise la collecte de données et le traitement des tâches sous une forme régulée à la demande. Par exemple, un optimiseur d'itinéraire de véhicule assisté par navigateur (Navigator Assisted Vehicular route Optimizer, NAVOPT), développé en [NH], s'est concentré sur la composition d'un serveur de navigation embarqué. Le serveur s'appuie sur le Cloud traditionnel et la coopération des véhicules qui participent à un Cloud véhiculaire. Chaque véhicule du système proposé est responsable de la détection de sa position géographique via son appareil GPS et de la transmission de ces informations au serveur de navigation via une communication sans fil. Le serveur agrège les données de plusieurs véhicules et construit une carte de charge de trafic pour une zone donnée. Il

détermine également des itinéraires optimaux pour chaque véhicule, renvoyant ce chemin optimisé à son véhicule respectif. [AB].

## II.10. Organisation des infrastructures du Cloud véhiculaire (VC)

La mobilité de l'environnement permet de classer le Cloud computing véhiculaire temporaire en deux types : le Cloud véhiculaire statique et le Cloud véhiculaire dynamique [ZE].

### II.10.1. Cloud véhiculaire statique

Un cloud véhiculaire statique est assemblés par l'agrégation de ressources de véhicules qui ne montrent aucun mouvement, ces véhicules sont immobiles et reposent dans un parking, par exemple. Dans ce cas particulier, le VC ressemble à un Cloud traditionnel car les véhicules affichent un comportement de longue durée.

### II.10.2. Cloud véhiculaire dynamique

Ce type de VC contient des Cloudlets véhiculaires qui se forment dynamiquement à cause de la grande mobilité des véhicules et du changement rapide de leurs positions. L'un des véhicules sur le cloud, connu sous le nom de tête de Cloudlets est responsable d'inviter tous les véhicules proches à se joindre à la formation dynamique du Cloud véhiculaire. Les applications qui dépendent de changements dynamiques et rapides de l'environnement urbain peuvent bénéficier de ces Cloudlets dynamiques, elles peuvent aider le système de transport en cas de problèmes de circulation ou de situations d'urgence.

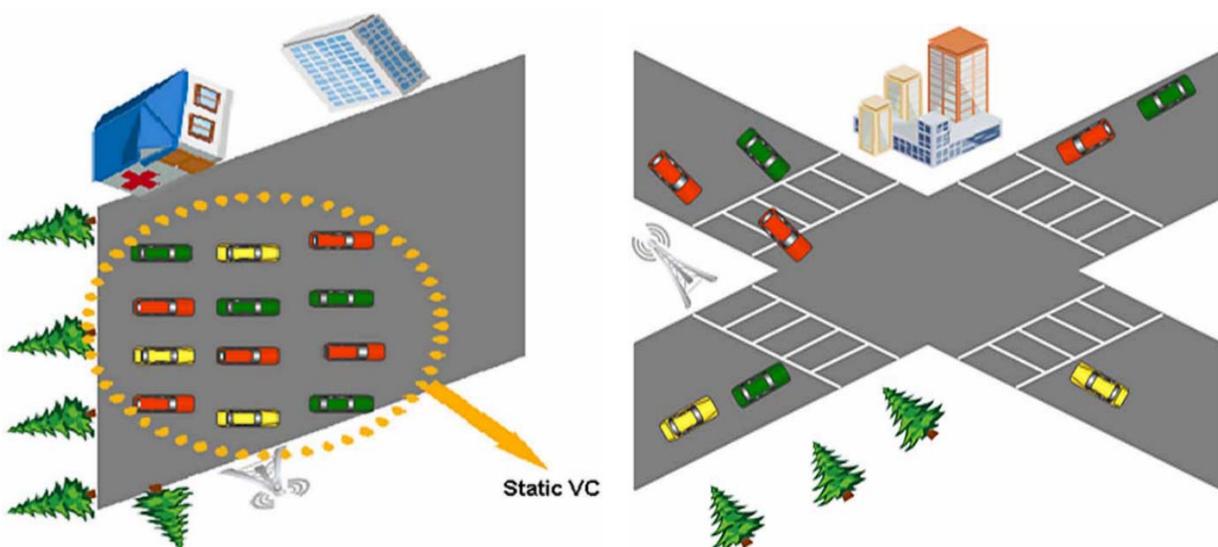


Figure II.7 : Statique et dynamique VC [ZE].

## **II.11. Applications de cloud computing véhiculaire**

En raison du partage des ressources entre les véhicules et les RSU avec le cloud, le VC offre une vaste gamme d'applications. Dans cette section, plusieurs scénarios de mise en œuvre possibles et les résultats de l'application du VC sont présentés.

### **II.11.1. Les applications de sécurité dans une très grande zone**

Les véhicules de VANET peuvent fournir plusieurs applications et informations de sécurité aux autres conducteurs de véhicules concernant la notification et l'évitement des collisions, la prévention des accidents, la gestion des incidents de circulation, etc... VC peut également assurer une telle tâche. Il fournit des fonctionnalités pour collecter des informations à partir des capteurs embarqués des véhicules dans un plus grand voisinage pour assurer une réaction correcte des conducteurs.

### **II.11.2. Alerte d'accident aux intersections**

Lors des conduites difficiles telles que le mauvais temps, les conducteurs peuvent utiliser le VC pour s'informer des intersections et des accidents potentiels.

### **II.11.3. Partage de l'état de la route**

De nombreux événements sur l'état de la route peuvent être partagés tel que les zones de débordement, les tempête de verglas sur la chaussée. Les conducteurs de véhicules seront ainsi avertis de la dangerosité de la route.

### **II.11.4. Gestion intelligente du stationnement ou des parkings**

Trouver une place de stationnement convenable dans les grandes villes bénéficierait de l'aide d'un service de gestion de stationnement automatisé. Plusieurs solutions omniprésentes ont été rapportées pour gérer une telle tâche. Les automobilistes peuvent trouver une place de stationnement à l'aide de leurs applications smartphone (Smartpark, ParkMe et ParkMate, par exemple). Cependant la plupart de ces solutions sont basées sur des architectures centralisées. Ces solutions collectent les informations des parcomètres et des garages et les envoient à une unité centralisée qui les traite et les publie aux utilisateurs intéressés en cas de besoin. Nous devons tenir compte de la fraîcheur des informations. En utilisant le VC, des informations en temps réel peuvent être collectées et une décision peut être prise en peu de temps [DM, MA<sub>b</sub>].

**II.11.5. Amélioration des signaux de circulation**

Les feux de circulation ont une forte signification sur la route. Cependant, les méthodes utilisées pour attribuer une longueur de cycle de signal et des longueurs de phase verte sont des méthodes hors ligne qui sont basées sur la temporisation plutôt que sur des mesures en temps réel. Ce qui ne peut pas faire face aux changements brusques de trafic.

Le VC permet de rendre les véhicules capables d'échanger des informations et de constituer des capacités de calcul pour prendre une décision et de reprogrammer les feux de circulation en fonction de la période et du trafic réel. L'optimisation des performances du système de signaux va permettre de dissiper, rapidement, le trafic notamment dans les environnements très denses.

**II.11.6. Cloud véhiculaire comme centre de données**

Des statistiques révèlent que :

- La plupart des véhicules passent plusieurs heures par jour stationnés dans des garages, des stationnements ou des rues, au travail, à l'hôpital, etc.
- Les clients des centres commerciaux passent des heures à magasiner tous les jours, avec des pics pendant les week-ends ou pendant la période des fêtes.
- Certaines voitures soient stationnées pendant plusieurs jours dans le parking à long terme d'un aéroport principal.

Les ressources informatiques et de stockage de ces véhicules peuvent être utilisés pour la construction des centres de données. Le principal problème est de planifier les ressources et d'assigner des tâches de calcul aux divers véhicules dans le cloud véhiculaire, en tenant compte de la nature variable dans le temps des taux d'arrivée et de départ. [DM]

**II.11.7. Entretien du véhicule**

Les véhicules obtiennent des mises à jour de logiciels à partir de ressources Cloud

**II.11.8. Gestion de l'évacuation**

En cas de catastrophes prévisibles, une évacuation massive est nécessaire pour sauver des vies. Dans un tel scénario, trouver les ressources nécessaires comme l'eau potable ou les soins médicaux sauve des vies. Les plans d'évacuation devraient fournir une publicité de trafic adaptative en temps réel pour proposer des itinéraires d'évacuation optimaux. Les auteurs de [ZA] ont proposé un nouveau système d'intervention d'urgence basé sur le VC pour l'évacuation, qui combine tous les développements des technologies tels que les systèmes de transport Intelligent (STI), le cloud computing, les VANET et les réseaux sociaux. Ils proposent un système de gestion des

catastrophes qui se révèle efficace en améliorant la fluidité du trafic, en augmentant les personnes évacuées et en améliorant l'utilisation des ressources de transport [MA<sub>b</sub>].

## **II.12. Problèmes liés au Cloud computing véhiculaire**

Le déploiement du concept de Cloud dans les réseaux véhiculaires n'est pas anodin pour de nombreuses raisons. De nouveaux défis émergent par rapport au VANET. Le principal objectif de cette section est d'identifier un certain nombre de défis dans le Cloud véhiculaire.

### **II.12.1. La gestion de ressources**

L'une des différences déterminantes entre le Cloud véhiculaire et les Cloud conventionnels est la volatilité des ressources. Par conséquent, la gestion des ressources dans le Cloud véhiculaire est une tâche importante mais très difficile. En fait, l'identité et le nombre de fournisseurs de ressources (principalement des véhicules) peuvent changer avec le temps. Ce qui rend difficile l'estimation et l'allocation des ressources : les véhicules peuvent quitter le cloud (statique ou mobile) à tout moment, et un besoin de ressources supplémentaires émerge pour maintenir la stabilité du Cloud et continuer l'exécution des tâches en cours [TM, SO].

#### **II.12.1.1. Estimation des ressources disponibles**

L'estimation du pool de ressources véhiculaires permet au gestionnaire de Cloud de fournir aux consommateurs leurs besoins en ressources si possible. Par exemple, un aéroport comme centre de données a été proposé et afin d'utiliser les ressources informatiques, une approche analytique pour prédire l'occupation du stationnement et par conséquent estimer les ressources disponibles a été développée. Ce problème n'a pas été résolu dans le cas des véhicules en mouvement.

#### **II.12.1.2. Allocation des ressources**

Le pool de ressources des membres du Cloud véhiculaire est partagé entre eux. Les applications et les services sont divisés en plusieurs tâches et chaque membre du Cloud remplit une ou plusieurs d'entre elles. L'allocation des ressources doit être effectuée équitablement en fonction du travail attribué à chaque membre en tenant compte des différents changements qui peuvent survenir (par exemple, variation des ressources disponibles, exécution de diverses applications avec des besoins et des priorités différents, interruptions imprévisibles de certaines tâches).

**II.12.1.3. Migration de machine virtuelle dans le Cloud véhiculaire**

La migration des machines virtuelles est une instance de gestion des ressources dans le Cloud Computing. Il reste également un attribut de performance fondamental dans le Cloud véhiculaire.

À l'instar de Cloud Computing et de Mobile Cloud Computing, les applications de Cloud véhiculaires sont hébergées sur des machines virtuelles provoquées par la mobilité. Lorsqu'un véhicule quitte le Cloud, alors que sa machine virtuelle hébergée est toujours active, une défaillance se produit. Il est donc nécessaire de trouver un autre membre du Cloud pour héberger la machine migrée et poursuivre l'exécution de la tâche en cours d'exécution. Bien que cette question ait été abordée dans [MG], les solutions proposées ne sont pas adaptées au Cloud véhiculaire. Les connexions intermittentes et la difficulté de prédire le modèle des véhicules rendent la procédure de migration plus contestée. Dans ce contexte, certaines politiques (stratégies) de migration des machines virtuelles ont été suggérées afin de minimiser les perturbations et la dégradation des performances lorsque les véhicules se déplacent. Il est intuitivement clair que plus les temps de résidence des véhicules sont longs et prévisibles dans le Cloud, plus il est facile de prédire le moment optimal où la migration des machines virtuelles doit être entreprise. En revanche, lorsque les temps de résidence des véhicules dans le Cloud véhiculaire sont courts et, eux-mêmes, imprévisibles, la migration des machines virtuelles devient très difficile. En outre, des migrations fréquentes et de longs délais du processus de migration peuvent survenir, ce qui affecte la continuité des services.

**II.12.2. La sécurité et la vie privée**

Les défis de sécurité et de la vie privée dans les réseaux véhiculaires et le Cloud Computing affectent le Cloud véhiculaire. Les problèmes de sécurité courants entre VANET et le Cloud véhiculaire sont la confiance entre les membres du Cloud véhiculaire, les nœuds malveillants et égoïstes, et la protection de la vie privée des conducteurs (c'est-à-dire l'emplacement), qui ont été traités dans VANET dans plusieurs études [TM].

**II.12.2.1. La confiance entre les membres du Cloud véhiculaire**

La collaboration entre les véhicules est nécessaire pour effectuer plusieurs tâches et l'établissement de relations de confiance entre plusieurs participants est un élément essentiel d'une communication et d'un calcul fiables. En fait, un intrus peut agir en tant que membre du Cloud et fournir des informations erronées qui exposent les utilisateurs à des dangers, en particulier dans le cas des applications de sécurité routière. De nombreux travaux traitent de cette question dans VANET. Un Cloud véhiculaire est établi pour accomplir une mission, et les membres peuvent

quitter et rejoindre le Cloud de manière dynamique pendant sa durée de vie. Un mécanisme de confiance dynamique semble donc nécessaire [TM, MW].

#### **II.12.2.2. Les nœuds malveillants et égoïstes**

Les nœuds qui se comportent mal (c'est-à-dire les nœuds malveillants et égoïstes, les attaquants) font référence aux nœuds qui nuisent à l'activité du VANET ou du Cloud véhiculaire. Dans VANET, des solutions ont été proposées pour filtrer les nœuds égoïstes et malveillants. Dans le Cloud véhiculaire, le même problème peut survenir qui affecte gravement sa mission : certains véhicules exploitent les ressources d'autres véhicules et ne participent pas à des tâches collaboratives. Dans [JZ, NK], deux schémas ont été conçus pour détecter respectivement les nœuds égoïstes et malveillants [TM].

#### **II.12.2.3. L'anonymat et la vie privée des conducteurs**

La plupart des applications des systèmes véhiculaires reposent sur des informations de localisation (l'emplacement et l'identité des véhicules sont échangés dans les communications véhiculaires). Des nœuds malveillants peuvent suivre (*tracker*) l'emplacement des véhicules. Ainsi, la vie privée des conducteurs sera menacée. Les pseudonymes sont utilisés comme une solution qui peut protéger les véhicules de ces attaques. Plusieurs schémas de pseudonymes ont été proposés pour protéger l'identité du véhicule. Dans le Cloud véhiculaire, différents schémas ont été conçus dans [RH<sub>c</sub>, RH<sub>a</sub>] pour préserver la vie privée conditionnelle des utilisateurs (c'est-à-dire que les autorités peuvent suivre le mouvement des véhicules) [TM, MW].

#### **II.12.2.4. Autres défis**

Le Cloud véhiculaire peut être considéré comme un environnement ouvert où les appareils des véhicules et les appareils des passagers interagissent avec de nombreuses autres entités (par exemple, le cloud conventionnel, les équipements d'infrastructure, etc.). Ainsi, de nombreuses menaces nuisent à la sécurité des communications. Certains travaux se sont concentrés sur des aspects particuliers tels que la sécurité des communications entre les smartphones et le CC, la protection contre les attaques provoquées par les opérateurs et la sécurité des machines virtuelles lors de leur migration [TM].

#### **II.12.3. Rareté des ressources réseau**

Une variété de technologies sans fil et mobiles permet la communication dans les réseaux véhiculaires et par conséquent dans le Cloud véhiculaire. Mais le problème de la rareté de la bande passante et de la mauvaise connectivité reste une grande préoccupation. Grâce au Cloud véhiculaire où les véhicules mutualisent leurs ressources pour une utilisation en partage, des

ressources supplémentaires, notamment de la bande passante, sont mises à disposition des utilisateurs. Cependant, l'attribution des ressources aux membres sans interférer avec la tâche de chacun est un défi [TM].

#### **II.12.4. Dispositifs et technologies hétérogènes**

L'industrie automobile a connu une prolifération considérable de nouvelles technologies et de nouveaux dispositifs. Ces technologies proviennent de plusieurs fabricants et constructeurs. Par conséquent, le problème d'incompatibilité se pose et la communication entre les véhicules peut échouer. La standardisation des technologies est une solution pour surmonter ce problème. Du point de vue de la communication, le Cloud véhiculaire contient de nombreux appareils (infrastructures, équipements à l'intérieur des véhicules, etc.) qui ont diverses capacités de communication (technologies sans fil et mobiles) [TM].

#### **II.12.5. Type de services et applications**

Les applications et services VANET ont des exigences différentes en termes de ressources et de contraintes de qualité de service. Certaines applications nécessitent une bande passante importante (par exemple, le streaming vidéo), d'autres ont besoin de grandes capacités de calcul (par exemple, la prévision du trafic). Il semble donc nécessaire de trouver des fournisseurs de ressources (véhicules ou serveurs Cloud) avec des ressources suffisantes et une bonne QoS (Quality of Service.). Par exemple dans [MAc], les auteurs se sont intéressés à la sélection de RSUs adaptés, considérés comme des cloudlets, pour répondre aux besoins des utilisateurs. Les véhicules envoient leurs demandes à un Cloud central. Ce dernier vérifie les services demandés et décompose les services composés en services simples. Ensuite, il sélectionne le RSU approprié pour chaque service simple (c'est-à-dire le RSU qui peut fournir la QoS spécifiée) et envoie une réponse à chaque fournisseur de services. Enfin, le service est fourni au demandeur. La procédure proposée peut entraîner de longs délais en raison de son grand nombre d'étapes [TM, SO].

En outre, les charges de travail pris en compte par les Clouds véhiculaires dépendent, dans une large mesure, du nombre et des caractéristiques de résidence des véhicules participants. Ainsi, diverses architectures de Clouds véhiculaires, distinguées par le nombre des véhicules participants, la bande passante de communication existante et les durées de résidence des véhicules sont, selon toute vraisemblance, aptes à supporter différents types d'applications utilisateurs et charges de travail. Étant donné les différences importantes entre les différents cas de Clouds véhiculaires, l'un des défis importants est d'identifier les demandes d'applications réalisables pour chacun d'eux. Par exemple, les Clouds véhiculaires avec une très courte durée de résidence des véhicules ne sont clairement pas adaptées aux applications à longue durée de vie impliquant beaucoup de données.

Il en est ainsi, entre autres, parce que la migration des machines virtuelles et la réplication des données seront quasiment impossibles à prendre en charge efficacement [SO].

### **II.12.6. Évolutivité de l'architecture**

Dans un environnement dynamique tel que les réseaux véhiculaires, l'évolutivité de l'architecture est un élément important. Plusieurs obstacles et changements inattendus peuvent être rencontrés pendant le voyage. Ainsi, une architecture Cloud véhiculaire doit être adaptée aux différentes circonstances. Les défis d'évolutivité sont liés au côté organisationnel, à l'intégration technologique et à la topologie des routes et doivent être résolus. D'un point de vue organisationnel, la formation nuageuse (nombre de membres, critères ou sélection, etc.) et son entretien doivent être adaptés aux missions demandées et aux différentes conditions telles que le type de zone (rurale, urbaine) et les conditions météorologiques. Par exemple, lorsqu'une catastrophe se produit, les infrastructures peuvent être endommagées et les autorités routières ne peuvent pas assurer l'évacuation. Dans ce cas, un cloud de véhicules qui comprend un nombre important de véhicules peut fournir aux conducteurs des informations plus précises et une carte réelle sur les itinéraires disponibles. Afin d'avoir un Cloud stable, la maintenance du Cloud peut être distribuée. Dans le cas d'un service dédié à un véhicule particulier (par exemple le téléchargement de fichiers), le contrôle peut être effectué par une entité unique (par exemple un véhicule) et le nombre de membres est faible par rapport au premier exemple.

L'augmentation du nombre de membres du Cloud est suivie d'une augmentation du nombre de communications. Ceci conduit à un problème de gestion des ressources et de performances réseau dégradables. De plus, les topologies et les conditions routières peuvent être considérées comme un défi pour l'évolutivité. Dans les environnements difficiles, les liaisons entre les véhicules sont intermittentes et la communication n'est pas fiable. Ainsi, la mise en place d'un Cloud véhiculaire semble être difficile et ne peut pas répondre aux besoins de l'utilisateur. Dans le cas de cloud temporaires, la communication entre les véhicules dans le cloud doit être abordée. L'interaction entre un ensemble de Cloud véhiculaire augmente la disponibilité des services, lorsque de nombreux Clouds fournissent le même service, et améliore l'expérience de voyage des utilisateurs de véhicules.

Les services Cloud véhiculaires ont des exigences différentes en termes de ressources et de technologies déployées. Cette raison explique les différentes conceptions d'architectures Cloud véhiculaires : le nombre de membres, les entités impliquées et les technologies évoluent en fonction des enjeux étudiés. Par exemple, certaines architectures incluent des équipements

d'infrastructure pour permettre l'accès aux services hébergés sur des serveurs distants. D'autres architectures impliquent uniquement des véhicules (par exemple, établir une carte réelle d'une zone grâce aux capteurs véhiculaires) [TM, MW].

### **II.12.7. Coût des services**

Un autre défi concernant le Cloud véhiculaire est le coût des services. Même si le Cloud véhiculaire vise à utiliser efficacement les ressources véhiculaires, il présente un surcoût en termes de consommation de ressources système et réseau. En fait, certaines ressources sont utilisées pour établir le Cloud, pour le maintenir et pour conserver des informations à jour sur les membres. Le coût du réseau comprend les retards et la bande passante supplémentaires dus au transfert des données vers le véhicule concerné. D'un point de vue système, le leader du Cloud (par exemple un véhicule, un ensemble de véhicules) doit conserver des informations sur le Cloud (ressources disponibles, identifiants des membres, emplacement, etc.) qui consomme une partie de ses ressources de stockage. Un événement inattendu (par exemple, un véhicule quitte le Cloud) nécessite de prendre une décision (par exemple, trouver un autre membre pour poursuivre l'exécution) qui nécessite des ressources informatiques. Le coût des services Cloud doit être minimisé en réduisant la quantité de données échangées liées à la maintenance. De plus, certains nouveaux services personnalisés nécessitent des informations contextuelles. Ainsi, des ressources supplémentaires sont utilisées pour collecter, stocker et traiter ce type de données. Recueillir uniquement des informations contextuelles appropriées en fonction des services demandés peut permettre une utilisation optimale des ressources.

Le coût des services ne se limite pas uniquement aux ressources consommées. La tarification est également un problème. Les services ne sont pas toujours attribués librement aux consommateurs. Certains services nécessitent un abonnement et par conséquent des frais. Certains véhicules louent leurs ressources et les utilisateurs doivent payer les ressources louées. Par conséquent, un consommateur doit payer les ressources et le service. Trouver un système de crédit fiable pour payer différents participants doit être traité.

### **II.12.8. Contrôle d'accès**

Le contrôle d'accès est un aspect difficile du Cloud véhiculaire dans lequel une identification de l'utilisateur est vérifiée avant d'accéder aux ressources. Dans le Cloud véhiculaire, des niveaux de contrôle d'accès sont prédéfinies et chaque utilisateur appartient à un cluster spécifique basé sur son rôle dans le réseau [MW].

**II.13. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons d'abord englobé l'ensemble des concepts du cloud computing (définition, caractéristique, la virtualisation, modèle de déploiement, services, etc.) et parler brièvement du cloud computing mobile. Puis nous avons présenté un aperçu sur les réseaux véhiculaires en cloud à travers une présentation globale du réseau, son architecture, les modèles de service pour le fonctionnement, et la taxonomie du réseau. Les applications du réseau véhiculaire en cloud sont caractérisées par la multitude et diversité, ce qui rend ce type de réseau très intéressant, alors il faut que l'utilisation du réseau soit en toute sécurité.

## **CHAPITRE III**

# **Etat de l'art sur la migration de machine virtuelle dans un cloud véhiculaire**

### III. 1. Introduction

Les machines virtuelles (VM) sont utilisées pour augmenter la flexibilité et pour réutiliser les ressources disponibles dans un cloud véhiculaire. Ces machines virtuelles permettent l'utilisation d'un environnement capable d'exécuter des processus sans avoir besoin de ressources physiques. En raison de l'environnement dynamique d'un cloud véhiculaire, un hôte peut facilement changer ou quitter une zone de couverture. En tant que tels, des schémas et des politiques de gestion et de migration des machines virtuelles sont nécessaires pour garantir aux utilisateurs de cloud un niveau d'accès satisfaisant aux ressources.

Dans ce chapitre, on va d'abord étudier et critiquer quelques travaux et solutions qui ont été proposés pour faire face aux défis de la migration des VM dans le cloud véhiculaire. Puis, on va établir un tableau pour résumer et comparer entre les différentes caractéristiques des solutions qui ont été abordées dans ce chapitre.

### III.2. Vers des réseaux de véhicules basés sur le cloud avec une gestion efficace des ressources

R.Yu et al. [RY] ont proposé d'intégrer le cloud computing dans les réseaux véhiculaires afin que les véhicules puissent partager des ressources de calcul, des ressources de stockage et des ressources de bande passante. L'architecture proposée comprend un cloud véhiculaire, un cloud d'unités de bord de la route et un cloud central. Ils ont ensuite étudié l'allocation de ressources et la migration des machines virtuelles pour une gestion efficace des ressources dans ce réseau de véhicules basé sur le cloud. Une approche théorique du jeu est présentée pour allouer de manière optimale les ressources cloud. La migration de machine virtuelle due à la mobilité des véhicules est résolue sur la base d'un schéma de réservation de ressources.

#### III.2.1. L'architecture de réseaux de véhicules basée sur le cloud proposée

La figure ci-dessus montre l'architecture cloud proposée pour les réseaux véhiculaires. Il s'agit d'une architecture hiérarchique composée de trois couches interactives : le cloud véhiculaire, le cloud de bord de la route et le cloud central.

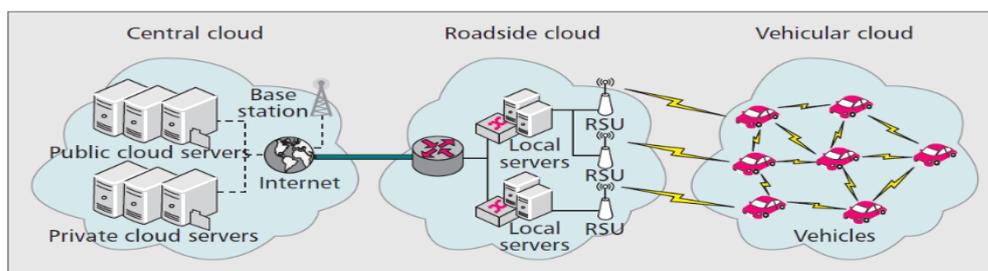


Figure III.1 : Architecture de réseau véhiculaire basée sur le cloud [RY].

**III.2.1.1. Le cloud véhiculaire**

Dans un cloud de véhicules, un groupe de véhicules partagent leurs ressources de calcul, de stockage et de spectre. Chaque véhicule peut accéder au cloud et utiliser les services à ses propres fins. Grâce à la coopération au sein du groupe, les ressources physiques des véhicules sont planifiées dynamiquement à la demande. L'utilisation globale des ressources est considérablement améliorée. Comparé à un véhicule individuel, un cloud véhiculaire a beaucoup plus de ressources.

En raison de la mobilité des véhicules, la mise en œuvre du cloud véhiculaire est très différente d'un cloud dans un réseau informatique traditionnel. Pour cela, les auteurs ont proposé deux stratégies de personnalisation pour les clouds véhiculaires : la personnalisation généralisée du cloud véhiculaire (GVCC) et la personnalisation spécifique du cloud véhiculaire (SVCC).

Dans GVCC, un contrôleur cloud est introduit dans un cloud véhiculaire. Un contrôleur cloud est responsable de la création, de la maintenance et de la suppression d'un cloud véhiculaire. Tous les véhicules virtualiseront leurs ressources physiques et enregistreront les ressources virtuelles dans le contrôleur cloud. Toutes les ressources virtuelles du cloud véhiculaire sont planifiées par le contrôleur cloud. Si un véhicule a besoin de certaines ressources du cloud véhiculaire, il doit s'appliquer au contrôleur cloud.

Contrairement à GVCC, SVCC n'a pas de contrôleur cloud. Un véhicule spécifie certains véhicules comme cloud candidats et sollicite directement les ressources de ces véhicules. Si l'application est approuvée, les véhicules correspondants deviennent des clouds, qui personnaliseront les machines virtuelles (VM) en fonction de la demande du véhicule.

Ces deux stratégies, GVCC et SVCC, sont assez différentes. En ce qui concerne la gestion des ressources, GVCC est similaire à une stratégie de déploiement cloud classique dans laquelle les ressources cloud sont planifiées par un contrôleur. Un véhicule ne connaît pas les clouds sur lesquels les VM sont construites. Le contrôleur cloud doit gérer les ressources cloud. Pendant un service cloud, si un cloud n'est pas disponible en raison de la mobilité du véhicule, le contrôleur doit planifier un nouveau cloud pour le remplacer. Dans SVCC, puisqu'il n'y a pas de contrôleur cloud, un véhicule doit sélectionner d'autres véhicules comme cloud et gérer les ressources cloud lui-même. En termes d'utilisation des ressources, GVCC est capable de planifier et d'allouer globalement toutes les ressources d'un cloud véhiculaire. GVCC a une utilisation des ressources plus élevée que SVCC. Cependant, le fonctionnement du contrôleur cloud nécessitera des calculs supplémentaires. Par conséquent, SVCC peut être plus efficace que GVCC en termes de surcoût système.

**III.2.1. 2. Le cloud de bord de la route**

Un cloud en bord de route est composé de deux parties principales : des serveurs locaux dédiés et des RSUs (voir la figure III.1). Les serveurs locaux dédiés virtualisent les ressources physiques et agissent comme un site cloud potentiel. Les RSUs fournissent des interfaces radio permettant aux véhicules d'accéder au cloud. Un cloud en bordure de route est accessible uniquement aux véhicules à proximité (c'est-à-dire à ceux situés dans la zone de couverture radio du RSU du site cloud).

Par analogie au concept de cloudlet qui est un ordinateur de confiance riche en ressources ou un groupe d'ordinateurs connectés à Internet et disponibles pour une utilisation par des appareils mobiles à proximité [PM]. Dans l'article, les auteurs ont proposé le concept de cloudlet en bord de route. Un cloudlet en bord de route fait référence à un cloud en bord de route à petite échelle qui offre des services cloud pour contourner les véhicules. Un véhicule peut sélectionner un cloudlet en bord de route à proximité et personnalise un cloud transitoire à utiliser. Le cloud transitoire est dit personnalisé car le cloud ne peut servir le véhicule que pendant un certain temps. Une fois que le véhicule est sorti de la portée radio du RSU actuelle, le cloud sera supprimé et le véhicule personnalisera un nouveau cloud au prochain RSU qui se trouvera dans sa direction de déplacement.

Lorsqu'un véhicule personnalise un cloud transitoire à partir d'un cloudlet en bord de route, il est proposé par des ressources virtuelles en termes de VM. Cette VM se compose de deux composants interactifs : la base de VM dans le cloudlet en bord de route et la superposition de VM dans le véhicule. Une base de VM est un modèle de ressource enregistrant la structure de base d'une VM, tandis qu'une superposition de VM contient principalement les besoins en ressources spécifiques de la VM personnalisée. Avant le démarrage d'un service cloud, le véhicule enverra la superposition de VM au cloudlet en bord de route. Après avoir combiné la superposition de VM avec la base de VM, le cloudlet en bord de route termine la personnalisation d'une VM dédiée. Pendant un service cloud, au fur et à mesure que le véhicule se déplace le long de la route, il basculera entre différentes RSUs. Pour la continuité du service cloud, la VM personnalisée doit être transférée de manière synchrone entre les cloudlets en bord de routes respectives. Ce processus est appelé migration de VM (voir la section III.1.3).

**III.2.1. 3. Cloud central**

Comparé à un cloud véhiculaire et à un cloud de bord de route, un cloud central a beaucoup plus de ressources. Le cloud central peut être piloté soit par des serveurs dédiés dans le centre de données des réseaux de véhicules, soit par des serveurs sur Internet. Un cloud central est

principalement utilisé pour les calculs compliqués, le stockage massif de données et les décisions globales.

### III.2.2. Une approche basée sur la théorie des jeux pour l'allocation des ressources

Dans un cloud en bord de route, il existe plusieurs machines virtuelles puisqu'un cloud fournit des services à plusieurs véhicules simultanément. Dans ce cas, les ressources d'un cloud doivent être allouées de manière appropriée. L'allocation des ressources VM doit prendre en compte plusieurs aspects :

- **Efficacité** : la stratégie d'allocation des ressources VM doit être efficace de manière à ce que les ressources limitées soient pleinement utilisées.
- **Qualité de service (QoS)** : les ressources allouées à une VM spécifique doivent être suffisantes pour l'accomplissement des tâches de la VM afin de satisfaire ses exigences de QoS.
- **Équité** : les machines virtuelles avec la même charge de travail devraient se voir offrir des ressources statistiquement égales.

Pour allouer de manière optimale les ressources cloud, les auteurs se sont donc concentrés sur les problèmes d'allocation de ressources et une approche théorique des jeux est présentée. Dans cette section, nous allons présenter le modèle théorique des jeux proposé pour l'allocation des ressources et qui est spécialement conçu pour les applications de cloud mobile dans les réseaux véhiculaires.

#### III.2.2.1. Modèle basé sur la théorie des jeux pour l'allocation des ressources

La concurrence entre les machines virtuelles pour les ressources cloud est formulée comme un jeu non coopératif. Alors, si on considère un cloudlet en bord de route avec N VM (c'est-à-dire les joueurs du jeu). Les VM s'appliqueront au cloud et seront en concurrence pour les ressources. Ces machines virtuelles sont égoïstes dans le sens qu'elles visent à obtenir autant de ressources que possible pour leur propre usage. Le cloud allouera le total des ressources disponibles aux VM proportionnellement au nombre de ressources demandées.

Soit C et M, respectivement, le total des ressources de calcul et de stockage disponibles dans le cloud en bord de route et soit  $c_i$  ( $0 < c_i \leq C$ ) et  $m_i$  ( $0 < m_i \leq M$ ) le nombre de ressources de calcul et de stockage, respectivement, demandées par la ième VM. Définir

$$c_{-i} = \sum_{n=1, n \neq i}^N c_n \text{ and } m_{-i} = \sum_{n=1, n \neq i}^N m_n$$

La ième VM se verra attribuer des ressources de calcul et de stockage :

$$\frac{c_i C}{c_i + c_{-i}} \text{ and } \frac{m_i M}{m_i + m_{-i}}$$

Par souci d'équité, le cloud configure deux compteurs de ressources virtuelles (VRC) pour chaque machine virtuelle. Ces deux VRC sont utilisés pour enregistrer le nombre cumulé de ressources appliquées, l'une pour le calcul et l'autre pour le stockage. Lorsqu'un VRC atteint sa valeur maximale, la VM n'est pas autorisée à postuler pour ce type de ressource. En utilisant les VRC, le montant total des ressources allouées est égal pour toutes les machines virtuelles dans une perspective à long terme.

Soit  $a_i$  et  $b_i$  ( $a_i > 0$ ,  $b_i > 0$ ) les poids de ressources prédéfinis qui indiquent, respectivement, l'importance des ressources de calcul et de stockage dans les charges de travail de la  $i$ ème VM, et soit  $l_i$  et  $g_i$  ( $l_i > 0$ ,  $g_i > 0$ ) les facteurs de tarification associés, respectivement, aux ressources de calcul et de stockage appliquées à la  $i$ ème VM. La fonction d'utilité, ou de gain, pour la  $i$ ème VM est donnée par :

$$U(c_i, m_i) = \frac{\alpha_i c_i C}{c_i + c_{-i}} + \frac{\beta_i m_i M}{m_i + m_{-i}} - (\lambda_i c_i + \gamma_i m_i).$$

Les pondérations des ressources  $a_i$  et  $b_i$  dans la fonction d'utilité rendent le modèle de jeu adaptable à la préférence des ressources dans différentes applications. Les facteurs de tarification  $l_i$  et  $g_i$  sont fixés pour éviter le gaspillage des ressources imposé par une concurrence excessive, ce qui améliore potentiellement l'utilisation des ressources. Ces paramètres clés  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $l_i$  et  $g_i$  sont minutieusement sélectionnés en fonction de l'environnement mobile des véhicules assistés par le cloud. Par exemple, les véhicules peuvent avoir des liens radio de qualité différente vers le site cloud. Leurs VM doivent être fournies avec différents  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $l_i$  et  $g_i$  en fonction de la qualité de la liaison. En règle générale, dans une application multimédia mobile où la technique de codage vidéo évolutif (SVC) est impliquée, la machine virtuelle est responsable du décodage vidéo adaptatif dans le site cloud. La ressource VM requise dépend principalement de la qualité de la liaison. Étant donné que le débit de liaison limite la qualité abordable d'un flux vidéo, il détermine par conséquent la quantité de ressources VM pour le traitement vidéo.

### III.2.3. Un schéma de réservation de ressources pour la migration de machine virtuelle

La migration de VM fait référence au processus par lequel une VM opérationnelle est transférée avec ses applications sur différentes machines physiques. Le processus de migration de VM implique une réaffectation des ressources dans le cloud de bord de la route. Si les ressources du cloud de destination ont été intensivement occupées, après une migration de VM et une réaffectation des ressources, certaines VM peuvent ne pas disposer de ressources suffisantes et peuvent même ne pas reprendre leurs services. Afin d'éviter un sur engagement des ressources, le cloud cible doit refuser la migration de VM afin de maintenir les services des VM existantes. Dans

ce cas, le service cloud d'un véhicule avec migration de VM est dit abandonné. Pour réduire la perte de service, les auteurs se sont également intéressés aux problèmes de la migration de machines virtuelles et ils ont proposé un schéma de réservation de ressources.

### **III.2.3.1. Un système de réservation de ressources**

Dans le schéma de réservation de ressources proposé, les ressources sont divisées en deux catégories : les ressources réservées et les ressources communes. Soit  $C_r$  et  $M_r$  les ressources réservées, et  $C_c = C - C_r$  et  $M_c = M - M_r$  les ressources communes de calcul et de stockage, respectivement. Dans la migration de VM, une arrivée de VM fait référence à l'événement au cours duquel une VM est créée pour une nouvelle VM locale ou migrée. Un départ de machine virtuelle fait référence à une demande de suppression de machine virtuelle, soit pour une fin du service de machine virtuelle, soit pour une migration de machine virtuelle vers un autre cloud. Le schéma de réservation de ressources fonctionne comme suit :

- **Arrivée d'une VM locale** : Lorsqu'il y a une demande de création d'une nouvelle VM locale, l'allocation de ressources sera effectuée (par exemple, en utilisant le schéma d'allocation de la théorie des jeux proposés). Étant donné que certaines des ressources sont réservées, les machines virtuelles locales ne peuvent partager que les ressources communes. Si le résultat d'allocation de ressources satisfait toutes les VM existantes, la nouvelle VM locale est admise ; sinon, elle est bloquée.
- **Départ d'une machine virtuelle locale** : l'allocation de ressources est également effectuée lorsque le service d'une machine virtuelle locale se termine ou migre vers un autre cloud.
- **Arrivée d'une VM migrée** : lors d'une demande de migration de VM, le cloud cible réallouera les ressources. Dans ce cas, les ressources réservées seront également prises en compte. Plus précisément, les machines virtuelles locales existantes et les machines virtuelles migrées partageront toutes les ressources disponibles. Après la réallocation, si toutes les demandes de ressources de VM (y compris la VM migrée) sont satisfaites, la migration de VM est approuvée ; sinon, la demande de migration de VM est rejetée.
- **Départ d'une machine virtuelle migrée** : l'allocation de ressources est également effectuée lorsque le service d'une machine virtuelle migrée se termine ou qu'elle migre vers un autre site cloud. Il est à noter que s'il n'y a pas de VM migrées dans un cloud, l'allocation de ressources ne peut utiliser que des ressources communes. Les ressources réservées seront conservées pour une utilisation ultérieure lors d'une autre migration de VM.

### III.2.3.2. Critique

Les résultats de simulation indiquent une allocation de ressources optimisée et des performances dans la migration de machine virtuelle traduite par une réduction significative de taux de services abandonnés. Cependant, l'architecture cloud véhiculaire proposée est très générale et elle repose sur la présence d'une multitude d'unités fixes (RSU, serveurs locaux et le cloud central). En outre, les solutions pour l'allocation de ressources et la migration de machines virtuelles sont proposées pour un cloudlet de bord de route tout en négligeant l'impact de la mobilité et de la vitesse des véhicules. Les ressources des véhicules ne sont donc pas utilisées ou mieux exploitées dans ce cas.

### III.3. Virtualisation des ressources de nœuds véhiculaires: étude de faisabilité de la migration des machines virtuelles

Dans [BB], B. Baron et al ont étudié le problème de la migration des machines virtuelles qui se pose lors de la virtualisation des ressources embarquées dans les nœuds mobiles d'un réseau de véhicules à grande échelle. Pour cela, ils ont virtualisé les substrats du réseau véhiculaire en découplant le rôle de la partie qui gère l'infrastructure du réseau et gère les services (l'équivalent de fournisseur d'accès à Internet ou ISP des réseaux traditionnels) en deux entités distinctes : le fournisseur d'infrastructure mobile (MInP) et le fournisseur de services mobiles (MSP). Les auteurs se sont aussi intéressés à la faisabilité d'effectuer des migrations de VM dans un scénario VANET en utilisant des communications V2V, au lieu d'utiliser des liaisons cellulaires. Ils proposent d'effectuer de manière opportuniste des migrations dans les zones hotspot, définies comme des zones « où les véhicules entrent en contact plus souvent et pendant une période plus longue ».

#### III.3.1. Architecture

L'architecture proposée comprend donc trois parties : (i) les fournisseurs d'infrastructure mobile qui gèrent les nœuds physiques mobiles, (ii) les fournisseurs de services mobiles qui regroupent les ressources allouées par les MInPs dans des réseaux virtuels, et (iii) les utilisateurs finaux qui utilisent les services proposés par les MSP.

##### ➤ Les fournisseurs d'infrastructure mobile (MInP)

Ils sont en charge de la gestion des ressources physiques sous-jacentes des réseaux mobiles. Les ressources physiques sont les capacités de calcul, de stockage et de détection des nœuds mobiles qu'elles gèrent. Le MInP offre ces ressources à plusieurs locataires (MSP) en virtualisant le substrat physique sous-jacent.

Le MInP répartit les ressources des nœuds physiques mobiles en un ensemble de machines virtuelles et alloue un ensemble de machines virtuelles hébergées sur des nœuds mobiles physiques (éventuellement différents) aux locataires. Le MInP répond aux demandes de ressources des locataires en suivant les priorités associées aux locataires et à leurs demandes, et en fonction des ressources disponibles lorsque les demandes sont émises. Des mises à jour des décisions d'allocation et des réallocations sont nécessaires pour maintenir une utilisation élevée des ressources sous-jacentes face aux changements du substrat ou pour répondre aux nouvelles demandes des locataires. Les nouvelles allocations des ressources peuvent entraîner des changements dans la topologie et les machines virtuelles doivent être déplacées d'un nœud physique à un autre. Le MInP déclenche des migrations de machines virtuelles d'un nœud de véhicule à un autre via des communications de véhicule à véhicule (V2V) entre les nœuds.

➤ **Les fournisseurs de services mobiles (MSP)**

Créent des réseaux virtuels en agrégeant les ressources (machines virtuelles) fournies par les MInP. Le fournisseur de services mobiles est alors en charge de gérer les ressources de machines virtuelles pour déployer et proposer des services aux utilisateurs finaux. Par exemple, un MSP peut déployer un réseau de détection de foule sur des machines virtuelles hébergées sur des véhicules pour détecter divers paramètres (par exemple, la pollution ou le bruit) dans toute la ville.

Les utilisateurs finaux mobiles utilisent les services offerts par les MSP. Pour améliorer leur expérience, les utilisateurs peuvent tirer parti de différents MSP offrant des services similaires et se connecter à plusieurs réseaux virtuels.

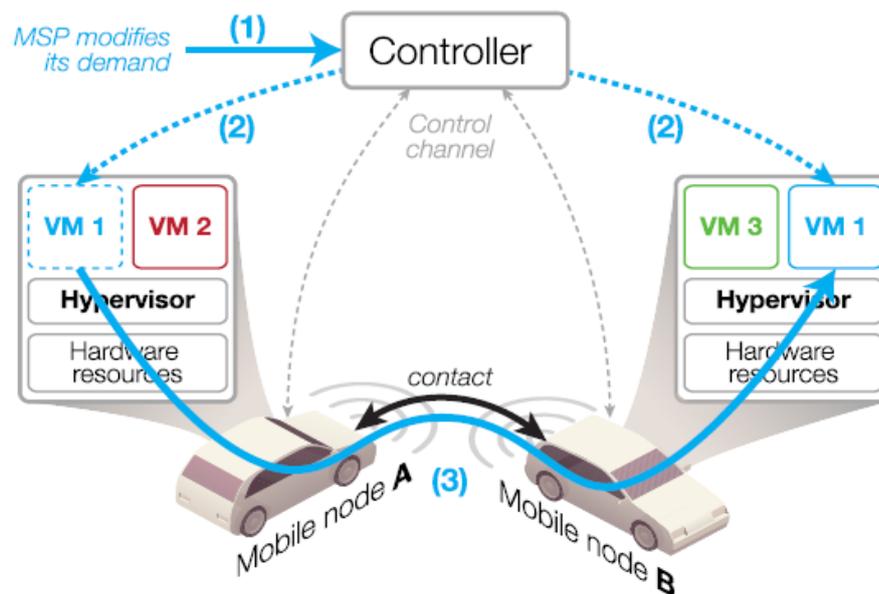
### **III.3.2. Fonctionnement**

Le MInP présente une architecture centralisée avec un contrôleur central en charge de la gestion du substrat du réseau mobile. Le contrôleur reçoit des demandes de MSP pour des ressources dans leur substrat de réseau. Les demandes dépendent des services que les MSP visent à déployer. Le MInP traduit les demandes en règle d'allocation afin de correspondre aux exigences. Le contrôleur conserve une vue globale de l'état actuel du réseau mobile. Le canal de contrôle entre le contrôleur et les nœuds mobiles transmet des données via une infrastructure de réseau fixe (par exemple, un réseau cellulaire). Périodiquement, ou à l'arrivée ou au départ d'un MSP, le contrôleur récupère l'état des nœuds mobiles et, avec les informations récupérées en entrée, calcule une allocation des ressources physiques qui répond le mieux aux demandes actuelles et nouvelles des MSPs.

➤ **Défi : migration de machine virtuelle**

La sortie de l'allocation pour chaque MSP consiste en un ensemble de machines virtuelles hébergées sur un sous-ensemble de nœuds mobiles du substrat du réseau mobile. Si l'allocation actuelle des machines virtuelles sur les nœuds mobiles ne correspond pas à la sortie de la procédure d'allocation, le contrôleur déclenche les migrations de machines virtuelles sur les nœuds physiques sélectionnés. La procédure de migration de la machine virtuelle consiste à transférer toute la machine virtuelle du nœud physique où elle est hébergée vers un nœud physique cible qui à son tour hébergera la machine virtuelle. Les données transférées lors de la migration de la machine virtuelle incluent le système d'exploitation, les processus en cours d'exécution et les états de transfert.

Avec une machine virtuelle de grande taille, il serait impossible de la transférer via le canal de contrôle ou une autre infrastructure cellulaire. Au lieu de cela, les auteurs exploitent les communications d'appareil à appareil entre les nœuds mobiles. Un contact se produit lorsque deux nœuds sont à portée de communication l'un de l'autre. La figure III.2 décrit la procédure de migration de machine virtuelle entre deux nœuds mobiles via une communication V2V.



**Figure III.2 :** Migration de machine virtuelle entre deux nœuds mobiles en contact [BB].

(1) - (3) représentent une procédure de migration de VMs entre les deux nœuds mobiles A et B exploités par le même MInP. Un locataire (MSP) possède initialement une machine virtuelle VM1 hébergée sur le nœud mobile A.

(1) Le MInP reçoit une requête qui nécessite la réallocation dynamique des ressources sur les nœuds A et B : la VM1 doit se déplacer du nœud A vers le nœud B.

(2) Le MInP via son contrôleur notifie aux deux nœuds d'initier le transfert lors de leur prochain contact. (3) Lorsqu'il y a un contact, la VM est transférée du nœud A au nœud B.

### **III.3.3. Evaluation**

Pour évaluer leur proposition, les auteurs ont étudié la faisabilité de la migration de machines virtuelles dans le contexte du système de transport en commun de la ville de Dublin, où il a été démontré que les véhicules entrent en contact plus souvent et plus longtemps dans des zones (emplacements) spécifiques. Ces emplacements correspondent aux intersections entre les lignes exploitées par le MInP ou d'autres endroits tels que les intersections routières ou les dépôts de bus. Ils ont simulé la migration de machines virtuelles de différentes tailles s'exécutant sur chaque bus. Un bus entrant dans un hotspot spécifique initie la migration d'une machine virtuelle avec le premier bus avec lequel il entre en contact. Un transfert sera interrompu au cas où la durée du contact n'est pas assez longue pour permettre le transfert. Par conséquent, plusieurs tentatives peuvent être nécessaires avant que la migration réussisse. La migration est considérée comme un échec si le bus quitte le hotspot sans réussir à transférer la machine virtuelle.

### **III.3.4. Critique**

Leurs résultats de simulation montrent que des machines virtuelles de plusieurs centaines de mégaoctets peuvent migrer entre des bus en mouvement grâce aux communications V2V. Cependant, leur proposition est uniquement adaptée au milieu urbain où la densité des véhicules est grande et la probabilité que deux véhicules soient en contact est très grande.

En outre, ils ont considéré les zones où la durée de contact dépasse un certain seuil (200s), or un réseau VANET est caractérisé par sa mobilité due aux vitesses élevées de déplacement

## **III.4. Migration et gestion de machines virtuelles pour les clouds véhiculaires**

Les auteurs de [TK] ont proposé plusieurs schémas de migration de machine virtuelle véhiculaire (VVMM, Vehicular Virtual Machine Migration) à savoir, VVMM-U (Uniform), VVMM-LW (Least Workload), VVMM-MA (Mobility Aware) et MDWLAM (Mobility and Destination Workload Aware Migration). Le paradigme de cloud véhiculaire proposé implique les véhicules (hôtes des VM) et les unités routières (RSU), liés à l'infrastructure cellulaire. Ainsi, si un véhicule ne parvient pas à migrer sa VM vers un autre véhicule, il doit la faire migrer vers l'infrastructure pour s'assurer qu'un client aura toujours accès à ses données.

Ils ont d'abord donné un pseudo-code, présenté par l'algorithme 1, qui forme la base de tous les algorithmes de migration des machines virtuelles (VM) pour les clouds véhiculaires. L'objectif

est de sélectionner une destination de migration pour un véhicule existant, afin d'éviter toute perte de données. La perte de données fait référence à la situation dans laquelle un véhicule ne peut pas transférer sa charge de travail vers d'autres hôtes (c'est-à-dire des véhicules) dans le réseau et doit la stocker dans l'infrastructure en bordure de route.

---

**Algorithm 1** General VM migration pseudocode.
 

---

```

1: {src: migration source} // exiting vehicle
2: {dst: migration destination} // result of algorithm
3: Begin
4: pool: pool of potential candidates
5: let pool = vehicles in same street as src
6: if (|pool| > 0) then
7:   let pool = vehicles in pool satisfying search criteria;
8:   if (|pool| > 0) then
9:     let dst = V, vehicle in pool, nearest to src
10:  else
11:    let dst = I // vehicle will attempt to migrate to infrastructure
12:  end if
13: else
14:  let pool = vehicles in the same grid
15:  Go to line-6
16: end if
17: // destination selected, attempt migration
18: if (dst = V) then
19:  if (V will migrate before src completes) then
20:    return Unsuccessful migration
21:  else
22:    if (V does not have sufficient space) then
23:      return Unsuccessful migration
24:    else
25:      if (network has insufficient bandwidth) then
26:        return Unsuccessful migration
27:      else
28:        return Successful migration
29:      end if
30:    end if
31:  end if
32: else
33:  if (dst = I) then
34:    if (network has insufficient bandwidth) then
35:      return Unsuccessful migration
36:    else
37:      return Successful migration (to infrastructure)
38:    end if
39:  else
40:    return Unsuccessful migration
41:  end if
42: end if
43: End

```

---

**Figure III.3** : Pseudocode général de migration de VM [TK].

L'algorithme 1, appelé aussi VVMM-U ou Migration de machine virtuelle véhiculaire avec sélection d'hôte uniforme est l'algorithme de référence utilisé pour évaluer les performances des trois algorithmes proposés. Les critères de recherche impliquent simplement de sélectionner un véhicule à partir du pool de candidats, de rechercher initialement au niveau de la rue, et au niveau de la grille (zone géographique) s'il n'y a pas de véhicules partageant la rue. Ce processus de

sélection ne prend en compte aucun des facteurs susceptibles d'augmenter les chances de réussite de la migration. Le véhicule de migration traite tous les candidats potentiels de la même manière. La possibilité que la destination de migration sélectionnée ne dispose pas de suffisamment d'espace ou de temps pour recevoir la migration est imprévisible et totalement aléatoire.

Ensuite, les trois algorithmes proposés pour gérer le processus de migration diffèrent de l'algorithme générique de migration de machine virtuelle véhiculaire avec sélection d'hôte uniforme (VVMM-U) par les critères de recherche et de sélection d'une destination de migration.). Chacun est expliqué ci-dessous.

### **III.4.1. Les algorithmes proposés**

Les détails des algorithmes sont expliqués en bas

#### **III.4.1.1. VVMM-LW (Vehicular Virtual Ma-chine Migration with Least Workload)**

La première modification de l'algorithme1 est l'algorithme VVMM-LW. Cet algorithme implique des critères de recherche qui prennent en compte à la fois la charge de travail des destinations potentielles et leur distance par rapport au véhicule en migration, pour prendre une décision plus avisée. Le véhicule recherchera les véhicules disposant de suffisamment d'espace de ressources pour héberger sa charge VM. La recherche est limitée par le pool du véhicule source. S'il existe plusieurs candidats viables, la source sélectionne ceux qui utilisent le moins la charge de travail. S'il y a plusieurs candidats potentiels avec un espace de ressources égal, il sélectionnera le plus proche en termes de distance. Cet algorithme ne prend pas en compte le temps nécessaire pour la migration et est susceptible de souffrir d'une migration infructueuse car la destination sélectionnée ne dispose pas de suffisamment de temps dans la grille pour recevoir la migration. Cependant, VVMM-LW devrait surpasser l'algorithme VVMM-U en termes de taux d'abandon de VM car il utilise des connaissances a priori sur les profils de charge de travail des destinations potentielles.

#### **III.4.1.2. VVMM-MA (Vehicular Virtual Ma-chine Migration with Mobility-Awareness)**

Afin d'éviter que des migrations échouent en raison du manque de temps restant pour la destination, l'algorithme VVMM-MA affine davantage les critères de recherche. Le véhicule en migration prend le temps qu'il reste aux destinations potentielles dans la grille. Si un véhicule ne restera pas suffisamment longtemps dans la grille pour recevoir la migration de la charge de travail, il ne sera pas considéré comme un candidat viable. Une fois qu'un véhicule est censé avoir suffisamment de temps pour recevoir la charge, il est ensuite vérifié pour les critères VVMM-LW (espace de ressources suivi de la proximité de la source). Dans cet algorithme, un candidat viable

doit disposer de suffisamment de temps de réseau et de capacité de mémoire/calcul pour recevoir la migration de la charge de travail.

Afin de décider du moment de la migration, un véhicule considère sa charge de travail de ressources actuelle et la durée totale de la migration en fonction d'une vitesse de téléchargement prévue. Si un véhicule est sélectionné comme destination pour la migration, la charge de travail augmentera progressivement à mesure que les données sont déplacées de la source à la destination. À mesure que la charge de travail intégrée augmente, le temps nécessaire pour migrer augmente en conséquence. Cela forcera le véhicule à régler son temps de migration prévu à un point antérieur. Une situation peut se produire où le temps de migration mis à jour nécessaire est supérieur à la durée résiduelle du réseau de la destination. Dans ce cas, le véhicule de destination recalculera, et dans son propre intérêt, aura besoin et commencera à faire migrer sa nouvelle charge avant la fin de la migration en cours. Cela entraînera un échec de la migration de la source. Cela peut être décrit comme un échec de « premier saut ». Un autre cas peut se produire lorsque la migration initiale est réussie et que la destination a désormais plus de charge de travail, mais que le temps restant sur le réseau n'est pas suffisant pour que sa nouvelle charge de travail migre. Cela peut être décrit comme un échec de « deuxième saut ».

#### **III.4.1.3. MDWLAM (Mobility and Destination Workload Aware Migration)**

Pour éviter le problème du « premier saut », dans l'algorithme MD-WLAM, le véhicule source sélectionne une destination dont le temps restant dans la grille est supérieur ou égal à la somme du temps nécessaire à la source pour migrer sa charge, et de temps pour que la destination migre sa charge. Afin d'éviter le problème du « deuxième saut », le véhicule en migration doit en outre tenir compte du temps nécessaire au véhicule de destination pour migrer à la fois sa charge actuelle et la charge migrée.

Seuls les véhicules restant dans la grille plus longtemps qu'un certain seuil sont considérés comme des candidats viables. Le véhicule source sélectionne par conséquent le véhicule avec le temps le plus long restant parmi les candidats viables. L'idée derrière cette sélection est de maximiser la rétention des données dans la grille. En cas d'égalité entre plusieurs candidats à la migration, la sélection sera selon les critères proposés par le VVMM-LW, c'est-à-dire l'espace de ressources suivi de la proximité de la source.

#### **III.4.2. Évaluation des performances**

Pour évaluer la faisabilité et les performances de chacun des algorithmes proposés les auteurs ont :

- Considéré une grille composée de 9 intersections, comme le montre la figure III.3 Les rues sont supposées être à sens unique, indiquées par la direction de leurs flèches.

- Utilisé un ensemble de métriques (Le pourcentage de migrations perdues, le pourcentage de migrations qui ont été effectuées avec succès vers l'infrastructure, le pourcentage d'utilisation moyen des ressources collectives, le pourcentage d'utilisation moyen de la largeur de bande) grâce à des simulations avec différents niveaux de congestion du trafic routier, tailles de machines virtuelles et niveaux de restriction de charge. Le schéma de migration de machine virtuelle MDWLAM prend en compte la charge de travail et la mobilité de l'hôte d'origine ainsi que celles des destinataires potentielles. Ainsi, une destination valide aura à la fois le temps de recevoir la charge de travail et de migrer la nouvelle charge si nécessaire. Le comportement de divers algorithmes est comparé et il a été démontré que le MDWLAM démontre les meilleures performances, affichant des taux de perte de migration négligeables.

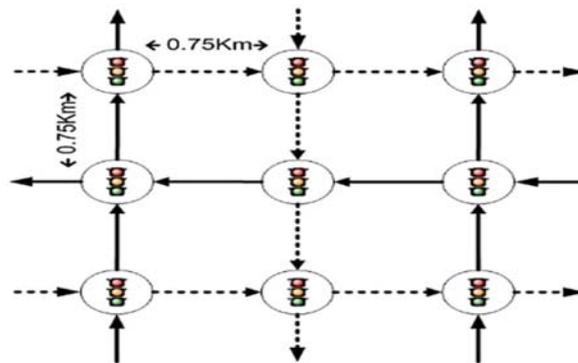


Figure III.4 : Grille de simulation [TK].

Les auteurs ont aussi considéré plusieurs aspects dans leurs simulations et ils ont trouvé :

- Qu'une congestion plus élevée est plus favorable. Plus il y a de véhicules disponibles dans la grille, plus il est possible d'héberger de VM et plus de candidats potentiels à la migration sont disponibles. Ce qui diminue le nombre de migrations abandonnées ou de migration vers l'infrastructure.
- Que des tailles de VM inférieures sont préférables. La sélection de la taille de la machine virtuelle est importante à prendre en compte car elle affectera le plus la congestion du réseau et de la bande passante.

Au final, les auteurs ont aussi considéré, analytiquement, l'impact des interférences et des instabilités de connexion sur les performances des algorithmes VVMM. Ils ont déduit que tous les algorithmes devraient connaître des taux de chute accrus, une fois que les conditions non idéales sont prises en compte.

### III.4.3. Critique

Le schéma le plus prometteur est le schéma MDWLAM, qui a obtenu des taux de perte de migration de machines virtuelles très faibles. Dans le processus de migration, MDWLAM prend en considération la charge de travail des destinataires potentielles, leurs distances par rapport au véhicule en migration et leurs temps de séjour dans la grille. Cependant, l'obtention de ces informations par les véhicules en migration nécessite l'échange d'un grand nombre de messages. Cela va engendrer des erreurs de transmission et des collisions, ce qui va détériorer les performances de réseau et engendrer ainsi des retards dans le processus de migration. En outre, leur proposition est uniquement adaptée à une configuration de route avec des feux de signalisation, des RSUs et des vitesses ne dépassant pas 50Km/h. Dans des autoroutes où les destinataires potentielles changent rapidement due aux vitesses très élevées et qui changent brusquement, l'obtention de ces informations va être très compliquée.

## III.5. Migration dynamique de service et gestion des ressources pour les clouds véhiculaires

Dans l'article [SK<sub>b</sub>], les auteurs ont exploré le problème d'affectation des demandes des utilisateurs (UR, User Request) aux machines virtuelles (VM, Virtual Machines) hébergées par les véhicules. Pour cela, ils ont proposé un algorithme appelé migration dynamique de services pour les clouds véhiculaires (DSM, Dynamic Service Migration).

### III.5.1. Modèle de cloud véhiculaire

Les auteurs ont considéré un environnement de cloud véhiculaire dans lequel une grande zone urbaine est divisée en un nombre fixe de grilles similaires comme le montre la figure 1. Chaque grille se compose de parkings, d'un ensemble de rues à double sens, de jonctions et d'une RSU comme indiqué dans figure III.6, le RSU est activé avec une fonction Internet afin de se connecter au cloud et il est utilisé comme intermédiaire entre les véhicules. Il est également équipé de dispositifs de communication filaires et sans fil, et contient un gestionnaire pour gérer les URs. Chaque gestionnaire surveille la charge actuelle et les informations des véhicules (par exemple, vitesse, itinéraire, capacité, etc.) dans la grille respective via le RSU. Les véhicules sont globalement classés en deux types, à savoir véhicule statique et véhicule dynamique en tenant compte de la mobilité.

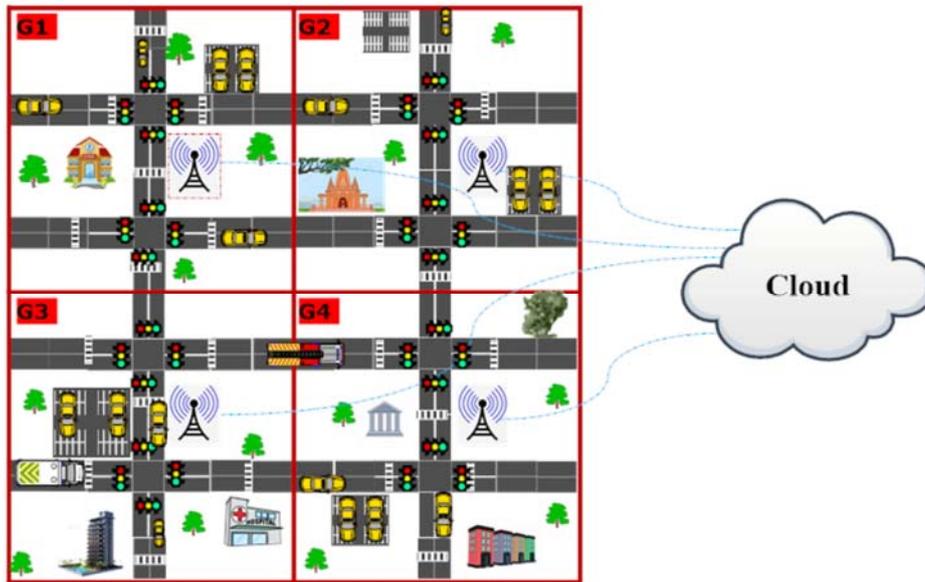


Figure III.5 : Une grande zone urbaine avec quatre grilles [SK<sub>b</sub>].

Les véhicules, qui résident dans le parking pendant une durée considérable par rapport aux autres véhicules, sont appelés véhicules statiques. En revanche, les véhicules dynamiques sont nettement plus mobiles et les chances de quitter le réseau sont élevées. Cependant, ils peuvent résider dans le parking du réseau pendant une courte période. En conséquence, ils sont en outre classés en véhicule dynamique avec parking et véhicule dynamique sans parking. Le gestionnaire peut créer exactement une VM, qui doit être hébergée par un véhicule en utilisant ses ressources. Le gestionnaire stocke l'état et la charge actuelle de la VM. La VM d'un véhicule est différente d'un autre véhicule en termes de capacité de traitement et de bande passante.

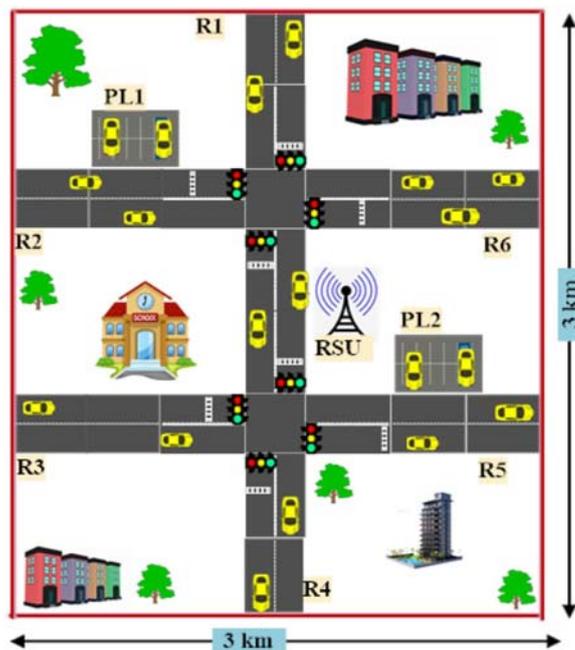


Figure III.6 : Exemple de grille [SK<sub>b</sub>].

Lorsqu'un véhicule entre dans une grille, il diffuse un faisceau de *beacon* contenant ses propres informations. Le faisceau de *beacon* est reçu par une RSU et il est communiqué au gestionnaire pour la gestion des URs. D'un autre côté, un utilisateur du cloud peut soumettre un ensemble d'URs au fournisseur de services cloud véhiculaire. Les URs sont formalisées en termes de volume d'instructions et de volume de données. Le prestataire de services envoie les URs aux gestionnaires des RSUs. Le gestionnaire attribue les URs aux VM via les RSUs et suit la progression des UR attribuées. Une fois qu'une UR est terminée, le résultat correspondant est communiqué au cloud. En revanche, s'il est partiellement achevé, il est ensuite migré vers un autre véhicule pour son éventuel achèvement.

### III.5.2. Algorithme proposé

L'algorithme proposé de migration dynamique de service (DSM) comprend trois phases : (1) estimation, (2) affectation et (3) migration.

#### ➤ Estimation

DSM utilise une file d'attente, pour placer les URs entrantes. À l'instance de temps  $t$ , DSM calcule une matrice qui contient les temps estimés pour calculer les requêtes utilisateurs URs par les machines virtuelles (VM, Virtual Machines) des véhicules. Ensuite, DSM calcule le temps de disponibilité des VMs.

Le temps estimé pour calculer la requête utilisateur  $UR_j$  par la machine virtuelle ( $VM_i$ ) du véhicule  $i$  est la somme du rapport entre le volume d'instructions de  $UR_j$  et la capacité de traitement de  $VM_i$  et du rapport entre le volume de données de  $UR_j$  et la capacité de bande passante de  $VM_i$ .

#### ➤ Affectation

La phase d'attribution est divisée en quatre cas, à savoir l'affectation d'URs à la VM hébergée par un véhicule statique, l'affectation d'URs à la VM hébergée par un véhicule dynamique avec parking, l'affectation d'URs à la VM hébergée par un véhicule dynamique sans parking et l'affectation partielle d'URs à la VM hébergée par n'importe quel véhicule, respectivement. La rationalité derrière cette affectation est que le temps de séjour d'un véhicule statique est plus grand que celui d'un véhicule dynamique avec parking et d'un véhicule dynamique sans parking, et le temps de séjour d'un véhicule dynamique avec parking est plus grand que celui d'un véhicule dynamique sans parking.

#### - Cas 1 : L'affectation d'URs à la VM hébergée par un véhicule statique

Pour chaque requête utilisateur  $UR_j$ , DSM calcule le temps d'achèvement sur les VMs hébergées par les véhicules statiques. Puis, il trie les véhicules dans l'ordre croissant du temps d'achèvement. Le temps d'achèvement d'une requête  $UR_j$  sur une VM hébergée par un véhicule  $i$

est la somme du temps estimé pour calculer  $UR_j$  par la  $VM_i$  et du temps de disponibilité de  $VM_i$ . Initialement, le temps de disponibilité des véhicules statique est mis à zéro puisqu'elle ne traite encore aucune UR.

Ensuite, DSM commence par comparer le plus court temps d'achèvement avec le temps de séjour ou de stationnement à l'intérieur de la grille du véhicule correspondant, pour vérifier l'affectation complète de l' $UR_j$  à ce véhicule. Si le temps de séjour est supérieur ou égal au temps d'achèvement, il attribue  $UR_j$  à la machine virtuelle (VM) de véhicule puis met à jour le temps de séjour et le temps de disponibilité de ce véhicule. Si ce n'est pas le cas, il vérifie l'assignation complète avec un autre véhicule. Ce processus est répété pour toutes les URs.

- **Cas 2 : L'affectation d'UR à la VM hébergée par un véhicule dynamique avec parking**

DSM vérifie l'état d'achèvement des URs et ignore les URs qui sont terminées dans l'étape précédente (Cas 1). Comme le premier cas, DSM calcule, également, pour chaque  $UR_j$  restante le temps d'achèvement sur les VMs hébergées par les véhicules dynamiques avec parking et effectue le tri des véhicules dans l'ordre croissant de temps d'achèvement. Ensuite, il compare le plus petit temps d'achèvement de  $UR_j$  par  $VM_i$  avec le temps de séjour du véhicule correspondant à la  $VM_i$ . Si le temps de séjour est supérieur ou égal au temps d'achèvement, il attribue l' $UR_j$  au  $VM_i$  puis met à jour le temps de séjour et le temps de disponibilité de véhicule  $i$ . Si ce n'est pas le cas, il vérifie l'assignation complète avec un autre véhicule. Ce processus est répété pour toutes les URs.

- **Cas 3 : L'affectation d'UR à la VM hébergée par un véhicule dynamique sans parking**

Comme dans les cas précédents, DSM suit le même processus pour affecter les URs restantes (les URs qui n'ont pas pu être attribuées aux véhicules statiques et aux véhicules dynamiques avec parking) aux véhicules dynamiques sans parking.

- **Cas 4 : L'affectation partielle d'UR à la VM hébergée par n'importe quel véhicule**

Dans cette dernière phase d'assignation, DSM vérifie également l'état d'achèvement, ignore les URs qui sont terminées dans les trois phases précédentes et mappe les URs non attribuées à tous les véhicules statiques et dynamiques disponibles pour une affectation partielle. Pour cela, il calcule le temps de disponibilité normalisé pour chaque véhicule et le pourcentage normalisé du temps estimé pour calculer une requête  $UR_j$  par une  $VM_i$ . Le temps de disponibilité normalisé d'un véhicule est le rapport entre le temps de disponibilité minimale et le temps de disponible de ce véhicule. La rationalité derrière la considération du temps de disponibilité minimale est qu'il peut traiter les URs d'une manière plus rapide. D'autre part, le pourcentage du temps estimé pour calculer  $UR_j$  par  $VM_i$  est calculé en prenant le rapport entre le temps de séjour du véhicule

correspondant au  $VM_i$  et le temps estimé pour calculer  $UR_j$  par  $VM_i$ , et le pourcentage normalisé du temps estimé pour calculer  $UR_j$  par  $VM_i$  est le rapport entre le pourcentage du temps estimé correspondant et le maximum des pourcentages du temps estimé. Le processus de normalisation pour le temps de disponibilité est différent de processus de normalisation pour le pourcentage du temps estimé, car le temps de disponibilité normalisé doit être minimisé et le pourcentage normalisé du temps estimé doit être maximisé. La valeur normalisée totale est calculée comme la somme du temps de disponibilité normalisé d'un véhicule et du pourcentage normalisé du temps estimé correspondant. Maintenant, l'UR est partiellement attribué au véhicule qui garde le maximum des valeurs normalisées totales. Par la suite, DSM met à jour l'heure de disponibilité, l'heure de migration et l'heure de résidence pour ce véhicule. Le processus ci-dessus est répété pour toutes les URs non attribuées.

#### ➤ Migration

Dans le processus de migration, les URs partiellement complétées doivent être traitées en utilisant les véhicules statiques et dynamiques disponibles pour la migration. Pour cela, DSM vérifie pour chaque véhicule si le temps de séjour est supérieur à zéro, et si la somme du temps de disponibilité et du temps de séjour est supérieure au temps de migration. Si les deux conditions sont satisfaites, alors la VM correspondante est disponible pour une durée, qui est la somme du temps de disponibilité et de temps de séjour pour laquelle on soustrait le maximum entre le temps de disponibilité et le temps de migration. Ensuite, il calcule le pourcentage de l'UR qui peut être complété dans les véhicules de destination et met à jour le nombre de véhicules disponibles. Le récapitulatif des véhicules disponibles pour la migration est sauvegardé. S'il y a au moins un véhicule de destination disponible pour l'UR, alors il trouve le (s) véhicule (s) qui peuvent (s) traiter complètement l'UR puis sélectionne le véhicule qui prend moins de temps pour terminer l'UR. Sinon, il sélectionne le véhicule qui complète partiellement l'UR au maximum et met à jour le statut d'achèvement, le temps de disponibilité, le temps de séjour et le temps de migration. Ce processus est répété pour toutes les UR partiellement terminées. Il est à noter que le délai et la surcharge de commutation de contexte dans la phase de migration sont négligeables pour des raisons de simplicité.

### III.5. 3. Mesures de performance

Pour démontrer les performances, les auteurs ont effectué une série de simulations sur l'algorithme proposé et l'ont comparé avec trois algorithmes bien connus, à savoir l'uniforme de migration des VM véhiculaires (VVMM-) (Refaat et al.2016), le round robin (RR) (Pillmann et al.2017, Jiang et al.2018) et la mobilité et destination workload aware migration (MDWLAM)

(Refaat et al.2016). Les résultats de simulations sont réalisés en termes de métriques de performance suivantes :

- **Le nombre d'UR migrées** : Défini comme les URs qui sont transférées d'une machine virtuelle à une autre pour leur achèvement éventuel ;
- **Le nombre d'UR terminées** : Défini comme les UR qui sont traitées complètement à l'aide des VM hébergées par les véhicules ;
- **Le nombre d'UR abandonnées** : Défini comme les UR qui sont partiellement terminées ou non traitées. En d'autres termes, c'est la différence entre le nombre total d'UR et le nombre d'UR terminées.
- **Pourcentage de migration** : C'est le rapport entre les URs migrées et les URs totales.

Les auteurs ont également validé les résultats avec le test T pour montrer la signification statistique de l'algorithme proposé.

### **III.5.4. Critique**

Les résultats de simulation et le teste statistique T montrent la supériorité de l'algorithme proposé sur les algorithmes existants. Cependant, leur proposition est adaptée uniquement au milieu urbain avec la présence d'une infrastructure. En plus, les auteurs ont étudié leur proposition par rapport à une simple grille avec des feux de signalisation et des intersections. Par conséquent, ils n'ont considéré que les véhicules à mobilité réduite et dont le temps de séjour dans la grille est connu à l'avance. Or, dans d'autre milieu urbain, la vitesse des véhicules est grande et leur mobilité est imprévisible. En outre, ils ont laissé la tâche de gestion aux RSUs qui peuvent générer un goulet d'étranglement au niveau de ces derniers, et n'ont en aucun cas utilisé les communications de véhicule à véhicule. Enfin, ils ont aussi supposé que chaque véhicule ne puisse créer qu'une seule VM et que le délai et la surcharge de commutation de contexte dans la phase de migration sont négligeables.

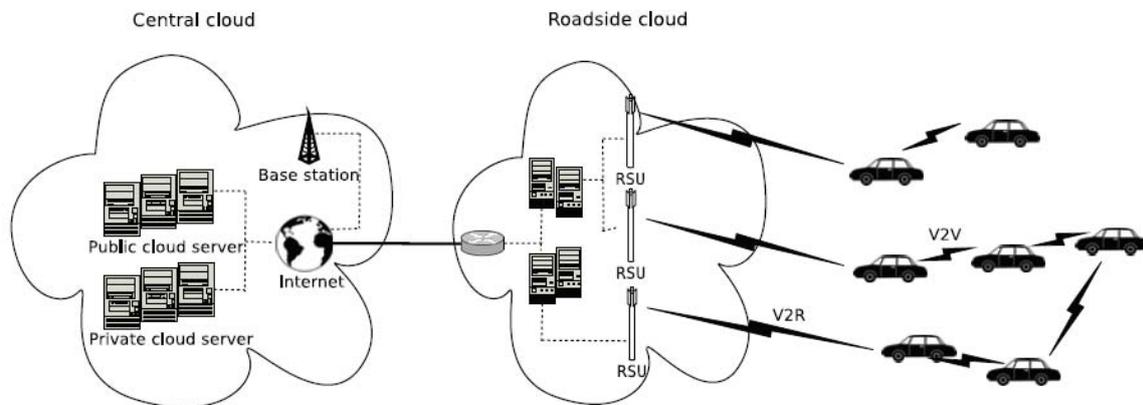
### **III.6. Une nouvelle technique de planification des demandes pour une gestion efficace des ressources dans un cloud RSU**

Dans [AG], les auteurs visent à planifier les requêtes des applications véhiculaires tout en tenant compte de leurs besoins en ressources, des contraintes de retard et des frais généraux liés aux migrations de VM.

#### **III.6.1. Modèle du système utilisé**

Les auteurs ont considéré un modèle du système qui consiste en un scénario de ville à deux dimensions avec plusieurs voies et intersections. Chaque route est divisée en cellules/segments de

longueur l (600 m). Ils ont aussi considéré une architecture cloud hiérarchique telle que proposée dans [WB] et [RY], et représentée sur la figure 1. Elle est composée de trois couches interactives le cloud véhiculaire, le cloud de bord de la route ou le cloud RSU et le cloud central.



**Figure III.7 :** Architecture du système [AG].

Un cloud de bord de route se compose de RSU et de serveurs locaux dédiés, comme illustré à la figure III.7. Les ressources physiques sont virtualisées par les serveurs locaux dédiés qui agissent comme un cloud potentiel. Les RSUs agissent comme des interfaces qui permettent aux véhicules d'accéder au cloud lors de leurs déplacements. Ainsi, les RSUs et les serveurs locaux peuvent être considérés comme des cloudlets qui fournissent une assistance aux véhicules en mouvement pour diverses applications. Les services qui ne peuvent pas être servis par un cloud en bordure de route en raison de l'indisponibilité des ressources requises sont servis par le cloud central.

### III.6.2. Méthodologie proposée

Les demandes de différents véhicules peuvent être servies en fonction de divers critères. Dans ce travail, l'objectif est de réduire le temps de réponse moyen pour chaque service demandé et le nombre total de migrations de VM. Les demandes arrivant dans les clouds RSU sont filtrées pour le service en fonction de leurs demandes en ressources. Dans le but d'atteindre les objectifs mentionnés, les demandes sont traitées par le cloud RSU selon la méthode suivante :

- Afin de réduire le temps de réponse moyen, les auteurs ont proposé de sélectionner ou de prioriser les demandes de service qui ont une petite durée de vie restante, c'est-à-dire les demandes les plus anciennes en attente d'être servies.
- Afin de réduire le nombre de VM migrée, les auteurs ont proposé que les véhicules qui sont sur le point de sortir de la zone de couverture d'un RSU ou qui sont proches de la limite d'une

zone de couverture d'un autre RSU (par exemple, à environ 50 m de la limite) soient encouragés à envoyer leurs demandes au cloud RSU voisin. En effet, les véhicules qui sont sur le point de quitter la zone de couverture d'un RSU ont une forte probabilité qu'au moment où leur demande est servie, ils quittent la zone menant ainsi à une migration de VM. Ainsi, au lieu de servir de telles demandes dans le cloud RSU actuel, ils peuvent être traités par le cloud RSU voisin qui est dans la direction du mouvement du véhicule. Avec cela, la migration de VM n'aura pas lieu et les coûts correspondant seront évités. La demande du véhicule sortant sera alors en concurrence avec les autres demandes dans le nouveau cloud RSU avec le respect de sa durée de vie disponible.

### **III.6.3. Critique**

Les résultats de simulation montrent que la technique de planification pour répondre aux demandes correspondant à différentes applications véhiculaires réduit le temps de réponse global et les coûts associés aux migrations de VM. Car elle se concentre sur le traitement des demandes qui ont une petite durée de vie restante et encourageant les véhicules correspondant à envoyer leurs demandes aux cloudlet RSU voisins qui se trouvent dans la direction de leurs déplacements. Cependant, leur solution est adaptée au milieu urbain car elle est basée sur la présence des infrastructures routières. En plus, ils n'utilisent que les ressources de stockage et de calcul des RSUs. Dans un trafic dense, cela va entraîner des retards dans le traitement des requêtes due au fait que les ressources d'un RSUs sont limitées. En outre, pour réduire le nombre de migrations, les auteurs ont pris en considération, uniquement, la distance entre le prochain RSU et le véhicule. Or, un autre véhicule peut rouler à une grande vitesse et se trouver ainsi, dans la portée d'un autre RSU avant le véhicule qui a été plus proche de ce dernier.

### **III.7. Comparaison entre les différentes caractéristiques des solutions abordées.**

Dans le tableau 1, on a résumé les contributions présentées dans ce chapitre. On a souligné leurs principaux objectifs, l'approche utilisée pour trouver la solution optimale, les différents facteurs pris en compte dans la solution, le type d'évaluation, si elle repose sur une infrastructure et pour quel environnement elle adaptée.

| Critères de comparaison          | Objectif de leurs travaux  | Approche de la solution   | Les facteurs considérés  | Évaluation | Infrastructure/Environnement |
|----------------------------------|--|---|--|------------|------------------------------|
| Référence                        |  |   |  |            |                              |
| <b>R.Yu et al.</b><br>[RY]       | Optimiser l'allocation des ressources<br>Améliorer le taux de réussite de migration de machines virtuelles   | - Modèle basé sur la théorie des jeux<br><br>-Un schéma de réservation de ressources  | - Les ressources de stockage et de calcul  | Simulation | Oui/Urbain                   |
| <b>B.Baron et al.</b><br>[BB]    | Aborder le problème de la virtualisation des ressources hébergées sur les nœuds mobiles. Étudier la faisabilité d'effectuer des migrations de VM en utilisant des communications V2V, au lieu d'utiliser des liaisons cellulaires. | - Une architecture composée d'un MInP et d'un MSP.<br>- Proposent d'effectuer de manière opportuniste des migrations dans les zones hotspot | - La durée du contact<br>- La taille de la machine virtuelle   | Simulation | Oui/Urbain                   |
| <b>T.K.Refaat et al.</b><br>[TK] | - Minimiser le taux de perte de migration de machines virtuelles<br>-utiliser efficacement les ressources (calcul, stockage, bande passante)   | -Plusieurs algorithmes de migration de machine virtuelle véhiculaire : VVMM-U, VVMM-LW, VVMM-MA et MDWLAM                                   | - La charge de travail de destination.<br>- La distance entre la source et la destination<br>- La durée de migration | Simulation | OUI/Urbain                   |

|  |  |  |   |                                   |            |
|--|--|--|---|-----------------------------------|------------|
|  |  |  | - Le Temps de résidence des véhicules   |                                   |            |
| <b>S.K.Pande et al. [SK<sub>b</sub>]</b> | Explorer le problème d'affectation des requêtes des utilisateurs aux machines virtuelles<br>- Minimiser le taux de perte de migration de machines virtuelles | -L'algorithme de migration dynamique de service (DSM)                      | - Le Temps de résidence des véhicules<br>- Les ressources de stockage et de calcul<br>- Le volume des requêtes<br>- La durée de migration | Simulation<br>Un Test statistique | Oui/Urbain |
| <b>A.Gupta et al. [AG]</b>               | Réduire le temps de réponse pour chaque service demandé<br>Réduire le nombre de VM migrée et les coûts correspondant   | Prioriser les demandes de service qui ont une petite durée de vie restante | La durée de vie des requêtes<br>La distance entre les véhicules et les RSUs<br>La quantité des ressources requises pour un service        | Simulation                        | Oui/Urbain |

**Tableau III. 1.** Tableau comparatif des différentes solutions abordées

**III.8. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons abordé les différentes solutions proposées et apporté aux problèmes de gestion des ressources dans un VC, à savoir la gestion des machines virtuelles dans le but d'augmenter la flexibilité afin de réutiliser ces ressources dans un CV. Ces machines virtuelles permettent l'utilisation d'un environnement capable d'exécuter des processus sans avoir besoin de ressources physiques. A cause de la dynamité de l'environnement d'un cloud véhiculaire, un utilisateur peut facilement changer ou quitter une portée d'une zone couverte. C'est pour cela que les solutions citées en haut ont été proposées.

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion Générale

Le cloud véhiculaire a un grand avantage sur le réseau de véhicules conventionnel en raison de sa grande application dans nos vies. La combinaison de ressources sous-utilisées des véhicules telles que le stockage, la puissance de calcul, la connectivité Internet, etc. peut être partagée ou louée avec d'autres véhicules comme le cloud computing. Le VC est considéré comme complémentaire du Cloud computing général et propose davantage de services et d'applications liés au trafic, tels que la surveillance publique, la gestion du trafic et la surveillance environnementale.

Dans ce travail, on s'est intéressé et abordé la gestion et la migration des machines virtuelles dans le cloud véhiculaire. La migration des VMs est une instance de gestion des ressources et un attribut de performance fondamental dans le cloud véhiculaire. À l'instar de Cloud Computing et de Mobile Cloud Computing, les applications de cloud véhiculaires sont hébergées sur des machines virtuelles provoquées par la mobilité. Lorsqu'un véhicule quitte le Cloud, alors que sa machine virtuelle hébergée est toujours active, une défaillance se produit. Il est donc nécessaire de trouver un autre membre du Cloud pour héberger la machine migrée et poursuivre l'exécution de la tâche en cours d'exécution. Dans ce contexte, certaines politiques (stratégies) de migration des machines virtuelles ont été suggérées afin de minimiser les perturbations et la dégradation des performances lorsque les véhicules se déplacent.

Le VC est un résultat de l'évolution et la convergence de deux types de réseau, le cloud computing et les réseaux véhiculaires (VANET). Afin de prendre note du domaine, nous avons fait une étude de chaque réseau à part en focalisant sur l'aspect de virtualisation.

Nous avons consacré un chapitre pour les réseaux véhiculaires (VANET), où nous avons fait le tour sur les différents concepts de ce réseau pour former une vision globale du réseau.

Pour couvrir les concepts du deuxième type de réseau qui compose le cloud véhiculaire qui est le cloud computing, nous avons consacré la première partie du chapitre deux pour cela. Cette partie regroupe l'ensemble des notions sur le cloud computing tel que ses caractéristiques et ses différentes architectures ainsi que la notion de virtualisation et sa relation avec le cloud. Le Mobile cloud computing est aussi, brièvement, abordé car ce type de réseaux se rapproche du réseau véhiculaire en cloud. Dans la deuxième partie, nous avons mis en évidence le paradigme du Cloud véhiculaire en présentant ses fondements théoriques : son architecture, ses services, ses applications innovantes, etc. En outre, nous avons cité et identifié un certain nombre de défis dans le Cloud véhiculaire. Parmi ces défis, on trouve la gestion des ressources (Allocations, estimation et migration de machines virtuelles).

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié et critiqué quelques travaux et solutions qui ont été proposés pour la migration des VM dans le cloud véhiculaire. Puis, nous avons établi un tableau pour résumer et comparer entre les différentes caractéristiques des solutions qui ont été abordées dans le chapitre (leurs principaux objectifs, l'approche utilisée pour trouver la solution optimale, les différents facteurs pris en compte dans la solution, le type d'évaluation, si elle repose sur une infrastructure et pour quel environnement elle est adaptée).

Comme perspective, on envisage d'étudier d'autres stratégies sur la migration de machines virtuelles afin d'en proposer la nôtre.

## Références bibliographiques

- [AB] A. Boukerche, R. De Grande, Vehicular cloud, computing: Architectures, applications, and mobility. In: Computer Networks, vol. 135, pp. 171–189, 2019.
- [AG] A. Gupta, A. Santhosh, Moumita Patra, A Novel Request Scheduling Technique for Efficient Resource Management at Roadside Clouds, In 11th international conference on communication systems & networks, 2019.
- [BB] B. Baron, M. Campista, P. Spathis, L. H. M. K. Costa, M. D. de Amorim, O. C. M. B. Duarte, G. Pujolle, Y. Viniotis, Virtualizing vehicular node resources: Feasibility study of virtual machine migration, In Vehicular Communications, vol. 4 pp. 39–46, 2016.
- [DM] D. Moussaoui, Réseaux véhiculaires en cloud: gestion de la sécurité, PhD thesis, Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, octobre 2019.
- [FZ] F. Zidani, Le beaconing adaptatif et la protection de la vie privée dans les réseaux véhiculaires, PhD thesis, Université de Bejaïa-Abderrahmane Mira, 2019
- [HT<sub>a</sub>] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Nuage33.png> (Consulté le 20/03/2020).
- [HT<sub>b</sub>] <https://www.lebigdata.fr/virtualisation-definition> (consulté le 21/06/2020).
- [HT<sub>c</sub>] <https://www.supinfo.com/articles/single/1871-cloud-computing#idm44858298966800> (Consulté le 20/03/2020)
- [IE] IEEE, Wireless (LAN) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE, Std 802.11, 2012.
- [JB] J. B. Kenney, Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States, Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 7, pp. 1162–1182, July 2011.
- [JP] J. Petit, Surcoût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires. PhD thesis, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Juillet 2011.
- [JZ] J. Zhou, X. Dong, Z. Cao, A. V. Vasilakos, Secure and privacy preserving protocol for cloud-based vehicular DTNs, IEEE Trans. Inf. Forensics Secur., 1299–1314, 2015.
- [MA<sub>a</sub>] M. A. Salahuddin, A. I. Al-Fuqaha, M. Guizani, and S. Cherkaoui, RSU cloud and its resource management in support of enhanced vehicular applications, CoRR, Vol. abs/1706.06921, 2017. Online. Available: <http://arxiv.org/abs/1706.06921>.
- [MA<sub>b</sub>] M. Azizian, Partage des Ressources dans le Nuage de Véhicules (Resource Sharing in Vehicular Cloud), PhD thesis, Université de Sherbrooke, Novembre 2017.
- [MA<sub>c</sub>] M. Azloom, M. Mohadesipour, H. Babaei, An ontology-based approach for optimal resource allocation in vehicular cloud computing, Int. J. Comput. Sci. Mob. Comput, pp 176–187, (2015).
- [MB] M. Benadda, Le Cloud Computing pour une Gestion Intelligente du Trafic Urbain : Proposition d'un service de prise en charge et de coopération pour la gestion de personnes victimes de malaise pendant la conduite, PhD thesis, Université Oran I, 2018.
- [MG] M. Gherari, Contribution à l'évolution des architectures logicielles des systèmes intensifs, PhD thesis, Université de Larbi Tebessi, Tebessa.

- [MK] M.K.Sharma, A. Kaur, A Survey on Vehicular Cloud Computing and its Security, In: 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies, Dehradun, India, pp 4-5, September 2015.
- [MW] M.Whaiduzzaman, M.Sookhak, A.Gani, R.Buyya, A survey on vehicular cloud computing, In : Journal of Network and Computer Applications, vol 40 ,pp. 325 – 344, 2014.
- [NH] N.Halima, B.Latifa, Le cloud, opportunité ou menace ?, Etude bibliographique, 2018.
- [NK] N. Kumar, J.P. Singh, R.S. Bali, S. Misra, S. Ullah, An intelligent clustering scheme for distributed intrusion detection in vehicular cloud computing, Clust. Comput, pp 1263–1283, 2015.
- [OB] OBU Image. Online Available: [https://fort-monitor.ru/en/fort\\_devices/new-fort-112m-on-board-unit-for-commercial-transport-is-already-on-sale/](https://fort-monitor.ru/en/fort_devices/new-fort-112m-on-board-unit-for-commercial-transport-is-already-on-sale/), (consulté le 20/07/2020).
- [PM] P. Mell and T. Grance, The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, 2011.
- [RH<sub>a</sub>] R. Hussain, F. Abbas, J. Son, D. Kim, S. Kim, H. Oh, Vehicle witnesses as a service: leveraging vehicles as witnesses on the road in VANET clouds, in: 2013 IEEE 5th International Conference on Cloud Computing Technology and Science, CloudCom, IEEE, pp 439–444, 2013.
- [RH<sub>b</sub>] R. Hussain, F. Abbas, J. Son, H. Eun, H. Oh, Privacy-aware route tracing and revocation games in VANET-based clouds, In: International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, IEEE, vol 9, pp 730–735, 2013.
- [RH<sub>c</sub>] R. Hussain, H. Oh, Cooperation-aware VANET clouds: providing secure cloud services to vehicular ad hoc networks, J. Inf. Process. Syst, pp 103–118, 2015.
- [RI<sub>a</sub>] R.I. Meneguette and A. Boukerche, An Efficient Green-Aware Architecture for Virtual Machine Migration in Sustainable Vehicular Clouds, In IEEE transactions on sustainable computing, vol 1, 2020.
- [RI<sub>b</sub>] R.I. Meneguette, Diego O. Rodrigues, Joahannes B. D. da Costa, Denis Rosário, Leandro A. Villas, A Virtual Machine Migration Policy Based on Multiple Attribute Decision in Vehicular Cloud Scenario, IEEE Xplore, September 2020.
- [RY] R.Yu, Y.Zhang, W.Xia, K.Yang, Toward Cloud-Based Vehicular Networks with Efficient Resource Management, In IEEE Network, Septembre/Octobre 2013.
- [SA<sub>a</sub>] S. Arif, S. Olariu, J. Wang, G. Yan, W. Yang, I. Khalil, Datacenter at the airport: Reasoning about time-dependent parking lot occupancy, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, pp 2067– 2080, 2012.

- [SB] S.Bitam, A .Mellouk, S.Zeadally, VANET-CLOUD: A generic cloud computing model for vehicular ad hoc networks, In IEEE Wireless Communications, Février 2015
- [SG] S.Grich, Contribution à la qualité de service dans les réseaux vanet, mémoire de magistère, université d’Oran1, Novembre 2015.
- [SK<sub>a</sub>] S.K.Panda, S.Parida, S.K.Bhoi, S.K.Nayak, S.Das, An Efficient Virtual Machine Management Algorithm for Vehicular Clouds, In 5th IEEE International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC-2018), december 2018.
- [SK<sub>b</sub>] S.K.Pande, S.K.Panda, S.Das, Dynamic service migration and resource management for vehicular clouds, In Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Mai 2020.
- [SO] S.Olariu, R.Florin, Vehicular Cloud Research – What is Missing?, DIVANet’17, November 21–25, Miami,USA, 2017.
- [ST] Status of the Dedicated Short-Range Communications Technology and Applications," Report to Congress, U.S. Department of Transportation, July 2015.
- [SZ] S.Zertal, Le Cloud et la Virtualisation, Université Larbi Ben M’hidi- Oum El Bouaghi, 2ème année Master, cours 2020, pp 53.
- [TK] T.K.Refaat, B.Kantarci, H.T.Mouftah, Virtual machine migration and management for vehicular clouds.
- [TM] T .Mekki , I.Jabri , A. Rachedi , M.ben Jemaa , Vehicular cloud networks: Challenges, architectures, and future directions, In : Vehicular Communications vol 9 pp 268–280, 2017.
- [WB] W.Bouksani, Gestion de la protection de la vie privée dans les reseaux vehiculaires (VANET), Mémoire de la maîtrise en mathématiques et informatique appliquées, Université du QUÉBEC, Juillet 2017.
- [WK] W. Kim, M. Gerla, Navopt: navigator assisted vehicular route optimizer, in: Proceedings of the International Conference on Innovative Mobile and Inter- net Services in Ubiquitous Computing, pp 450–455, 2011.
- [ZA] Z. Alazawi, S. Altowaijri, R. Mehmood and M. Abdljabar, Intelligent Disaster Management System based on Cloud-enabled Vehicular Networks, in 11th International Conference on ITS Telecommunications (ITST 2011), Petersburg, Russia, 2011.
- [ZE] Z.E.Ahmed, R.A. Saeed, A.Mukherjee, Challenges and Opportunities in Vehicular Cloud Computing,In :researchgate,Janvier 2019.

## Résumé

Les réseaux véhiculaires (VANET) ont été introduits pour améliorer la sécurité routière et l'expérience de conduite. L'accès sans fil à l'Internet à partir des véhicules a déclenché l'émergence de nouveaux services pouvant être disponibles à partir de ceux-ci. Par ailleurs, une extension du paradigme des réseaux véhiculaires a été récemment promue à un autre niveau. Le cloud véhiculaire (VC) est la convergence ultime entre le concept de cloud computing et les réseaux véhiculaires dans le but de l'approvisionnement et de la gestion des services. Avec cette approche, les véhicules peuvent être connectés au cloud, où une multitude de services leur est disponibles. Les véhicules peuvent également offrir des services et agir comme des fournisseurs de services plutôt que comme des consommateurs de services. Cela est possible en raison de la variété des ressources disponibles dans les véhicules : calcul, bande passante, stockage et capteurs.

Les machines virtuelles (VM) sont utilisées pour augmenter la flexibilité et pour réutiliser les ressources disponibles dans un cloud véhiculaire. Ces machines virtuelles permettent l'utilisation d'un environnement capable d'exécuter des processus sans avoir besoin de ressources physiques. L'une des principales différences entre les VC et les clouds conventionnels est la volatilité des ressources. À mesure que les véhicules entrent et sortent du VC, de nouvelles ressources de calcul deviennent disponibles tandis que d'autres partent, créant un environnement volatil où les tâches de migration de machines virtuelles et l'attribution de tâches aux véhicules de manière cohérente sont particulièrement difficiles.

Dans ce mémoire, on s'est intéressé à la gestion et à la migration des VMs dans le VC. Après avoir étudié et critiqué quelques contributions qui ont été proposées pour la gestion et la migration de VMs dans le cloud véhiculaire, on a élaboré un tableau comparatif soulignant leurs principaux objectifs, l'approche utilisée pour trouver la solution optimale, les différents facteurs pris en compte dans la solution, le type d'évaluation, si elle repose sur une infrastructure et pour quel environnement elle est adaptée.

**Mots clés :** VANET, cloud computing, cloud véhiculaire, gestion de ressources, migration de machines virtuelles.

## Abstract

Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANET) was introduced to improve road safety and the driving experience. Vehicles wireless access to the Internet has triggered the emergence of new services that can be available to or from vehicles. Recently, an extension of the vehicular network paradigm has been promoted to a new level. Vehicular cloud (VC) is the ultimate convergence between the cloud computing concept and vehicular networks for the purpose of service provisioning and management. With this approach, Vehicles can get connected to the cloud, where a multitude of services are available to them. Also, vehicles can offer services and act as service providers rather than service consumers. This is possible because of the variety of resources available in vehicles: computing, bandwidth, storage and sensors.

Virtuals Machines (VM) are used to increase flexibility and to reuse available resources in a vehicular cloud. These VMs allow the use of an environment capable of executing processes without the need for physical resources. One of the main differences between VCs and conventional clouds is resource volatility. As vehicles enter and leave the VC, new compute resources become available while others depart, creating a volatile environment where the tasks of virtuals machines migration and assigning jobs to vehicles in a coherent fashion are particularly challenging.

In this work, we focused on the management and migration of VMs in the VC. After studying and criticizing some contributions that have been proposed for the management and migration of VMs in the vehicular cloud, we have drawn up a comparative table highlighting their main objectives, the approach used to find the optimal solution, the evaluation type, and in the simulation case, the different factors considered in the solution, the type of evaluation, whether it is based on an infrastructure and for which environment it is adapted.

**Key words:** VANET, cloud computing, Vehicular cloud, resource management, virtuals machines migration.