Table des matières

Remerciements i
Résumé ii
Abstract iii
Liste des figures vii
Liste des tableaux viii
Chapitre I 1
Introduction Générale 1
1.1. Problématique 2
1.2. But de la recherche 2
1.3. Méthodologie de la recherche 2
1.4. Organisation du mémoire 3
Chapitre II 4
Les réseaux VANET 4
2.1 Introduction 4
2.2 Applications et services 5
2.3 Propriétés des réseaux VANET 6
2.4 Architectures 8
2.4.1 Principe de fonctionnement 8
2.4.2 Routage 9
2.5 Conclusion 10
Chapitre III 11
Protocoles de routage 11
3.1 Introduction 11
3.2 Classification des mécanismes de routage 11
3.2.1 Le routage ad hoc basé sur la position 11
3.2.2 Le routage ad hoc basé sur les groupes 13
3.2.3 Le routage ad hoc basé sur la diffusion 14
3.2.4 Le routage ad hoc basé sur la topologie 15
3.3 Bilan sur les protocoles de routage 19
3.4 Conclusion 20
Chapitre IV 21
Réseaux de neurones 21

4.1 Introduction 21
4.2 Couches, connexions et fonctions d'activation 23
4.3 Apprentissage 27
4.4 Calcul des poids synaptiques 27
4.5 Modèle de réseaux de neurones existants 27
4.5.1 Le Perceptron 28
4.5.2 Les Perceptrons multicouches (PMC) 29
4.5.3 Les réseaux de Hopfield 29
4.5.4 Les réseaux de Kohonen 29
4.6 Conclusion 30
Chapitre V 31
Approche proposée 31
5.1 Principe 31
5.2 Choix des entrées d'un réseau de neurones 32
5.3 Mécanisme d'adaptation de DSR 33
5.4 Couplage entre DSR et NN 35
5.5 Conclusion 36
Chapitre VI 37
Analyse de performance 37
6.1 Introduction 37
6.2 Environnement de simulation 39
6.2.1 Modélisation de la mobilité des véhicules 39
6.2.2 Modélisation des réseaux VANET 41
6.3 Effet de l'adaptation du protocole de routage 43
6.4 Métrique de mesure de performance 45
6.5 Effet de vitesse 46
6.5.1 Vitesse vs PDR 46
6.5.2 Vitesse vs E2ED 47
6.5.3 Vitesse vs NRO 48
6.6 Effet de la densité avec le changement d'environnement 49
6.6.1 Densité vs PDR 49
6.6.2 Densité vs E2ED 49
6.6.3 Densité vs NRO 50

6.7 Conclusion 51
Chapitre VII 52
Conclusion et perspectives 52
Références 53

Liste des figures

Figure 2. 1 : Quelques applications des VANET. 5
Figure 2. 2 : Architecture C2C-CC 8

Figure 3. 1 : Protocoles de routage ad hoc basé sur la position 13
Figure 3. 2 : Protocole de routage ad hoc basé sur la topologie 16

Figure 4. 1 : Modèle simple des réseaux de neurones 22
Figure 4. 2 : Neurones biologiques 22
Figure 4. 3 : Les deux modèles de neurone sans et avec biais. 24
Figure 4. 4 : Modèle de neurone avec vecteur d'entrées. 24
Figure 4. 5 : Fonctions de transfert a=f(n) 25
Figure 4. 6 : Architecture simple d'un réseau de neurones 26
Figure 4. 7 : Classification des modèles de réseaux de neurones par type d'apprentissage. [39] 28

Figure 5. 1 : Schéma de l'approche proposée 36

Figure 6. 1 : Modèle proposé d'un réseau de neurones 37
Figure 6. 2 : Environnements des VANET. 38
Figure 6. 3 : Modèles de la mobilité des VANET 40
Figure 6. 4 : Architecture de la simulation 41
Figure 6. 5 : Conception des profils 42
Figure 6. 6 : Réseau NN avec une couche cachée et une couche de sortie 43
Figure 6. 7 : Taux de succès de l'entraînement du réseau 44
Figure 6. 8 : Vitesse vs PDR 46
Figure 6. 9 Vitesse vs E2ED 47
Figure 6. 10 : Vitesse vs NRO 48
Figure 6. 11 : Densité vs PDR 49
Figure 6. 12 : Densité vs E2ED 50
Figure 6. 13 : Densité vs NRO 50

Liste des tableaux

Tableau 5. 1 : Caractéristiques des profils de protocoles de routage DSR..... 42
Tableau 5. 2 : Entrées et sorties du réseau de neurones 43

Chapitre I

Introduction Générale

Les réseaux ad hoc constituent un groupe d'ensembles d'appareils (ou nœuds) mobiles qui peuvent dynamiquement échanger des informations entre eux sans avoir besoin d'une infrastructure réseau préexistante et fixe ou d'une administration centralisée. Les nœuds communiquent directement entre eux, et chaque nœud envoie et reçoit des messages dans son rayon de communication (sa portée radio). Ainsi, les nœuds formant ce groupe peuvent acheminer les messages grâce au protocole de routage. À cet effet, plusieurs classes de routage existent pour les réseaux ad hoc.

Bien que les réseaux ad hoc aient été développés initialement pour les milieux militaires, ces types de réseaux ont pu démontrer bien davantage dans plusieurs domaines, par exemple les applications d'urgence, les applications multimédia et bientôt les applications de conduite collaborative.

Dans ce contexte, citons deux classes de réseaux ad hoc : les réseaux ad hoc mobiles (*Mobile Ad hoc Networks*) (MANET) et les réseaux ad hoc de véhicules (*Vehicular Ad hoc Networks*) (VANET). Mentionnons que les réseaux VANET sont un cas particulier des réseaux MANET.

Les réseaux VANET répondent toutefois mieux aux exigences de la vitesse des nœuds, au changement brusque de la topologie, à la diversité des environnements et au problème de l'énergie (qui est un défi pour les MANET) et possèdent une bien meilleure capacité de traitement des données que MANET. La communication entre les nœuds y est garantie par plusieurs protocoles qui gèrent les différentes fonctionnalités lors d'une communication donnée. La norme IEEE 802.11p donne une solution d'accès au médium pour les nœuds (véhicules), ce qui était auparavant un problème majeur.

L'objectif des réseaux VANET est d'appliquer certaines notifications, par exemple les messages d'alertes signalant un accident pour les nœuds voisins afin de réduire la probabilité de collision entre les véhicules, les applications multimédias en temps réel et bien d'autres applications.

Puisque les nœuds sont mobiles et qu'ils peuvent se joindre ou quitter le réseau à tout moment, nous rencontrons plusieurs défis, notamment au niveau de la sécurité, de la qualité du service et du routage. Plusieurs propositions et recherches se concentrent à travailler actuellement à résoudre ces défis.

1.1. Problématique

La gestion de la mobilité représente également un grand défi, et plusieurs solutions et approches ont été proposées afin d'améliorer celle-ci. Chacune de ces propositions traitait juste un environnement particulier, alors que dans la réalité, le nœud se déplace dans plusieurs environnements différents (les milieux urbains et résidentiels, les autoroutes, les tunnels, les mines…), ce qui laisse ces solutions non adaptés lors du changement d'environnement.

La gestion de la forte fréquence de déconnexion causée par le changement d'environnement, et parfois par la haute vitesse des nœuds ou par d'autres facteurs, diffère d'un environnement à un autre. Aucune gestion unique ne convient donc à tous les différents environnements.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1.2. But de la recherche

Dans ce travail, nous élaborons un protocole intelligent basé, d'une part, sur les protocoles de routage les plus performants pour chaque environnement, et d'autre part, sur la méthode intelligente des réseaux de neurones pour la classification. Ainsi, notre approche est censé de résoudre les défis cités précédemment tout en augmentant les performances du réseau en adaptant dynamiquement des protocoles de routages existants. Pour atteindre notre objectif, nous explorons dans cette étude l'utilisation des réseaux de neurones.

1.3. Méthodologie de la recherche

Afin d'atteindre notre objectif de recherche, nous avons suivi la méthodologie suivante :

La première phase consistait à valider les protocoles de routage les mieux performants pour chaque environnement afin de les utiliser dans la phase suivante. Nous avons donc simulé ces protocoles pour les tester dans un premier temps et pour les remodifier afin d'augmenter les performances du réseau dans un deuxième temps.

La deuxième phase consistait à générer des modèles d'environnements similaires à ceux qui se retrouvent dans la réalité, pour ensuite expérimenter ces modèles dans différents scénarios en utilisant les protocoles de routage appropriés.

La dernière phase touchait la gestion de la mobilité. Dans cette phase, nous avons utilisé les réseaux de neurones, comme modèles pour effectuer la classification. On s'attend que les réseaux de neurones effectuent une sélection automatique du meilleur protocole de routage à utiliser.

Rapport-Gratuit.com

1.4. Organisation du mémoire

Ce mémoire est organisé de la manière suivante : le chapitre II introduit les réseaux ad hoc (MANET et VANET) et les différentes caractéristiques de ces réseaux.

Nous effectuons ensuite une synthèse des protocoles de routage dans le chapitre III afin de présenter les défis pour chaque environnement et de classifier les différentes solutions pour ceux-ci.

Au chapitre IV, nous présentons quelques notions sur les réseaux de neurones et évaluons la performance et la capacité de ces réseaux relativement à la résolution de problèmes complexes. Nous proposons ensuite au chapitre V une approche pour remédier au problème de la gestion de la mobilité.

Par des simulations dans le chapitre VI, nous avons cherché à évaluer les performances de notre méthode et à valider celle-ci à travers l'intelligence des réseaux de neurones dans différents environnements. Dans une première étape, nous avons simulé les différents environnements à l'aide du logiciel VanetMobiSim. Dans une deuxième phase, nous avons implémenté ces simulations à des environnements sous le logiciel Opnet afin de simuler les protocoles de routage appropriés. Finalement, à la dernière phase, grâce au logiciel Matlab, nous avons utilisé l'intelligence des réseaux de neurones pour effectuer la classification.

Le dernier chapitre présente un récapitulatif des principaux travaux réalisés et des résultats obtenus. Ce dernier chapitre de conclusion propose également des perspectives présentées dans le présent mémoire.

Chapitre II

Les réseaux VANET

2.1 Introduction

Les communications sans fil ont connu un grand succès au cours des deux dernières décennies. En effet, la transmission séparée de la voix et des données a poussé le développement des différentes technologies dans le monde des télécommunications (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, WIMAX, GSM, GPRS, UMTS, LTE, etc.). Ces technologies ont été fortement exploitées pour l'intégration des applications multimédias ces dernières années, ce qui explique la dominance des terminaux sans fil mobiles sur les terminaux fixes.

La tendance ces dernières années est de faire une convergence entre les solutions de communication sans fil existantes et celles qui exploitent les nouvelles technologies, de nombreuses recherches ont été menées. Les résultats ont mené à une nouvelle classification basée sur trois types d'architecture : l'architecture de réseau d'infrastructures (réseaux existants), l'architecture de réseau ad hoc et l'architecture hybride (ou ad hoc hybride), laquelle constitue une combinaison des deux premières approches.

La communication entre véhicules *(Inter-Vehicle Communication*) (IVC*)* constitue un intérêt considérable pour les futurs systèmes de transport intelligents (STI) (*Intelligent Transportation System*, ITS). Les réseaux ad hoc de véhicules (*Vehicular Ad Hoc Networks*) (VANET) apparaissent comme une nouvelle classe de réseau sans fil. Ce type de réseau se caractérise par la formation spontanée de véhicules ayant des interfaces radio de technologies similaires ou différentes. On y distingue deux types d'échange de communication : « de véhicule à véhicule » et « de véhicule à infrastructure ». Ce type de réseau ad hoc se caractérise par une communication instantanée entre véhicules, que ceux-ci aient des interfaces radio de technologies similaires ou différentes.

Nous présentons tout d'abord dans ce chapitre les applications et les services relatifs aux réseaux VANET, puis nous présentons les propriétés de ceux-ci, de même que les architectures et le routage. Nous concluons en montrant les améliorations apportées par la méthode de la classification des réseaux de neurones.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2.2 Applications et services

Plusieurs applications des réseaux VANET sont orientées vers la sécurité routière (par exemple la diffusion de messages d'alerte de collision, de travaux, d'accident, etc.). Ces applications visent à diminuer le nombre d'accidents, à améliorer la circulation, ainsi qu'à rendre la conduite plus collaborative pour les conducteurs et les passagers (la figure 2.1 illustre quelques applications souhaitées du réseau VANET).

En effet, plusieurs réseaux de communication (2G, 3G, WLAN, IEEE 802.11 a/b/g/p et WiMAX) peuvent être exploités afin d'offrir aux passagers des services nouveaux et autres que des applications de sécurité, par exemple les applications de divertissement (péage électronique, gestion de flotte, accès Internet, jeux en ligne, etc.), qui peuvent s'appuyer sur le réseau véhiculaire lui-même.

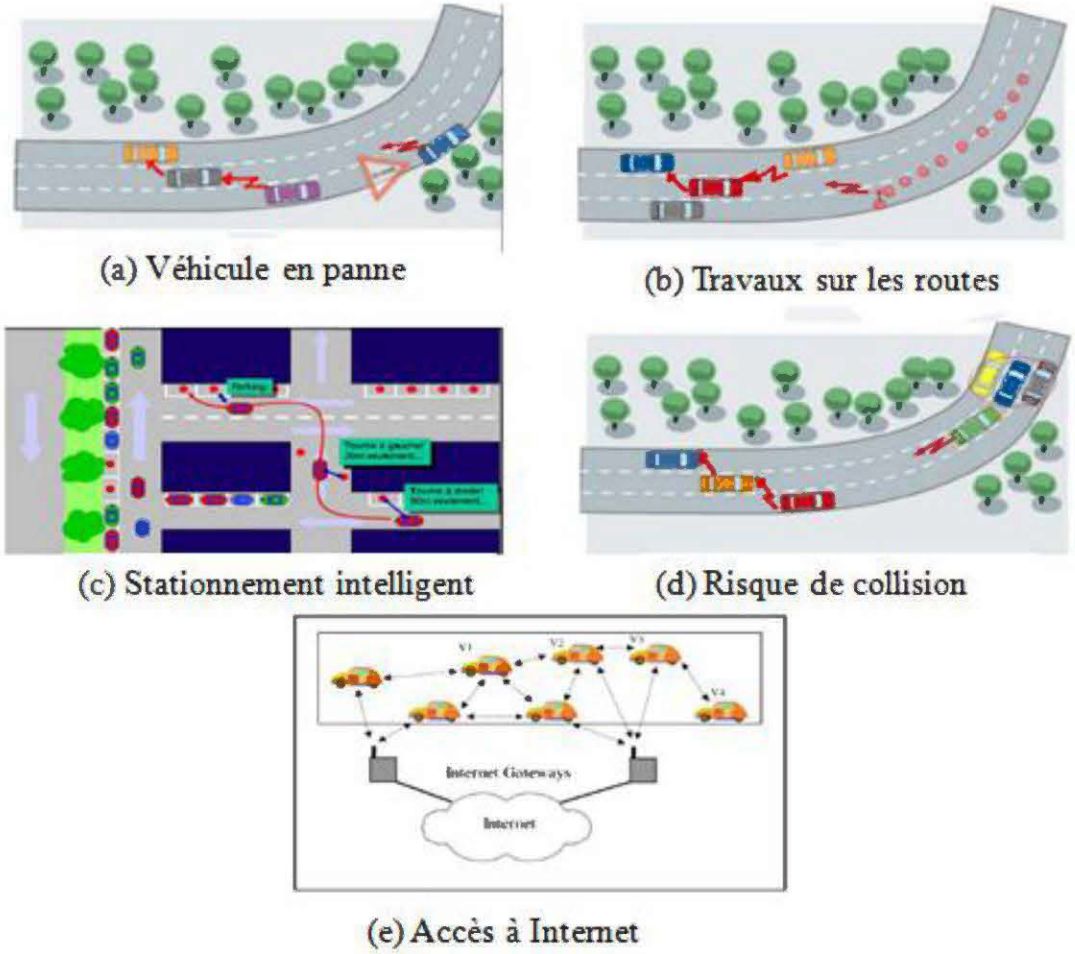

Figure 2. 1 : Quelques applications des VANET.

Au-delà des caractéristiques générales introduites ci-dessus, ces réseaux se distinguent par la diversité des applications ou des services appelés à y être opérés. Ces différents services sont liés aux architectures de réseaux VANET, lesquels seront détaillés dans la section 4 qui traite de ces architectures. Récemment, plusieurs projets sont en cours pour des nouveaux développements des réseaux ad hoc :

- Le projet allemand « Network on Wheels (NoW) » [1] travaille essentiellement sur les aspects de communication de véhicule à véhicule et de véhicule à infrastructure basés sur la technologie WLAN.

- Le projet « Cooperative Vehicle Infrastructure Systems » (CVIS) [2] vise à développer un système de communication qui soit capable d'utiliser une large gamme de technologies sans fil, y compris les réseaux cellulaires (GPRS, UMTS), les réseaux locaux sans fil (WLAN), des balises à faible portée (*short-range microwave beacons*) (DSRC) et l'infrarouge.

- Le projet « SAFESPOT » [3] fournit des systèmes coopératifs pour la sécurité routière en utilisant un assistant afin de prévenir les accidents routiers. Cet assistant représente un système intelligent de coopération et utilise la communication de véhicule à véhicule et de véhicule à infrastructure basées sur la technologie WLAN (IEEE 802.11p).

- Le projet « Cooperative Systems for Intelligent Road Safety » (COOPERS) [4] se concentre sur le développement des applications de télématiques innovatrices au niveau de l'infrastructure routière dans le but à long terme d'une gestion coopérative du trafic entre véhicule et infrastructure. Le projet COOPERS tente d'améliorer les capteurs de l'infrastructure routière et les applications de contrôle du trafic, de développer un concept de communication et des applications capables de répondre aux exigences de la communication de l'infrastructure au véhicule et démontre de bons résultats dans les grandes autoroutes européennes à forte densité de trafic.

- Le projet « Global System for Telematics (GST) » [5] crée une architecture de bout en bout ouverte et standardisée pour les services des télématiques automobiles. Le projet cible les services orientés vers l'infrastructure habituellement fournis par un opérateur de réseau, tels que les services d'appel d'urgence, les avertissements de sécurité et les services d'information.

2.3 Propriétés des réseaux VANET

Les réseaux VANET se distinguent des autres types de réseaux mobiles par un certain nombre de critères. Voici les points qui caractérisent VANET [6] :

- Une puissance de transmission illimitée. Certains types de périphériques mobiles connaissent des problèmes d'alimentation, notamment les réseaux de capteurs ou les

réseaux ad hoc mobiles, alors que pour les réseaux VANET, le nœud (véhicule) lui-même peut fournir une puissance continue. En effet, ces nœuds disposent de grandes capacités énergétiques qui viennent du système d'alimentation des véhicules.

- Une grande capacité de calcul. En effet, les véhicules utilisant les réseaux VANET peuvent effectuer des calculs complexes et possèdent de fortes capacités de détection.

- La mobilité prévisible. Contrairement aux réseaux mobiles ad hoc classiques, où il est difficile de prédire la mobilité des nœuds, les véhicules ont tendance à avoir des mouvements très prévisibles qui sont (généralement) restreints aux routes. L'information routière est souvent disponible à partir de systèmes de positionnement et d'une carte basée sur les technologies comme le GPS. Compte tenu de la vitesse moyenne, de la vitesse actuelle et de la trajectoire de route, la position future d'un véhicule peut être prédite.

Toutefois, les réseaux VANET doivent faire face à certaines contraintes difficiles [7] qui comprennent :

- Une échelle potentiellement large. Les réseaux véhiculaires peuvent en principe s'étendre sur l'ensemble du réseau routier et comprennent ainsi de nombreux participants.

- Une forte mobilité. L'environnement dans lequel opèrent les réseaux véhiculaires est extrêmement dynamique et inclut des configurations extrêmes (autoroute, milieu urbain, milieu sous-terrain, tunnel…).

- Réseaux partitionnés. La nature dynamique de la circulation peut faire en sorte que les réseaux de véhicules soient plus fréquemment partitionnés sous forme des groupes (*clusters*).

- La topologie du réseau et la connectivité. Les scénarios des réseaux ad hoc de véhicules sont très différents des réseaux ad hoc classiques. Les mouvements et les changements fréquents de position par les véhicules entraînent des scénarios très dynamiques. Par conséquent, la topologie du réseau change fréquemment, ce qui fait que les liens entre les nœuds se connectent et se déconnectent très souvent.

- Le modèle de communication. Les réseaux VANET ont été principalement conçus pour les applications de sécurité routière (par exemple la diffusion de messages d'alerte). Ces applications nécessitent que les communications se fassent presque exclusivement par relayages successifs d'une source vers une multiplicité de destinataires. Le modèle de transmission en diffusion (*broadcast*) ou en multi-diffusion (*multicast*) est souvent présent dans les réseaux VANET, ce qui entraîne une charge du réseau très importante.

2.4 Architectures

2.4.1 Principe de fonctionnement

Le progrès avancé des technologies sans fil a permis d'ouvrir la porte à de nouvelles tendances pour déployer des architectures de réseaux ad hoc de véhicules VANET sur l'autoroute, en milieu urbain et dans d'autres environnements.

Trois approches sont proposées pour les architectures des VANET [8] :

- un réseau ad hoc de véhicule à véhicule (V2V) permettant la communication sans avoir besoin d'une infrastructure;
- un réseau de base (*backbone*) câblé avec les derniers sauts du sans fil pouvant être vu comme un réseau WLAN;
- une solution hybride reposant sur les réseaux ad hoc de véhicules et sur l'infrastructure (V2R), sur l'exploitation des performances améliorées par la combinaison entre l'infrastructure et le réseau sans fil, garantissant ainsi une meilleure communication entre tous les véhicules.

Le *CAR 2 CAR Communication Consortium* (C2C-CC) a proposé une architecture de référence pour les réseaux ad hoc de véhicules [8]. Nous en distinguons trois unités : à l'intérieur du véhicule (*in-vehicle*), ad hoc et infrastructure (la figure 2.2 illustre cette architecture).

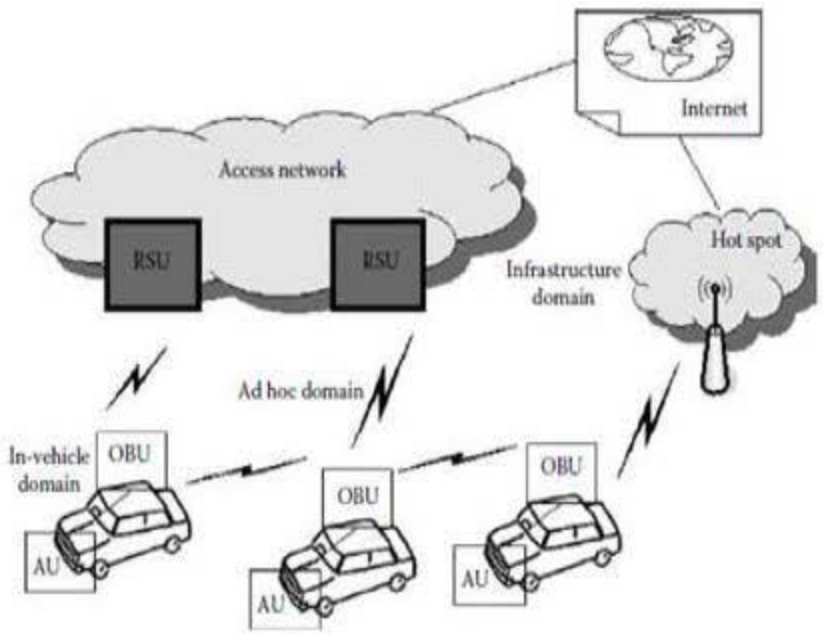

Figure 2. 2 : Architecture C2C-CC

Le domaine à l'intérieur du véhicule (*in-vehicle*) se réfère à un réseau local à l'intérieur de chaque véhicule et est logiquement composé de deux unités : une unité embarquée (*On-Board Unit*) (OBU) et une ou plusieurs unité(s) d'application (*Application Unit*) (AU). Dans les réseaux VANET, chaque véhicule doit posséder ces deux dispositifs [8]. Le premier dispositif, l'OBU, permet au véhicule de posséder des capacités de communication (sans fil et/ou filaire). Le second dispositif, l'AU, permet d'exécuter une ou plusieurs applications lors de l'utilisation des capacités de communications de l'OBU. L'AU est donc en connexion permanente avec l'OBU.

Le domaine ad hoc est un réseau composé de véhicules équipés des dispositifs OBU et des unités au bord de la route (*Roadside units*) (RSU) qui restent fixes le long de la route [8]. Les unités OBU et RSU peuvent être considérés comme des nœuds d'un réseau ad hoc, soit respectivement des nœuds mobiles et des nœuds statiques. Les unités RSU sont vues comme des unités reliées à l'Internet via un réseau d'infrastructure existant. Elles aident à améliorer la sécurité routière et à exécuter certaines applications du domaine ad hoc.

Nous citons deux types d'accès au domaine de l'infrastructure [8] : les unités RSU et les points d'accès sans fil (hot spots). Les unités RSU donnent aux unités OBU l'accès à l'infrastructure, ce qui leur donne la possibilité d'être connectées. Dans le cas où il y a absence d'unité RSU et de point d'accès sans fil, les unités OBU peuvent directement communiquer via les réseaux cellulaires existants s'ils sont intégrés aux unités OBU.

2.4.2 Routage

L'étude et la mise en œuvre des algorithmes de routage pour assurer la connectivité des réseaux ad hoc, au sens classique du terme, est un problème complexe. L'environnement est dynamique et évolue au cours du temps, la topologie du réseau peut donc changer fréquemment. Il est donc important que toute conception de protocole de routage étudie les problèmes suivants [8] :

- La minimisation de la charge du réseau. L'optimisation des ressources du réseau renferme deux autres sous-problèmes, soit l'évitement des boucles de routage et l'empêchement de la concentration du trafic autour de certains nœuds ou liens.

- Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multi-points fiables. Le fait que les chemins utilisés pour router les paquets de données puissent évoluer ne doit pas avoir de conséquences sur le bon acheminement des données. L'élimination d'un lien pour cause de panne ou de mobilité devrait, idéalement, augmenter le moins possible les temps de latence.

- Assurer un routage optimal. La stratégie de routage doit créer des chemins optimaux et pouvoir prendre en compte différentes métriques de coûts (bande passante, nombre de liens, ressources du réseau, etc.). Si la construction des chemins optimaux est un problème ardu, la maintenance de tels chemins peut devenir encore plus complexe. La stratégie de routage doit donc assurer une maintenance efficace des routes au moindre coût possible.

- Le temps de latence. La qualité du temps de latence et des chemins doit augmenter dans le cas où la connectivité du réseau augmente.

2.5 Conclusion

Les réseaux ad hoc de véhicules ont été conçus pour répondre aux exigences de la sécurité routière et pour rendre l'environnement du conducteur plus agréable, que ce soit par des applications de conduite collaborative ou des applications de divertissement. La recherche dans ce domaine est en plein développement et la plupart des résultats existants constituent la première boucle d'étude.

Les réseaux VANET sont un cas particulier des réseaux mobiles ad hoc (MANET), lesquels se forment spontanément par les véhicules en mouvement et permettent d'exécuter un certain nombre de services pour les conducteurs et les passagers.

Plusieurs recherches étudient les protocoles de routage des MANET afin de les adapter au réseau des VANET. D'ailleurs, pour certaines applications, les recherches récentes sont en compétition afin d'établir les nouveaux standards.

Pour conclure, ce chapitre a montré l'architecture et les caractéristiques des réseaux ad hoc de véhicules, en plus de donner quelques exemples d'applications attendues de ces réseaux et de mettre en évidence certains défis de la recherche. Le chapitre suivant formera une synthèse des protocoles de routage des réseaux VANET.

Chapitre III

Protocoles de routage

3.1 Introduction

L'objectif d'un protocole de routage est l'établissement de routes entre un groupe de nœuds afin d'assurer un échange de paquets de manière continue et efficace. Comme les réseaux ad hoc sont basés sur la notion de multi-sauts en ce qui concerne le routage, il peut arriver qu'un nœud veuille communiquer avec un autre nœud qui est hors de sa portée radio. À l'aide de quelques protocoles de routage, les paquets vont pouvoir être transmis d'un nœud à un autre jusqu'à destination.

Tel que mentionné dans le chapitre précèdent, les réseaux VANET utilisent plusieurs protocoles de routage. Nous effectuons dans ce chapitre la classification de ces protocoles, puis nous détaillons les quelques protocoles choisis pour l'exploration dans les environnements de notre thématique (autoroute, urbain, centre-ville, tunnel…). Les réseaux de véhicules répartissent les protocoles de routage ad hoc en quatre catégories : basés sur la topologie et adressage des mobiles, sur la position géographique des mobiles, sur la gestion de groupe des mobiles ou sur les mécanismes de diffusion.

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu les réseaux mobiles ad hoc. Nous mettons ensuite en évidence le problème de routage et proposons une stratégie de routage pour ces réseaux mobiles. Nous présentons ensuite les protocoles de routage en les classant en deux catégories principales : les protocoles de routage classiques ou indépendants de la localisation et les protocoles de routage basés sur la localisation. Nous montrons à travers cette classification que l'information de localisation des nœuds mobiles peut améliorer le routage en diminuant la signalisation, en augmentant le débit et en économisant de l'énergie. Notons que la plupart des protocoles sont en cours d'évaluation pour les réseaux VANET. Nous allons présenter à la fin de ce chapitre les méthodes permettant l'évaluation de ces protocoles.

3.2 Classification des mécanismes de routage

3.2.1 Le routage ad hoc basé sur la position

Dans le routage géographique (basé sur la position), la décision de transmission par un nœud est basée essentiellement sur la position des paquets de destination et sur la position du nœud voisin à un saut. Les données de la position de la destination sont stockées dans l'en-tête du paquet par la source. Quant à la position du nœud voisin à un saut, elle est obtenue par les balises envoyées

périodiquement avec une gigue aléatoire (pour éviter une collision). Les nœuds qui sont à portée radio d'un nœud vont devenir les voisins du nœud.

Le routage ad hoc basé sur la position implique que chaque nœud connaisse sa propre position et que le nœud émetteur connaisse la position du nœud de réception. Un exemple de ce type de routage ad hoc est l'unité du système mondial de localisation (GPS), dont la popularité n'est pas à démontrer, qui est à la base de plusieurs systèmes de navigations embarqués et de la recherche récente sur les services de localisation [12].

Les protocoles de routage géographique n'échangent pas d'information sur l'état (bande passante, délai de transmission, coût d'utilisation, etc.) des liens disponible au sein d'un mobile et ne maintiennent pas de routes établies comme dans les protocoles de routages conventionnels basés sur la topologie. Ce type de protocole de routage semble selon les dernières études plus promettant en termes de robustesse et de gestion d'une mobilité hautement dynamiques.

En d'autres termes, c'est par la route déterminée en se basant sur la localisation géographique des nœuds voisins que le paquet est transmis. Il n'est pas nécessaire de changer l'état du lien ou de configurer l'installation.

Les protocoles de routage géographique définissent une zone de transfert qui permet de recevoir les paquets par inondation (*flooding*) afin de réduire la charge du réseau (*network overhead*) et la congestion du réseau en inondant tout le réseau. Le routage à destination unique (*unicast*) peut quant à lui être utilisé pour expédier les paquets dans la zone de transfert de destination. En effet, les paquets sont envoyés en premier lieu avec un échange (*unicast)* vers la zone de transfert où se trouve le destinataire, puis ils sont diffusés au niveau de toute la zone de transfert par inondation pour atteindre le destinateur des paquets.

En d'autres termes, c'est par la route déterminée en se basant sur la localisation géographique des nœuds voisins que le paquet est transmis. Il n'est pas nécessaire de changer l'état du lien ou de configurer l'installation.

Le routage géographique se divise en trois catégories (tel qu'illustré à la figure 3.1) : les réseaux non-tolérants au délai (*non-Delay Tolerant Network*) (non-DTN), les réseaux tolérants au délai (*Delay Tolerant Network*) (DTN) et les réseaux hybrides.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

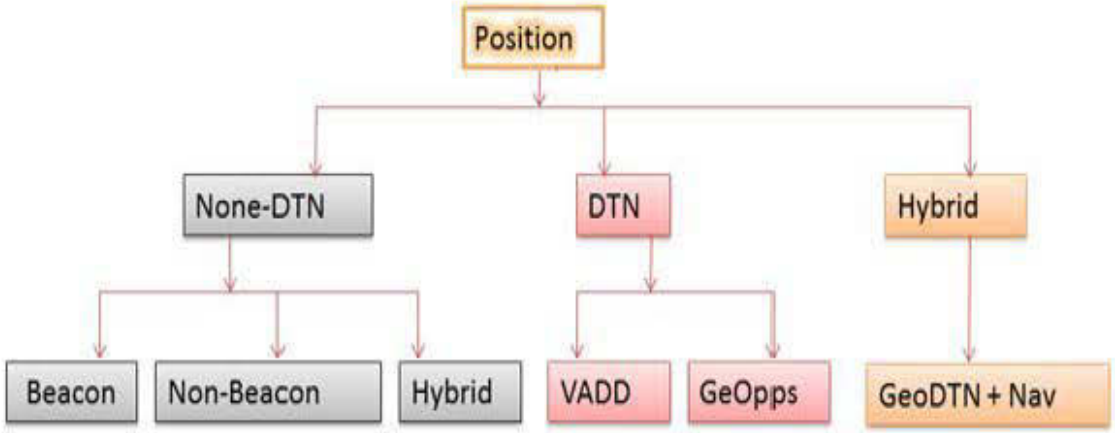

Figure 3. 1 : Protocoles de routage ad hoc basé sur la position

Les protocoles de routage géographiques de type non-DTN ne prennent pas en considération la connectivité intermittente et ne sont pratiques que pour les VANET très denses, tandis que ceux de type DTN prennent en considération la déconnectivité. Cependant, les non-DTN sont conçus dans l'idée que les réseaux soient déconnectés par défaut. Les protocoles de routage géographiques de type hybride combinent les protocoles de routage non-DTN et DTN pour exploiter la connectivité partielle du réseau.

3.2.2 Le routage ad hoc basé sur les groupes

Dans ce type de protocole de routage, les véhicules ou les mobiles qui sont à proximité des autres forment un groupe ou une grappe (*cluster*) et chaque groupe possède un chef de groupe (*Cluster-Head*). La formation de groupes et la sélection du chef de groupe sont des processus déterminants. Chaque chef de groupe jouera le rôle de la passerelle entre son groupe et les autres groupes. D'ailleurs, dans les réseaux VANET, connus pour leur mobilité très dynamique, la formation des groupes est un processus dominant [13].

Ce type de protocole possède un avantage bien important : la diminution des coûts et des retards de livraison des paquets de données lors du transport, principalement à cause de sa gestion. En effet, chaque chef de groupe est responsable de la gestion des nœuds au sein d'un même groupe, mais également de la gestion entre les autres groupes. La communication diffère toutefois dans ces deux cas. La communication entre les nœuds d'un même groupe s'effectue par des liens directs entre eux, tandis que la communication entre les groupes s'effectue par le biais des chefs de groupes [14]. À titre d'exemple, nous citons trois des nombreux protocoles de routage basé sur les groupes :

- Le protocole de routage basé sur la hiérarchie des groupes (***Hierarchical Cluster Based***) (HCB) [14]. Ce protocole est conçu tout particulièrement pour les réseaux ad hoc à forte

mobilité et est basé sur une architecture de communication à deux couches. Dans la couche 1, les nœuds peuvent communiquer entre eux via un chemin à multi-sauts à l'aide de leur interface radio unique. Parmi ces nœuds, se trouvent ceux qui possèdent également une autre interface radio de communication à large portée. Ceux-ci sont appelés des « super nœuds » et existent à la fois dans la couche 1 et 2. Dans le HCB, le routage pour les chefs de groupes s'effectue indépendamment pour chaque grappe. Ces chefs de groupes dirigent l'échange périodique des informations entre les nœuds d'un même groupe afin de permettre le routage entre les groupes.

- Le protocole de routage basé sur la localisation (***Cluster Based Location Routing***) (CBLR) [15]. Il s'agit d'un protocole de routage réactif et d'un protocole de routage basé sur les groupes. Chaque chef de groupe conserve une table de routage contenant les adresses et les localisations géographiques des nœuds de son propre groupe et des nœuds passerelles, en plus de maintenir une table de routage des groupes voisins. Quand une source veut envoyer des données à une destination, le chef de groupe vérifie d'abord si la destination est dans le même groupe ou non. Si celle-ci est dans le même groupe, il envoie le paquet à la plus proche voisine de la destination. Le CBLR est adapté aux réseaux à haute mobilité, puisqu'il met à jour la localisation de la source et de la destination à chaque fois avant de commencer la transmission de données.

- Le protocole de routage directionnel basé sur les groupes (***Cluster-Based Directional Routing Protocol***) (CBDRP) [13, 15]. Ce protocole divise les véhicules en groupes et les véhicules qui se déplacent dans la même direction sous forme d'un groupe. La source envoie le paquet au chef de son groupe, puis ce dernier transmet le paquet au chef du groupe de destination, qui le transmet à son tour à la destination. La sélection du chef de groupe et l'entretien s'effectuent comme un CBR, sauf que le CBDRP prend également en considération la vitesse et la direction du véhicule.

3.2.3 Le routage ad hoc basé sur la diffusion

Ce protocole se caractérise par sa simplicité, mais il reste incapable de résoudre le problème de la tempête (*Storm*) générée par une divergence des mécanismes de diffusion de proche en proche [ref XX]. La diffusion pour ce type de routage ad hoc se base sur la structure hiérarchique du réseau routier. La route y est alors divisée en cellules virtuelles qui se déplacent comme des véhicules. On distingue deux niveaux de hiérarchie dans l'organisation des nœuds d'une route : la hiérarchie du premier niveau, qui comprend tous les nœuds dans une cellule, alors que la hiérarchie du second niveau est représentée par des réflecteurs de cellules, qui sont quelques nœuds situés très proches du centre de la cellule. Certains réflecteurs de cellules se comportent temporairement comme des chefs de groupe et gèrent les messages d'urgence provenant des membres mêmes de la cellule ou d'un voisin proche [16]. Ce protocole se base sur les inondations pour faire la diffusion. À titre d'exemple, Le protocole de diffusion distribué pour les véhicules (*Distributed Vehicular Broadcast Protocol*) (DVCAST) [16, 17] utilise le principe de diffusion. Chaque véhicule utilise un drapeau (*flag*) pour vérifier si le paquet est redondant ou non et il

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

utilise des informations locales de topologie en en envoyant des messages périodiques « hello » pour diffuser les informations. DVCAST est un protocole qui divise les véhicules en trois catégories en fonction de leur connectivité locale : connecté, peu connecté et zone de voisinage totalement déconnectée.

3.2.4 Le routage ad hoc basé sur la topologie

3.2.4.1 Les protocoles proactifs

Ce type de protocole est dit proactif, car, sans qu'il en fasse la demande, il reçoit l'information sur la topologie, laquelle est constamment mise à jour par l'échange régulier de paquets de la topologie du réseau entre les nœuds d'un même réseau. Chaque nœud conserve en mémoire une image absolue du réseau jusqu'à ce qu'il en reçoive une nouvelle. Cette information récente du réseau permet donc un délai minimal d'attente pour déterminer la route à prendre, ce qui est particulièrement important pour le temps-critique du trafic [21].

Lorsque les informations de routage deviennent inutiles rapidement, de nombreuses routes de courte durée sont à leur disposition. Celles-ci, déterminées antérieurement et restées non utilisées, doivent servir avant de devenir invalides. Ces routes laissées inutilisées causent un autre inconvénient résultant de la mobilité : la grande quantité de surdébit de trafic (*traffic overhead*) ou gaspillage de bande passante généré lors de l'évaluation de ces routes inutiles. Cette surcharge inutile influence de manière directe les performances du réseau lorsque le nombre des véhicules devient important, ce qui entraîne la génération d'un nombre important de paquets, contenant des informations de mise à jour, risquant de congestionner le réseau.

Les protocoles proactifs fonctionnent mieux pour les réseaux qui ont une faible mobilité des nœuds. Voici quelques types de ces protocoles [21] :

- ✓ Optimized Link State Routing (OLSR) [22]
- ✓ Fish-eye State Routing (FSR) [23]
- ✓ Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) [24]
- ✓ Cluster-head Gateway Switch Routing Protocol (CGSR) [25]

3.2.4.2 Les protocoles réactifs

Les protocoles réactifs sont basés sur le principe qu'il n'y a aucune information sur la topologie du réseau entier, puisque cette dernière est en évolution constante. Donc, chaque fois qu'un nœud requiert de l'information sur une route pour une cible donnée, il initie un processus de découverte de la route [26].

Les protocoles réactifs effectuent donc la mise à jour des routes sur demande. Ces protocoles tentent d'établir une route lorsqu'un nœud demande à initier une communication avec un nœud pour lequel il n'y a aucune route. Ce type de protocoles est généralement basé sur l'inondation du réseau avec les messages de demande de route (*Route Request*) (RREQ) et les messages de réponse (*Route Reply*) (RREP) ».

Les messages RREQ permettent de découvrir la route de la source au nœud cible. Lorsque le nœud cible reçoit un message RREQ, il envoie un message RREP pour confirmer que la route a bien été établie et qu'il en a transmis l'information. Ces messages RREQ et RREP sont très importants pour assurer la mise à jour des différentes routes (destinations).

Ce type de protocole de routage est très efficace pour les réseaux à taux unique, car celui-ci minimise généralement le nombre de sauts pour le chemin sélectionné. Cependant, pour les réseaux à multi-taux, le nombre de sauts d'un chemin donné n'est pas aussi important que le débit de celui-ci [27].

Les différents types de protocoles sur demande sont les suivants :

- ✓ Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) [27]
- ✓ Dynamic Source routing protocol (DSR) [27]
- ✓ Temporally ordered routing algorithm (TORA) [26]
- ✓ Associativity Based routing (ABR) [28]
- ✓ Signal Stability-Based Adaptive Routing (SSA) [29]
- ✓ Location-Aided Routing Protocol (LAR) [30]

La figure 3.2 présente les deux classes de la catégorie de routage basé sur la topologie :

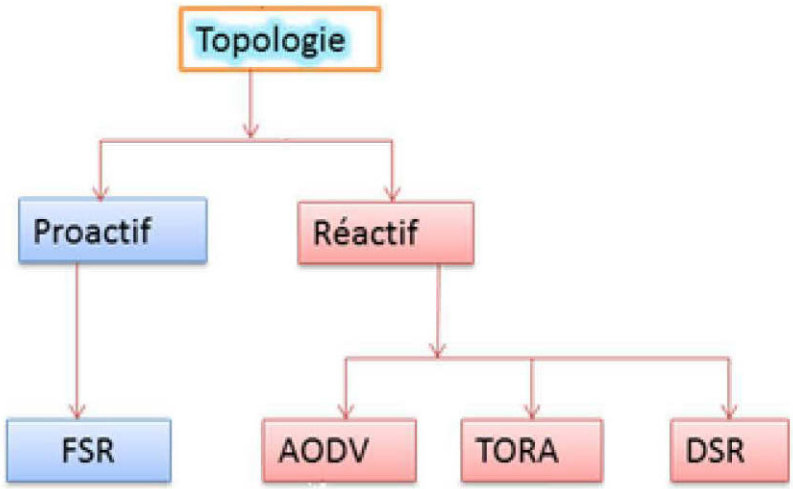

Figure 3. 2 : Protocole de routage ad hoc basé sur la topologie

3.2.4.2.1 AODV

Le protocole de routage « Ad Hoc On-Demand Vector » (AODV) [31] permet le routage à multi-sauts entre les nœuds souhaitant établir et maintenir un réseau ad hoc. AODV se base sur l'algorithme à vecteur de distance. Le protocole AODV étant réactif, il ne demande la route seulement lorsque nécessaire et ne maintient pas les routes vers les destinations qui ne sont pas utilisées dans les communications actives.

Ce protocole se caractérise par la boucle de liberté et par le fait que la mise à jour des ruptures de liens génère des notifications immédiates à l'ensemble de nœuds affectés. De plus, l'avantage du protocole AODV est qu'il supporte le routage en multi-diffusion (*multicast*) et évite le problème de Bellman Ford de « comptage à l'infini » [32]. L'utilisation des nombres de séquence de la destination garantie que la route est « fraîche ».

L'algorithme utilise différents messages pour découvrir et maintenir les liens. Lorsqu'un nœud veut essayer de trouver une route vers un autre nœud, il diffuse un message de demande de route RREQ à tous les nœuds voisins. Le message RREQ se propage à travers le réseau jusqu'à ce qu'il atteigne la destination ou un nœud avec une route fraîche vers la destination. Ensuite, la route est établie par un message de réponse RREP vers la source.

AODV utilise également des messages de réponse spéciaux « Hello, RREP spécial », lesquels sont diffusés périodiquement aux voisins immédiats. Ces messages sont un outil pour un nœud et ses voisins permettant de signaler leur présence et de valider une route. Lorsqu'un nœud remarque qu'un voisin ou plus ne diffuse plus le message de réponse spécial, il commence à envoyer des notifications « Hello,RREP spécial » à l'ensemble des nœuds pour signaler la rupture d'une route.

Les informations suivantes sont nécessaires pour AODV :

- ✓ L'adresse IP du nœud de la destination
- ✓ Le numéro de séquence du paquet généré au niveau de la source
- ✓ Le nombre de sauts pour atteindre cette destination
- ✓ Le prochain saut
- ✓ La durée de vie maximale représentant généralement le nombre de saut maximale
- ✓ La liste des nœuds active représentant les nœuds qui jouent le rôle de la passerelle vers d'autres nœuds.

Un nœud diffuse un message RREQ lorsqu'il cherche une route vers une destination et qu'aucune route n'est disponible. Ceci peut arriver lorsque la route de la destination est inconnue ou que cette route a déjà existé, mais qu'elle est maintenant expirée et n'est plus valide.

La diffusion du message de demande de route RREQ entraîne un temps d'attente avant la réception du message de réponse RREP par le nœud source. Si le message de réponse RREP est reçu après le temps d'attente, le nœud considère qu'il y a aucune route vers la destination.

L'envoi de messages de demande RREQ est effectué lorsqu'un nœud reçoit un message de réponse RREQ indiquant qu'aucune route n'existe vers la destination. Le nœud rediffuse alors le message de demande RREQ. Il crée également une route temporaire inverse pour l'adresse IP de la source dans sa table de routage et il remplace le champ du saut prochain par l'adresse IP du nœud qui a envoyé la demande RREQ. Le nœud conserve ainsi la trace d'une route de retour vers le nœud d'origine qui fait la demande, laquelle pourrait être utilisée dans un message de réponse RREP pour trouver sa route de retour vers le nœud d'origine. Cette route est temporaire, c'est-à-dire qu'elle est valide pour une période de temps beaucoup plus courte, donc elle forme une route d'entrée actuelle.

Lorsque le message de demande RREQ atteint un nœud qui est soit le nœud de destination ou un nœud avec une route valide vers la destination, un message de réponse RREP à diffusion individuelle (*unicast*) est généré et envoyé au nœud demandeur. Pendant la transmission du message de réponse RREP, une route est créée jusqu'à destination. Ainsi, lorsque le message de réponse RREP atteint le nœud source, une route partant de la source vers la destination est déjà disponible. Quand un nœud détecte qu'une route vers un voisin n'est plus valide, il supprime l'entrée de routage et envoie un message de rupture du lien. Un message de réponse de la route est alors envoyé aux voisins qui sont activement en utilisation de la route. Ce protocole de routage utilise une liste active des voisins pour garder la trace des voisins qui ont utilisé une route particulière. Les nœuds qui reçoivent ce message vont répéter cette procédure. Le message sera finalement reçu par les sources concernées, à proximité, qui peuvent alors cesser d'envoyer des données ou demander une nouvelle route en envoyant un nouveau message de demande de route RREQ. En comparant le protocole AODV aux autres protocoles classiques de type « vecteur de distance » et « état de lien », nous pouvons conclure que le grand avantage de ce protocole est la réduction importante du nombre de messages de routage dans le réseau. Un autre avantage clair est que lorsque les connexions à partir des réseaux ad hoc vers les réseaux câblés comme Internet sont probablement plus faciles.

3.2.4.2.2 DSR

Le protocole « Dynamic Source Routing » (DSR) [33, 34, 35] appartient lui aussi à la classe des protocoles réactifs et permet donc aux nœuds de découvrir dynamiquement une route dans un réseau à multi-sauts vers toutes les destinations. Ce protocole n'utilise pas de messages périodiques de routage, ce qui réduit la charge (*overhead*) de la bande passante du réseau en évitant une large mise à jour du routage partout dans le réseau ad hoc.

La découverte de la route est le mécanisme par lequel un nœud X, souhaitant envoyer un paquet à un nœud Y, obtient la route de la source à ce nœud Y. Le nœud X demande une route par la diffusion d'un paquet contenant un message de demande de route RREQ. Chaque nœud reçoit ce message RREQ et commence à chercher dans la mémoire cache pour la route de la destination demandée.

Dans le protocole DSR, toutes les routes sont stockées dans la mémoire cache. Si la route n'est pas disponible, il envoie encore un message RREQ et ajoute son adresse dans l'enregistrement de la séquence du saut. Cette demande se propage jusqu'à la destination ou jusqu'à un nœud qui connaît la route vers la destination. Lorsque la réponse est favorable, un message de réponse RREP à diffusion individuelle (*unicast*) est renvoyé au nœud d'origine. Dans la découverte de la route, au début, le nœud envoie un message de demande de route RREQ avec une limite maximale de propagation (limite de sauts) et interdisant aux autres nœuds de le rediffuser. Par le biais de la diffusion d'un paquet unique, ce mécanisme permet au nœud d'interroger la mémoire cache de la route de ses voisins.

La maintenance de la route est le mécanisme par lequel un expéditeur de paquet S détecte les changements de topologie du réseau. L'expéditeur ne peut alors plus utiliser sa route vers la destination D. Cela peut arriver à cause qu'un nœud mentionné dans la liste de route de la source a quitté la portée de la transmission sans fil. Par la suite, un message d'erreur indiquant le bris de la route est envoyé à tous les nœuds. Lors de la détection d'un problème sur une route en cours d'utilisation, un paquet d'erreur de la route est envoyé en retour au nœud source. Une fois que celui-ci a reçu ce paquet, cette route est effacée du de la mémoire cache des nœuds.

Le protocole DSR n'a pas besoin de messages périodiques de routage, ce qui réduit la charge (*overhead*) de la bande passante du réseau. Cependant, chaque paquet porte une légère surcharge contenant la route de la source du paquet. Cette surcharge augmente quand le paquet doit passer par plus de sauts que prévu pour atteindre la destination. Les paquets envoyés sont donc légèrement plus grands à cause de la surcharge. Le protocole DSR possède également un support permettant des liens unidirectionnels. Cela peut accroître les performances dans les scénarios où nous avons beaucoup de liens unidirectionnels [36].

3.3 Bilan sur les protocoles de routage

L'intérêt pour les réseaux véhiculaires est important, mais les travaux dans ce domaine, et en particulier dans le champ du routage tenant compte de la mobilité dans tous les environnements, restent encore relativement modestes.

La problématique du routage dans les réseaux VANET réside dans la capacité d'utiliser les métriques suivantes dans tous les environnements :

- La découverte de nœuds voisins;
- L'identification de la destination;
- La transmission des données;
- La partition du réseau;
- La prédiction des mouvements.

Chaque catégorie de routage présentée dans ce chapitre utilise ces métriques pour l'acheminement des paquets, lesquelles varient d'un environnement à l'autre, ce qui laisse chaque catégorie incapable d'être performante dans un autre environnement.

Les protocoles de routage basé sur la diffusion ont un algorithme très simple pour la diffusion des paquets, mais ils deviennent inutiles dans un environnement très dense. Ces protocoles sont également moins performants en ce qui concerne la bande passante, puisque les nœuds diffusent les paquets vers toutes les destinations.

Les protocoles de routage basé sur les groupes ont des avantages importants dans la conception de la passerelle pour le routage. Dans chaque groupe, un nœud est élu pour jouer le rôle de la « passerelle » vers d'autres groupes. Cet algorithme divise un réseau en plusieurs groupes, d'où l'utilisation intelligente de la bande passante.

Tel que mentionné précédemment, dans le routage géographique (basé sur la position), la décision de transmission par un nœud est basée essentiellement sur la position des paquets de destination et la position du nœud voisin à un saut.

Les protocoles basés sur la topologie comprennent principalement les protocoles proactifs, au cours desquels les routes sont maintenues et mises à jour qu'elles soient actives ou non. Les protocoles réactifs établissent les routes uniquement sur demande et ne gardent en mémoire que les routes en cours d'utilisation. Quant aux protocoles hydriques, ils utilisent une approche proactive localement et une approche réactive au niveau global. La phase de découverte est alors exécutée selon le mécanisme d'inondation.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques des cinq catégories de protocoles de routage dans les réseaux VANET. La comparaison de ces protocoles est essentielle, d'une part pour concevoir un nouveau protocole basé sur les caractéristiques existantes, et d'autre part pour proposer une solution efficace afin de résoudre certains défis et d'améliorer les performances du réseau.

Ces performances dépendent de plusieurs paramètres, notamment le modèle de mobilité et l'environnement, afin de concevoir un protocole de routage efficace.

Chapitre IV

Réseaux de neurones

4.1 Introduction

Un réseau de neurones (*neural network*) [37] est un réseau artificiel basé sur un modèle simplifié de neurones, ce qui permet d'avoir un modèle avec des fonctions comme celles du cerveau humain, notamment la mémorisation associative, l'apprentissage par l'exemple, le travail en parallèle, etc. Un réseau de neurones [37] est composé dans son architecture par plusieurs unités de calcul basées sur le fonctionnement d'un processus massivement distribué en parallèle. La fonction est ensuite déterminée par la structure du réseau, tandis que l'opération est effectuée par les éléments ou les nœuds. Les réseaux de neurones sont capables de stocker de la connaissance empirique (*experiential knowledge*) [38] et de rendre cette dernière disponible à l'usage [38]. Ces réseaux ressemblent au cerveau humain en ce qui concerne :

1. la connaissance acquise par le réseau à travers le processus d'apprentissage;

2. les connexions entre les neurones, où les poids synaptiques servent à stocker la connaissance.

Dans ces réseaux, chaque élément opère seulement sur l'information locale et de façon asynchrone [33], d'où l'absence d'horloge pour le système.

Pour donner une idée du principe de fonctionnement des réseaux de neurones, nous en présentons une brève description : Chaque couple « entrée/sortie » (*Inputs/Outputs*) est considéré comme une base de connaissance de référence, laquelle sera ensuite entraîné par le réseau afin d'estimer la fonction liant l'entrée à la sortie. Par suite, le réseau va estimer la sortie pour chaque nouvelle entrée en utilisant la fonction trouvée lors de l'apprentissage. Ces réseaux de neurones ont été bien exploités dans le domaine médical pour traiter des bases de données (entrées (*Inputs*) : symptômes, sorties (*Outputs*) : diagnostic). Ce traitement va aider les médecins-chercheurs à formuler un diagnostic plus fiable basé sur les résultats de ce réseau. La figure 4.1 montre la modélisation générale des neurones (de manière logicielle ou matérielle par des automates) :

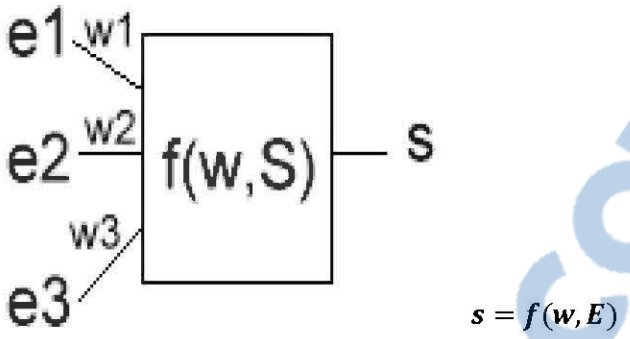

Figure 4. 1 : Modèle simple des réseaux de neurones

La fonction *f* illustrée dans la figure 4.1 est une fonction de transfert qui peut être une sigmoïde comme dans l'exemple ci-dessus (exponentielle ou tangentielle) ou bien une fonction gaussienne (« *Radial Basis* », RBF), etc.

Les réseaux de neurones sont construits selon un paradigme biologique (tel qu'illustrée à la figure 4.2). Ces types de métaphores biologiques sont devenues courantes avec les idées de la cybernétique : la partie centrale contient un noyau, des dendrites, un axone, des synapses.

Les synapses servent à l'interconnexion entre les différents neurones. Les dendrites reçoivent les informations d'autres neurones, tandis que l'axone envoie l'information après le traitement effectué par la cellule nerveuse pour d'autres neurones. Le traitement d'une information est garanti par l'interaction entre toutes les cellules et par la façon par laquelle elles sont interconnectées.

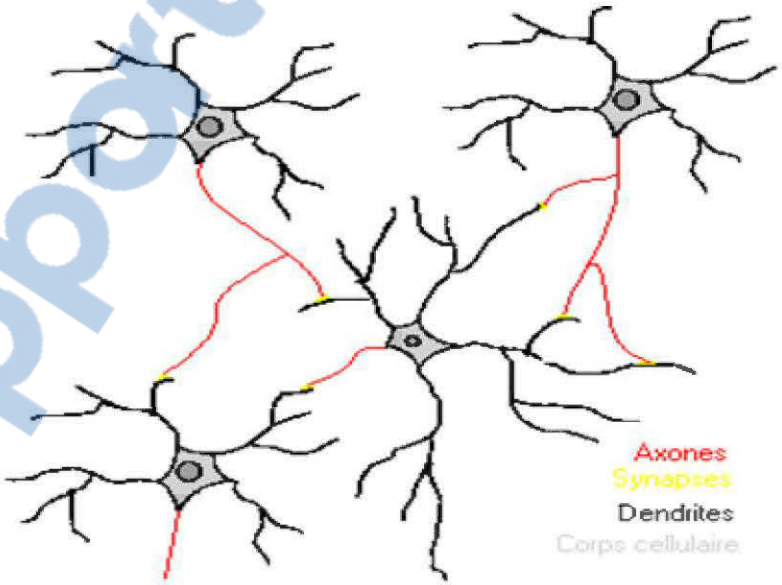

Figure 4. 2 : Neurones biologiques

Rapport-Gratuit.com

La grande utilité des réseaux de neurones réside dans la résolution de plusieurs problèmes, tels que la classification pour la reconnaissance de caractères ou d'images, grâce à leurs capacités de généralisation.

Dans notre cas d'études, nous nous servons de la capacité de classification des réseaux de neurones pour déterminer les paramètres optimaux de configuration d'un protocole de routage.

Les réseaux de neurones ressemblent à une boîte noire, fournissant une réponse quand on lui injecte une donnée. Les réseaux de neurones sont très utilisés actuellement, à titre d'exemple, nous citons :

- La classification. La classification d'espèces animales par espèce;
- La reconnaissance de motif. La reconnaissance optique de caractères (OCR), la poste pour trier les courriers en fonction du code postal, etc.;
- L'approximation d'une fonction inconnue;
- La modélisation accélérée d'une fonction connue mais très complexe à calculer avec exactitude, telle que le décryptage des signaux de télédétection émis par les satellites;
- Les estimations de la fonction de fluctuation des actions boursières.

La puissance des réseaux de neurones ne peut être efficace que si nous leur donnons des exemples pour leur apprentissage. Plus la complexité d'un problème est importante et sa topologie peu structurée, plus le nombre d'exemples pour l'apprentissage est nombreux. Par exemple, la lecture de caractères en utilisant le découpage manuel d'un grand nombre de mots écrits à la main n'est pas facile sur le plan pratique.

4.2 Couches, connexions et fonctions d'activation

Les réseaux de neurones ont été conçus en se basant sur des cellules (ou des neurones). Les cellules dont se compose le réseau sont reliées entre elles par des connexions, ce qui leur permet de disposer d'un canal pour envoyer et recevoir des signaux en provenance d'autres cellules du réseau. Chacune de ces connexions reçoit une valeur, un poids (une pondération en quelque sorte).

Les cellules disposent d'une entrée qui permet de recevoir de l'information provenant de d'autres cellules. Elles disposent également d'une « fonction d'activation », qui est, dans les cas les plus simples, une simple identité du résultat obtenu par l'entrée (*Input*).

Un neurone est essentiellement constitué d'un intégrateur qui effectue la somme pondérée de ses entrées. Le résultat n de cette somme est ensuite transformé par une fonction de transfert f qui produit la sortie a du neurone. Le biais b du neurone est également appelé le seuil d'activation du neurone. Comme le montre la figure 4.3, il existe deux types de neurone : le modèle simple sans biais et le modèle avec biais.

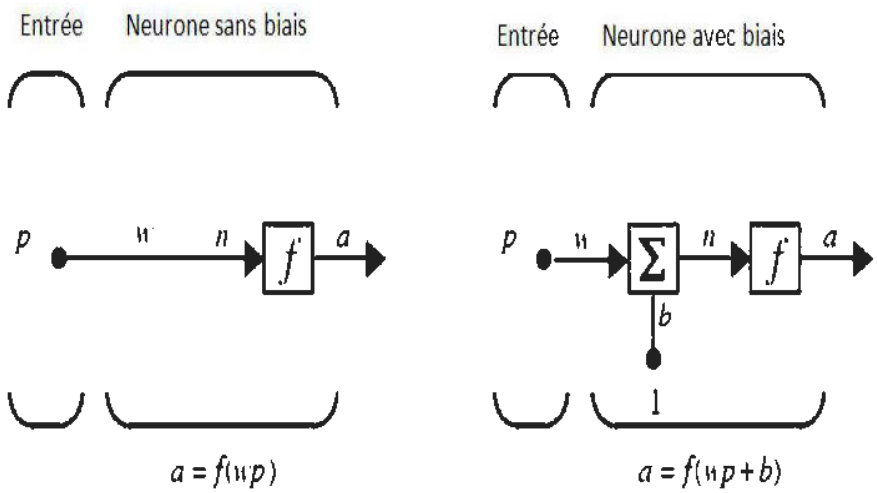

Figure 4. 3 : Les deux modèles de neurone sans et avec biais.

Dans la plupart des cas de réseaux de neurones, les neurones ont des entrées sous forme d'un vecteur comme le montre la figure 4.4 :

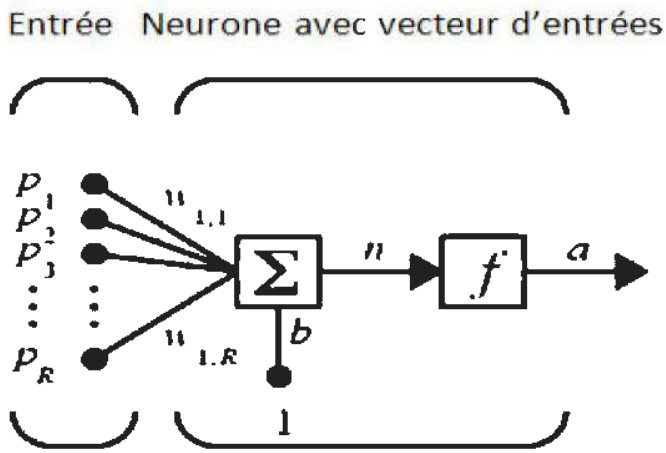

Figure 4. 4 : Modèle de neurone avec vecteur d'entrées.

Dans ce cas la sortie n de l'intégrateur est définie par l'équation suivante :

$$n = \sum_{j=1}^{R} w_{1,j}p_j = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \cdots + w_{1,R}p_R + b \qquad (3.1)$$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

La sortie de neurone est :

$$\mathbf{a = f(n)} \tag{3.2}$$

Mais le choix d'une fonction d'activation se révèle être un élément constitutif important des réseaux de neurones. Ainsi, l'identité n'est pas toujours suffisante et des fonctions non linéaires et plus évoluées seront souvent nécessaires. La figure 4.5 présente quelques fonctions couramment utilisées comme fonctions d'activation :

Nom de la fonction	Relation d'entrée/sortie	Icône
seuil	$a = 0 \quad \text{si } n < 0$ $a = 1 \quad \text{si } n \geq 0$	
seuil symétrique	$a = -1 \quad \text{si } n < 0$ $a = 1 \quad \text{si } n \geq 0$	
linéaire	$a = n$	
linéaire saturée	$a = 0 \quad \text{si } n < 0$ $a = n \quad \text{si } 0 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad \text{si } n > 1$	
linéaire saturée symétrique	$a = -1 \quad \text{si } n < -1$ $a = n \quad \text{si } -1 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad \text{si } n > 1$	
linéaire positive	$a = 0 \quad \text{si } n < 0$ $a = n \quad \text{si } n \geq 0$	
sigmoïde	$a = \frac{1}{1+\exp^{-n}}$	
tangente hyperbolique	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	
compétitive	$a = 1 \quad \text{si } n \text{ maximum}$ $a = 0 \quad \text{autrement}$	C

Figure 4. 5 : Fonctions de transfert a=f(n)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Nous citons, à titre d'exemple, le modèle de réseau de neurones donné par le perceptron multicouches, chaque couche contenant une ou plusieurs cellules. La figure 4.6 illustre ces couches.

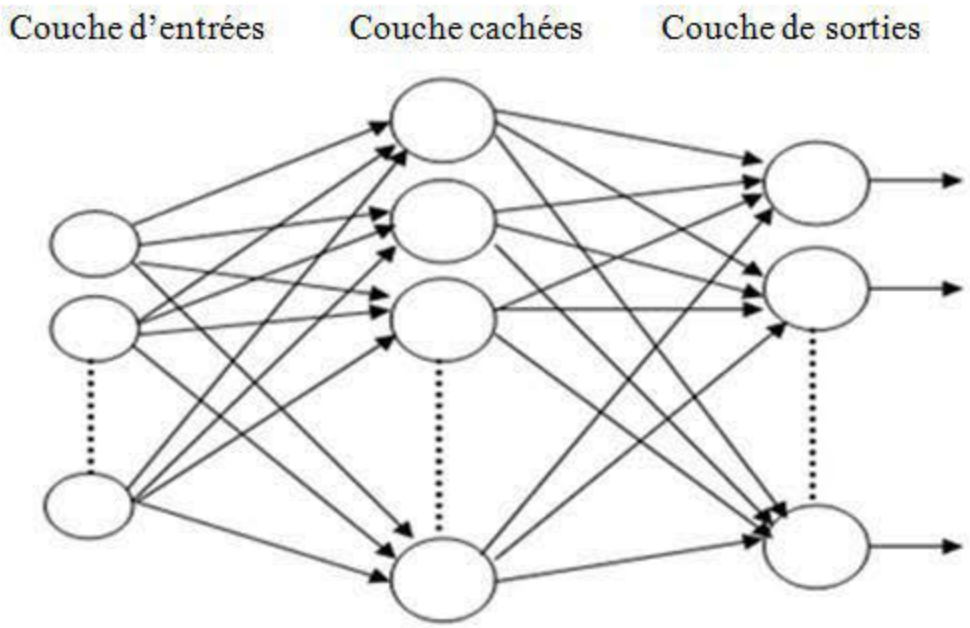

Figure 4. 6 : Architecture simple d'un réseau de neurones.

Voici le rôle de chacune des couches dans un perceptron à trois couches :

- Les nœuds d'entrée

  Cette première couche est appelée « couche d'entrées », puisque celle-ci reçoit les données source que nous voulons utiliser pour l'analyse. Dans le cas de l'aide au diagnostic médical, cette couche recevra les symptômes. Sa taille est donc directement déterminée par le nombre de variables d'entrées.

- Les nœuds cachés

  La seconde couche est appelée « couche cachée », c'est-à-dire qu'elle n'a qu'une utilité intrinsèque pour le réseau de neurones et qu'elle n'a pas de contact direct avec l'extérieur. Les fonctions d'activations sont en général non linéaires sur cette couche, mais il n'y a pas de règle à respecter. Le choix de sa taille n'est pas implicite et la taille des couches d'entrée et de sortie doit être ajustée adéquatement afin d'obtenir de bons résultats.

- Les nœuds de sortie

  La troisième couche est appelée « couche de sorties ». Elle donne le résultat obtenu après la compilation par le réseau des données entrées dans la première couche. Dans le cas de l'aide au diagnostic médical, cette couche donne donc le diagnostic. Sa taille est directement déterminée par le nombre de variables que nous voulons en sortie.

4.3 Apprentissage

Les réseaux de neurones ont une grande capacité d'apprentissage (par exemple reconnaître une lettre, un son...), mais cette connaissance n'est pas acquise dès le départ. La plupart des réseaux de neurones apprennent par l'exemple. Ils ont donc une capacité à classer, à généraliser et à mémoriser.

Les réseaux de neurones se divisent en deux principales classes : les réseaux à « apprentissage supervisé » (*supervised learning*) et les réseaux à « apprentissage non supervisé » (*unsupervised learning*). Pour les réseaux à apprentissage supervisé (Perceptron, Adaline, etc.), nous présentons au réseau des entrées, mais également en même temps les sorties que l'on désirerait pour cette entrée. Par exemple, nous lui présentons en entrée une lettre « a » manuscrite et en sortie un code correspondant à la lettre « a ». Pour les réseaux à apprentissage non supervisé (Hopfield, Kohonen, etc.), nous présentons une entrée au réseau et nous le laissons évoluer librement jusqu'à ce qu'il se stabilise. Des réseaux à apprentissage par renforcement (*reinforcement learning*), c'est-à-dire semi-supervisés, existent également. Ceux-ci ne tiennent compte que d'une évaluation partielle ou qualitative des sorties.

4.4 Calcul des poids synaptiques

La rétropropagation (*backpropagation*) est un algorithme de calcul des poids pour un réseau à apprentissage supervisé qui consistent à minimiser l'erreur quadratique de sortie (somme des carrés de l'erreur de chaque composante entre la sortie réelle et la sortie désirée).

D'autres méthodes de modification des poids sont plus « locales », c'est-à-dire que chaque neurone modifie ses poids en fonction de l'activation ou non des neurones proches. C'est le cas des réseaux suivants la règle de Hebb (*Hebbian rule*) ou les réseaux de Kohonen.

4.5 Modèle de réseaux de neurones existants

Un réseau est caractérisé par plusieurs paramètres. La figure 4.7 montre une classification des types de réseaux de neurones se basant sur le type d'apprentissage.

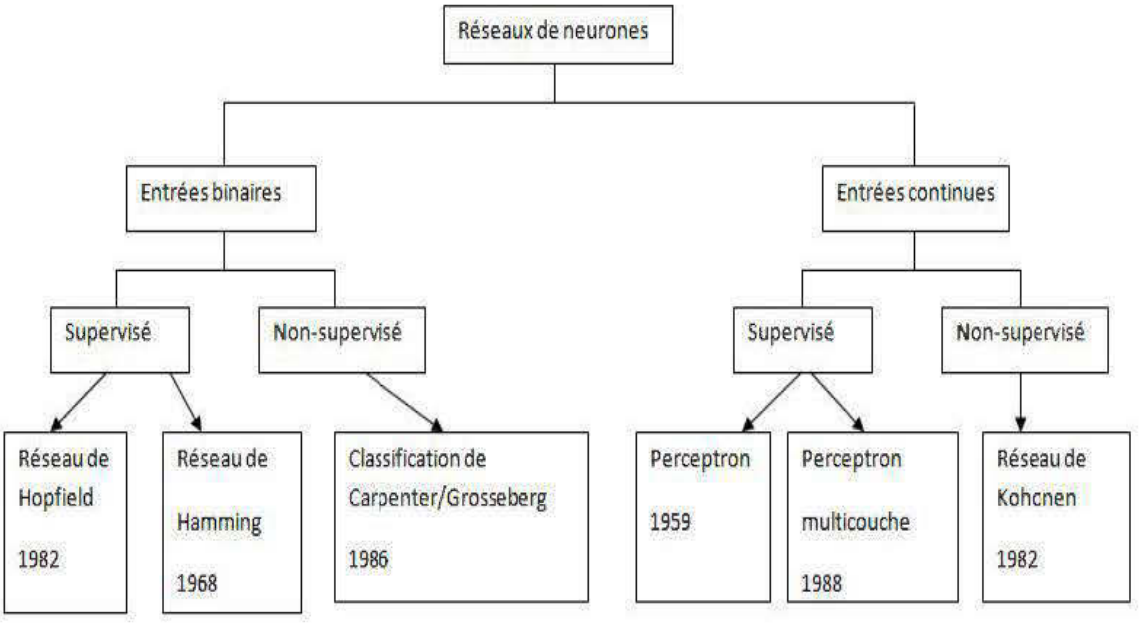

Figure 4. 7 : Classification des modèles de réseaux de neurones par type d'apprentissage. [39]

4.5.1 Le Perceptron

Ce modèle du réseau est inspiré du système visuel, il est donc linéaire et monocouche. La première couche (d'entrée) représente la rétine. Les neurones de la couche suivante sont les cellules d'association et ceux de la couche finale, les cellules de décision. Les sorties des neurones ne peuvent prendre que deux états (-1 et 1 ou 0 et 1). Seuls les poids des liaisons entre la couche d'association et la couche finale peuvent être modifiés.

La règle de Widrow-Hoff est utilisée pour modifier les poids du réseau de façon proportionnelle à l'erreur. Si la sortie (donc celle d'une cellule de décision) est égale à la sortie désirée, le poids de la connexion entre ce neurone et le neurone d'association qui lui est connecté n'est pas modifié. Dans le cas contraire, le poids est modifié en fonction de l'entrée :

$w_i \Leftarrow w_i + k\,(d - s)$ avec k : constante positive et i : indice du poids

s : sortie et d : sortie désirée

Ce modèle est incapable de simuler la fonction « ou exclusif » (*xor*).

4.5.2 Les Perceptrons multicouches (PMC)

Ce modèle est considéré comme une amélioration du perceptron comprenant une ou plusieurs couches intermédiaires dites « couches cachées ». L'algorithme de rétropropagation du gradient (amélioration de la règle de Widrow-Hoff) est utilisé pour modifier leurs poids. Ce modèle cherche lui aussi à minimiser l'erreur quadratique, ce qui est assez simple lorsque nous utilisons une fonction f dérivable (la sigmoïde par exemple). La modification des poids se propage de la couche de sortie jusqu'à la couche d'entrée.

Les PMC agissent comme un séparateur non linéaire et peuvent être utilisés pour la classification, le traitement de l'image ou l'aide à la décision.

4.5.3 Les réseaux de Hopfield

Un réseau de Hopfield réalise une mémoire adressable par son contenu. Ce réseau est constitué de neurones pleinement connectés entre eux, dont la loi d'apprentissage est la règle de Hebb. L'activité d'une synapse peut être améliorée si, et seulement si. l'activité de ses deux neurones est corrélée (c'est-à-dire que le poids w_{ij} d'une connexion entre un neurone i et un neurone j augmente quand les deux neurones sont activés en même temps).

4.5.4 Les réseaux de Kohonen

Ces réseaux sont inspirés des observations biologiques du fonctionnement des systèmes nerveux de perception des mammifères. La loi de Hebb modifiée (tenant compte de l'oubli) est utilisée comme loi d'apprentissage.

La connexion est renforcée dans le cas où les neurones reliés ont une activité simultanée et elle est diminuée dans le cas contraire.

d w i / dt = k S e i - B(S) w i avec B(S) la fonction d'oubli et i : indice du poids

S : sortie (toujours positive)

Les neurones très proches physiquement interagissent positivement, les neurones un peu plus loin interagissent négativement et les neurones éloignés n'interagissent pas du tout. Les réseaux de Kohonen possèdent des applications pour la classification, pour le traitement de l'image, pour l'aide à la décision et pour l'optimisation.

4.6 Conclusion

Nous avons exposé les éléments essentiels d'un réseau de neurones qui permettent de comprendre ces réseaux artificiels. En présentant quelques réseaux typiques, nous avons tenté de montrer, de manière concrète, ce que ces puissances peuvent donner dans notre approche proposée.

Les réseaux de neurones peuvent rendre des services considérables dans des domaines très variés. Résumons donc les points fondamentaux que nous devons toujours garder à l'esprit lorsque nous cherchons à mettre en œuvre des réseaux de neurones :

- Les réseaux de neurones sont des outils statistiques qui permettent d'ajuster des fonctions non linéaires très générales à des ensembles de points. Comme toute méthode statistique, l'utilisation de réseaux de neurones nécessite que nous disposions de données suffisamment nombreuses et représentatives;

- Les réseaux de neurones permettent de modéliser des phénomènes statiques (réseaux non bouclés) et dynamiques (réseaux bouclés) ;

- Il est toujours souhaitable, et souvent possible, d'utiliser pour la conception du réseau les connaissances mathématiques dont nous disposons sur le phénomène à modéliser. Les réseaux de neurones ne sont pas nécessairement des « boîtes noires ».

Chapitre V

Approche proposée

5.1 Principe

Le routage est l'un des axes de recherche les plus importants dans les réseaux ad hoc pour les véhicules VANET. Plusieurs approches existent pour répondre aux exigences de l'environnement : les types d'applications, le médium du canal de transmission et bien d'autres critères. Chaque critère constitue un axe de recherche en lui-même, d'où la diversité des approches proposées dans les publications récentes.

L'idée est de concevoir un protocole de routage qui prend en considération les meilleures performances pour chaque critère des VANET. Cependant, il n'est pas évident de les rassembler par les méthodes traditionnelles, puisque cette conception nécessite un grand traitement des informations. Par conséquent, ce traitement a besoin d'un long délai pour effectuer une décision simple dans un réseau très dense par exemple.

Nous avons présenté dans le chapitre II les différentes solutions existantes, et nous avons tiré comme conclusion que chaque solution était valide dans un seul environnement, mais était toutefois inefficace dans d'autres. La classification de ces protocoles de routage s'effectue selon plusieurs critères représentatifs du réseau VANET. Cette classification est l'attribution d'une classe spécifique (dans notre cas un algorithme de routage) à un objet donné (environnement approprié). Cette attribution a besoin d'un certain degré d'abstraction pour pouvoir extraire des généralités à partir des exemples dont nous disposons.

En effet, les réseaux de neurones ont été appliqués avec succès l'apprentissage dans les tâches de classification et d'approximation de fonctions. À titre d'exemple, pour un engin mécanique, la classification des visages, des données médicales et des formes sont toutes des tâches assez difficiles. Ainsi, le critère pour décider si une image correspond ou non à une lettre « A » consiste à comparer si cette image est suffisamment similaire à des « A » vus auparavant. De ce point de vue, nous ne calculons pas la classification de caractères, cette classification doit être apprise à partir d'exemples.

Cet apprentissage avec des réseaux de neurones se fait actuellement en suivant deux approches. Certains algorithmes comme la rétropropagation du gradient ont besoin d'introduire a priori le nombre et la connectivité des unités cachées et de déterminer les poids des connexions par minimisation d'un coût. Le réseau ainsi obtenu est éventuellement élagué. Avec une approche

constructive, nous apprenons en même temps le nombre d'unités et les poids. Dans le cadre d'une architecture fixée, commençant généralement avec une seule unité, nous avons utilisé la première approche de la classification pour le routage. Le chapitre suivant donnera plus de détails sur les résultats obtenus.

L'approche proposée pour le routage dans les réseaux VANET est conçue d'une manière à ce qu'un algorithme de routage soit bien configuré pour chaque environnement, celui-ci étant déterminé par divers critères, soit la densité, la vitesse et le type du milieu (urbain, autoroute…). Ensuite, par l'utilisation de la puissance des réseaux de neurones dans la classification, nous pouvons avoir un compromis pour un protocole de routage qui est piloté pour chaque scénario.

Habituellement, on prétraite les exemples en entrée du système d'apprentissage afin de faciliter l'apprentissage. Un prétraitement consiste à extraire les propriétés représentatives des exemples ou à ne sélectionner qu'un sous-ensemble des propriétés quand celles-ci sont trop nombreuses pour le système d'apprentissage. La base d'apprentissage a été constituée à partir de résultats simulés des entrées en utilisant deux simulateurs de réseaux informatiques : VanetMobiSim et OPNET (voir chapitre VI).

5.2 Choix des entrées d'un réseau de neurones

La première étape consiste à bien choisir ses échantillons de données d'apprentissage, de tests et de validation. Ce n'est qu'ensuite que le choix du type de réseau interviendra.

Nous citons ci-dessous les quatre étapes nécessaires pour créer un réseau de neurones :

- le choix des échantillons. Le choix des échantillons est un processus primordial pour concevoir un réseau de neurones. Cette étape aide à la détermination du type de réseau le plus approprié pour effectuer la classification. La façon dont se présente l'échantillon influence ensuite le choix du type de réseau, le nombre de cellules d'entrée, le nombre de cellules de sortie et la façon dont il faut mener l'apprentissage, les tests et la validation.

- l'élaboration de la structure du réseau. Le type d'échantillons influence la structure du réseau, il est donc important de bien choisir le type de réseau : un perceptron standard, un réseau de Hopfield, un réseau à décalage temporel (TDNN), un réseau de Kohonen, un ARTMAP, etc. Dans le cas du perceptron par exemple, il faut également bien choisir le nombre de neurones dans la couche cachée. Plusieurs méthodes existent pour ce faire, par exempl, prendre une moyenne du nombre de neurones d'entrée et de sortie et choisir celui qui offre les meilleurs résultats.

Rapport-Gratuit.com

- L'apprentissage. La phase d'apprentissage d'un réseau de neurones consiste tout d'abord à calculer les pondérations optimales des différentes liaisons en se basant sur quelques échantillons. La méthode la plus utilisée est la rétropropagation : nous faisons entrer des valeurs dans les cellules d'entrée et, en fonction de l'erreur obtenue en sortie (le delta), nous corrigeons les poids accordés aux pondérations. Ce cycle est répété jusqu'à ce que la courbe d'erreurs du réseau ne soit croissante. D'autres méthodes d'apprentissage existent, le *quickprop* par exemple, mais la méthode la plus utilisée demeure la rétropropagation.

- La validation. Cette étape consiste à procéder à des tests afin de vérifier que le réseau réagit bien de la façon dont nous souhaitons. Plusieurs méthodes de validation existent, notamment la validation croisée et l'amorçage (*bootstrapping*). La méthode la plus simple demeure toutefois la validation hors-échantillon, qui consiste à garder une partie de l'échantillon réservé à l'apprentissage pour la validation.

5.3 Mécanisme d'adaptation de DSR

Le routage est l'un des axes de recherche les plus importants dans les réseaux ad hoc des véhicules. Plusieurs applications se basent sur les communications multi-sauts entre les véhicules. Dans les protocoles de routage VANET, les véhicules sont considérés comme des relais qui acheminent les paquets dans les communications multi-sauts. Ces réseaux VANET possèdent des propriétés bien spécifiques, dont une densité variable selon les lieux, une topologie dynamique, une haute fréquence de déconnection lors du changement d'une topologie, etc. Tous ces facteurs représentent un grand défi pour les protocoles de routage.

La découverte des voisins représente une étape fondamentale dans un protocole de routage. Cependant, elle peut être améliorée comme une partie de l'établissement de la trajectoire d'une route. La plupart des protocoles de routage supposent dans leurs algorithmes que les nœuds envoient périodiquement des balises informant les nœuds voisins sur leur identifiant, sa position et toute autre information pertinente.

Pour cela, une meilleure conception d'un protocole de routage réside dans le choix adéquat de l'intervalle entre les balises. Ce choix est le compromis entre le contrôle du temps système (*overhead*) et la mise à jour des informations sur les nœuds voisins.

Pour la plupart des protocoles de routage MANET, le routage est basé sur l'identifiant des nœuds. Cependant, la majorité des protocoles de routage VANET font généralement le routage des messages vers une zone ou une position particulière. Pour certains de ces protocoles de routage, le nœud source requiert la connaissance de la position de destination. Le protocole géographique fait partie de ces protocoles. Afin d'obtenir cette information, ce protocole diffuse des messages contenant l'identifiant de la destination. Une fois qu'elle reçoit un tel message, la destination envoie avec une réponse contenant sa position actuelle.

Une autre solution consiste à utiliser un emplacement distribué pour lequel les destinations mettent régulièrement à jour leurs positions.

Plusieurs protocoles de routage ad hoc créent des tables de routage contenant le prochain saut pour atteindre la destination basée sur une métrique donnée. Dans ce cas, la sélection du prochain saut est très simple. Cette approche peut cependant être inefficace dans les scénarios très dynamiques pour plusieurs raisons. À titre d'exemple, en cas de rupture des liens, la nécessité de réparer ceux-ci rend l'approche inutile.

Beaucoup de choix sont mis à la disposition d'un nœud lorsque celui-ci veut sélectionner son prochain saut (prochain véhicule) dans la trajectoire prédéterminée. Les protocoles de routage géographiques proposent le voisin qui fournit le plus d'avantages, alors que d'autres protocoles prennent en compte des paramètres différents, tels que les propriétés des liaisons sans fil et les probabilités de réception correcte.

Les réseaux VANET se caractérisent par une densité de véhicules variable. Même dans le cas de la présence d'un trafic dense et de feux de circulation, la partition du réseau est fréquente. Cela signifie que certains paquets de données peuvent finalement atteindre un nœud qui n'est pas en mesure de poursuivre l'acheminement du message comme prévu. Certains protocoles négligent simplement cette question en supposant qu'il y ait toujours suffisamment de densité de nœuds.

Plusieurs solutions ont été proposées pour traiter ces situations. Par exemple, le nœud qui détecte cette situation peut essayer de trouver un chemin différent. Certains protocoles utilisent le routage géographique basé sur la carte de rue, tandis que d'autres algorithmes proposent de stocker le message jusqu'à l'apparition d'un nouveau nœud voisin qui peut l'acheminer à destination. La meilleure approche serait une solution adaptative qui, d'une part, varie selon les conditions du réseau et qui, d'autre part, adapte la solution en tenant compte de la tolérance des informations au délai.

Plusieurs critères importants des VANET (la contrainte de mobilité, la connaissance des informations de la position, la vitesse des nœuds et la densité des nœuds) permettent de prédire les positions futures. L'échange de ces informations entre un nœud et ses voisins donne la possibilité de prendre la meilleure décision en ce qui concerne certaines métriques des protocoles de routage. Ce choix est basé sur la prédiction, et doit donc être examiné attentivement. Des informations incorrectes peuvent influencer la prédiction et entraîner par la suite de fausses décisions pour les protocoles de routage.

Le protocole de routage DSR possède plusieurs des critères importants (voir au chapitre III). L'approche proposée consiste donc à modifier le protocole de routage DSR selon les conditions propres à chaque environnement (autoroute, centre-ville, mines, etc.).

En reprenant les caractéristiques du protocole DSR discutées au chapitre III avec celles de chaque environnement, nous obtenons plusieurs profils du protocole de routage DSR. Ces profils se basent sur le même principe de fonctionnement que le protocole DSR, mais ils s'en distinguent par quelques paramètres qui sont reliés aux exigences de chaque environnement. À titre d'exemple, le traitement de l'information d'une densité de nœuds dans un milieu résidentiel

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

caractérisé par une haute fréquence d'arrêt ne peut pas être le même s'il s'agit d'un milieu d'autoroute, où il y a présence de multivoies et une faible fréquence d'arrêt.

Pour ces raisons, l'idée de concevoir plusieurs profils adéquats était si importante que le chapitre suivant explique en détails les caractéristiques de chaque profil, alors que le paragraphe suivant donne une idée de la façon dont ces profils pourraient être utilisés par les réseaux de neurones.

5.4 Couplage entre DSR et NN

La plupart des algorithmes proposés pour résoudre les problèmes des réseaux ad hoc de véhicules traitent ceux-ci dans un environnement bien spécifique. Ces solutions restent alors invalides dans d'autres environnements. De plus, le grand problème de la mobilité et ses contraintes ne laissent pas de liberté pour adapter les solutions. Notre contribution consiste à utiliser plusieurs profils du protocole de routage DSR, et par la suite chaque profil va correspondre à un environnement donné.

Lorsqu'un véhicule se déplace d'un point à un autre, il construit une trajectoire qui a connu plusieurs changements au niveau de la densité, du nombre d'arrêts, de la vitesse et de bien d'autres facteurs. Notons que, pendant le parcours de la trajectoire, le nœud a échangé des messages de la découverte du réseau, et possède donc une liste d'informations différentes. L'approche proposée exploite ces informations pour sélectionner le profil de routage adéquat, d'où la conception d'une technique capable de résoudre le problème de la mobilité avec une intelligence et en même temps d'augmenter les performances du réseau (voir au chapitre suivant).

La figure 5.1 présente l'approche proposée. La première phase consistait à collecter les informations (vitesse, densité, type de l'environnement…) afin de les traiter avec les protocoles de routage les mieux performants pour chaque environnement. Ce traitement des données va se concentrer sur l'apprentissage du réseau de neurones afin de les utiliser dans la phase suivante. La deuxième phase consistait à faire la classification pour sélectionner le protocole de routage le plus approprié à l'environnement en termes de performances du réseau.

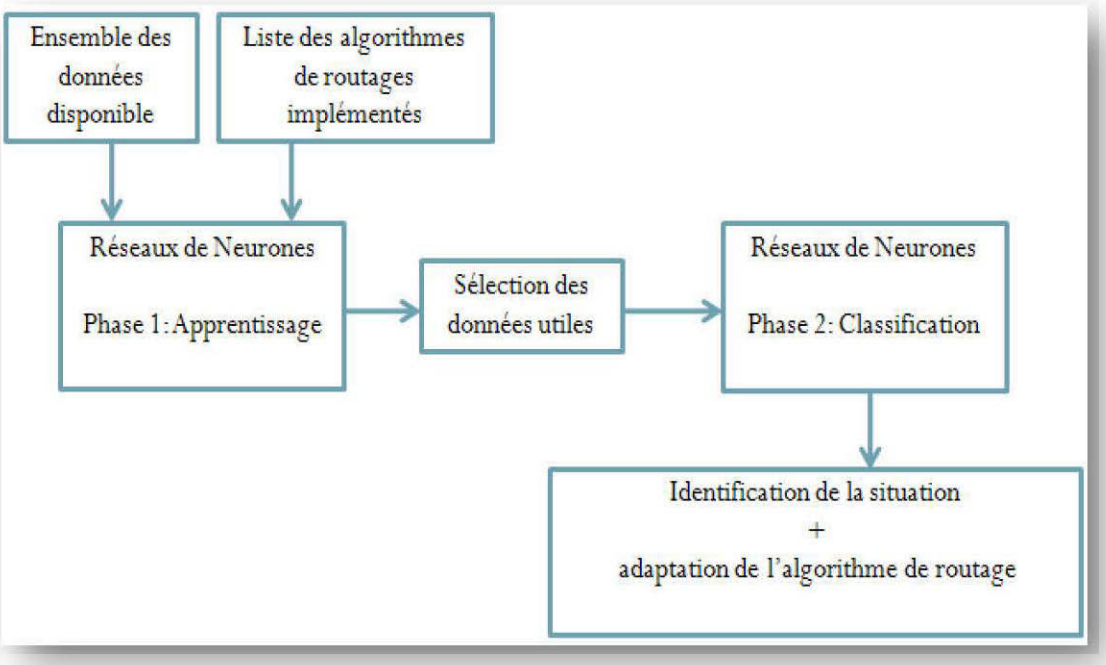

Figure 5. 1 : Schéma de l'approche proposée

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré les avantages de la conception (choix des données représentatives pour chaque environnement, utilisation de plusieurs profils pour gérer la mobilité…) d'un protocole adaptatif basé sur un protocole de routage réactif DSR. L'utilisation de l'intelligence des réseaux de neurones va grandement améliorer les performances de l'approche proposée.

Le chapitre suivant montre en quoi cette utilisation des réseaux de neurones est efficace. En effet, le fait d'avoir plusieurs profils de protocole DSR répondant à chacune des exigences de l'environnement et de la vitesse rend donc l'approche adaptative à chaque environnement.

Chapitre VI

Analyse de performance

6.1 Introduction

L'approche proposée consiste à utiliser l'intelligence des réseaux de neurones et un ensemble des données (comme échantillon pour chaque environnement) pour l'apprentissage. Pour cela, on a injecté dans un réseau de neurones une liste de protocoles de routage ad hoc de véhicules adaptés pour chaque environnement.

Dans la phase d'apprentissage, nous avons alimenté le réseau de neurones par les trois paramètres suivants, lesquels peuvent caractériser tous scénarios possibles comme le montre la figure 6.1, soit « la vitesse », « l'environnement » et « la densité ».

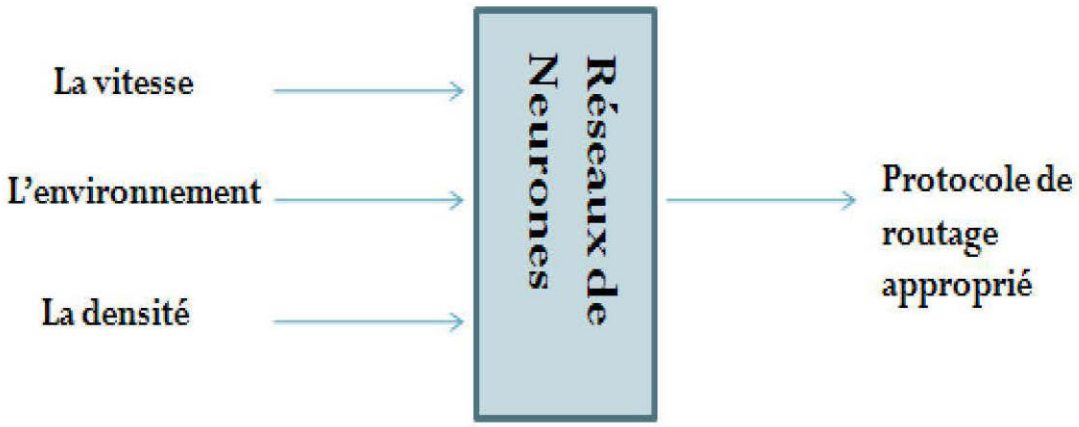

Figure 6. 1 : Modèle proposé d'un réseau de neurones

Après l'étape de l'apprentissage, le réseau est capable de sélectionner le protocole de routage approprié. Cette phase est appelée la classification. Cette opération est répétée à chaque changement d'environnement par le nœud. Lors de nos simulations, les résultats étaient très intéressants en ce qui concerne les performances, mais surtout relativement à la gestion de la mobilité.

Le choix des environnements pour nos simulations se limite aux choix suivants : « centre-ville », « urbain », « résidentiel » et « autoroute » (ci-figure 6.2), puisque le logiciel de simulation « VanetMobiSim » ne permet que ces possibilités. Malgré cela, notre recherche contient presque tous les scénarios possibles.

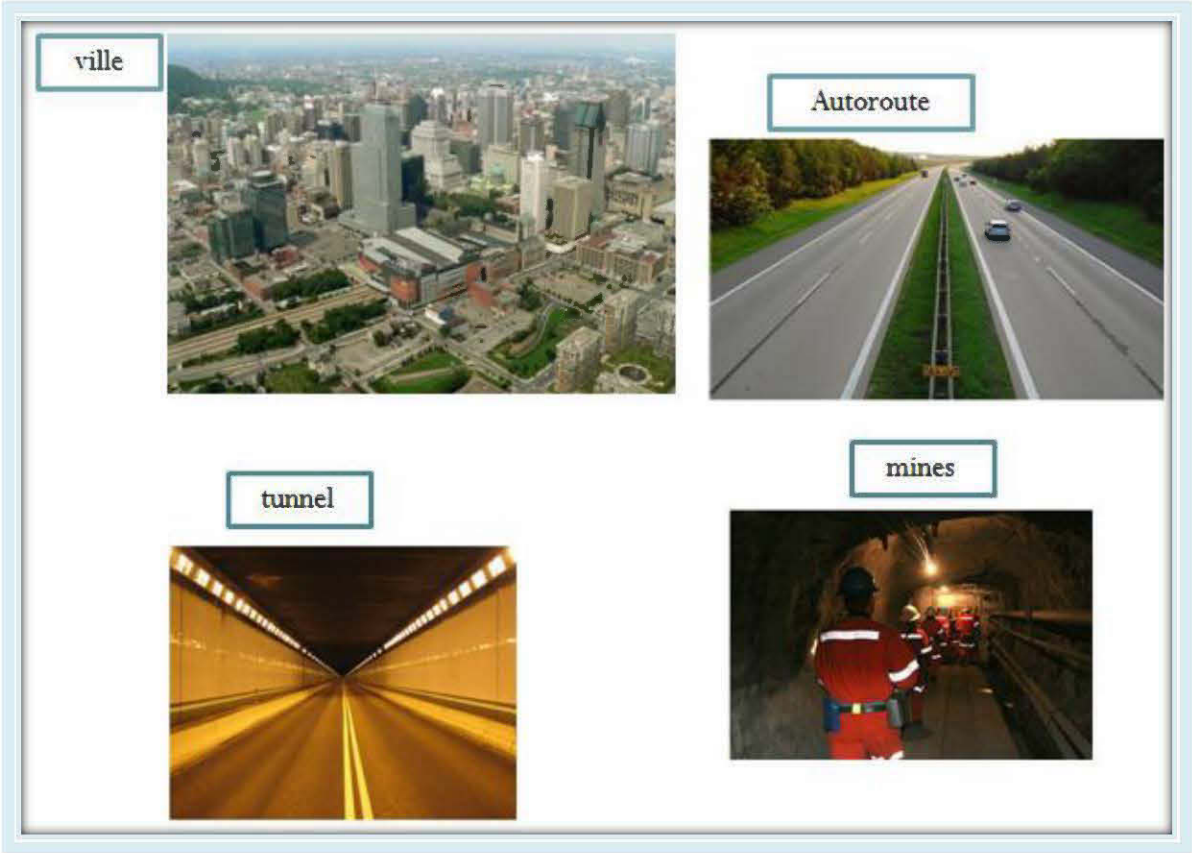

Figure 6. 2 : Environnements des VANET.

6.2 Environnement de simulation

6.2.1 Modélisation de la mobilité des véhicules

Les résultats obtenus avec le logiciel « VanetMobiSim » donnent un modèle de mobilité réaliste qui supporter à la fois les caractéristiques de micro-mobilité et celles de macro-mobilité. Ce simulateur permet donc de changer les caractéristiques de la macro-mobilité (le nombre de voies, le sens de mouvement unique ou double, etc.), ainsi que les caractéristiques de la micro-mobilité (les lumières sur les routes, les limites de la vitesse). Voici les environnements simulés dans cette approche proposée.

L'environnement « résidentiel »

Dans cet environnement (graphe (a) de la figure 6.3), nous avons combiné les deux paramètres suivants :

- La densité : de 25 nœuds à 40 nœuds.
- La vitesse : de 30 km/h à 60 km/h.

L'environnement « centre-ville »

Dans cet environnement (graphe (b) de la figure 6.3), nous avons combiné les deux paramètres suivants :

- La densité : de 30 nœuds à 60 nœuds.
- La vitesse : de 0 km/h à 50 km/h.

L'environnement « urbain »

Dans cet environnement (graphe (c) de la figure 6.3) nous avons combiné les deux paramètres suivants :

- La densité : de 15 nœuds à 30 nœuds.
- La vitesse : de 50 km/h à 90 km/h.

L'environnement « autoroute »

Dans cet environnement (graphe (d) de la figure 6.3), nous avons combiné les deux paramètres suivants :

- La densité : de 1 nœud à 14 nœuds.
- La vitesse : de 60 km/h à 120 km/h.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

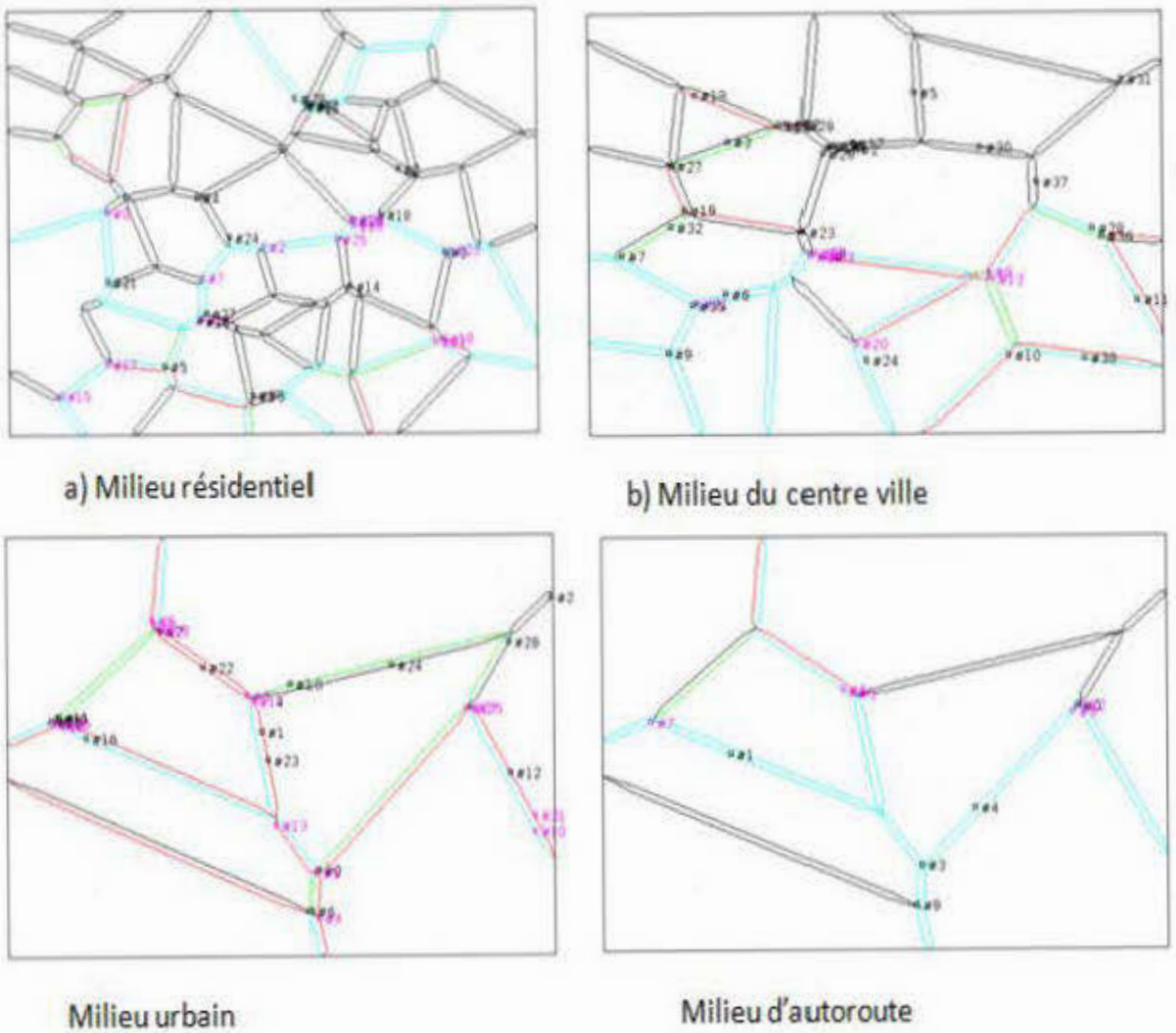

Figure 6. 3 : Modèles de la mobilité des VANET

6.2.2 Modélisation des réseaux VANET

L'approche proposée repose sur le protocole de routage DSR. Toutefois, étant donné que les environnements diffèrent sur plusieurs critères (la densité, la vitesse, les obstacles), le protocole de routage DSR a été configuré différemment pour chaque environnement et pour chaque critère afin d'être valide pour toute situation.

La figure 6.4 montre l'utilisation des deux simulateurs VanetMobiSim et OPNET. En effet, après la définition des environnements, tel que mentionné au paragraphe précédent, nous prenons le fichier de trace de mobilité généré pendant la simulation d'un environnement et nous l'insérons dans le simulateur du réseau OPNET pour évaluer les performances des profils du protocole de routage DSR.

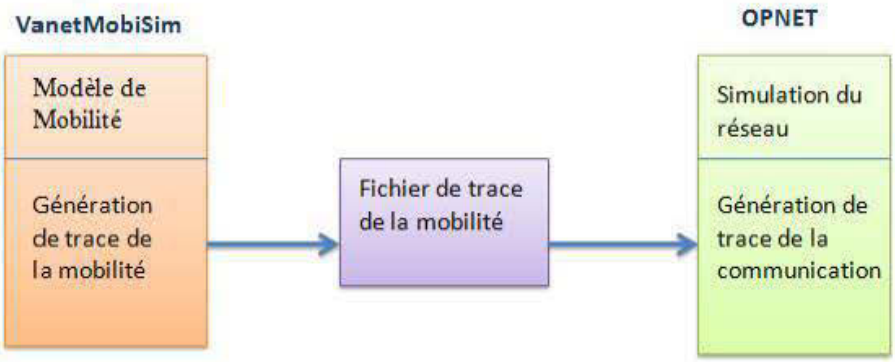

Figure 6. 4 : Architecture de la simulation

Après avoir analysé le protocole de routage DSR au chapitre III, nous avons pu déterminer certains critères au niveau de la configuration des paramètres qui peuvent augmenter les performances du routage. La figure 6.5 résume les paramètres modifiés pour chaque profil du DSR qui sera utilisé lors de la simulation des divers scénarios.

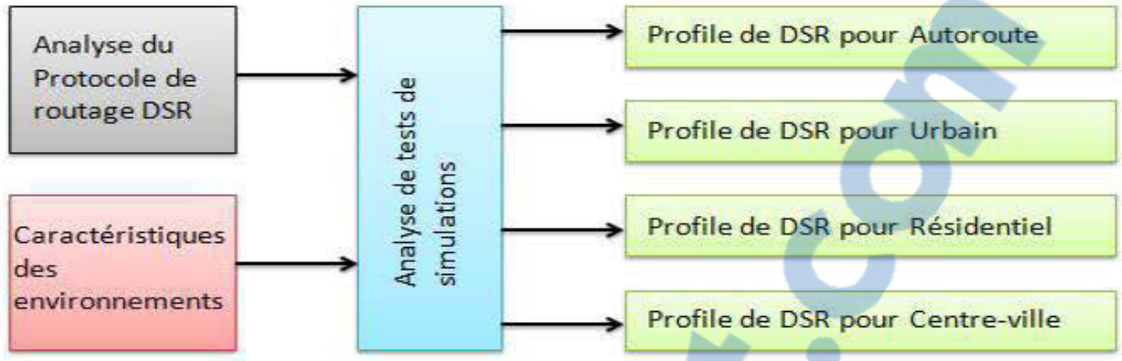

Figure 6. 5 : Conception des profils

Paramètres	Autoroute Spécifications	Urbain Spécifications	Résidentiel Spécifications	Centre-ville Spécifications
Type du trafic	128 octets/s (CBR : Constant Bit Rate)	128 octets/s (CBR : Constant Bit Rate)	128 octets/s (CBR : Constant Bit Rate)	128 octets/s (CBR : Constant Bit Rate)
Source /Destination	Aléatoire	Aléatoire	Aléatoire	Aléatoire
Vitesse max	35 m/s	25 m/s	17 m/s	14 m/s
Temps de simulation	600 s	600 s	600 s	600 s
Connections	10, 15, 20, 25	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80,90
Taille du paquet	512 octets	512 octets	512 octets	512 octets
Nombre de nœuds	15	30	40	60

Tableau 5. 1 : Caractéristiques des profils de protocoles de routage DSR

Rapport-Gratuit.com

6.3 Effet de l'adaptation du protocole de routage

Le réseau de neurones NN utilisé ici est appelé « réseau à rétropropagation non récurrent » (*Feed-forward Backpropagation Network*) afin de sélectionner le protocole de routage approprié pour un environnement donné. La figure 6.6 présente les deux couches du réseau NN, une pour les neurones cachés et une pour les neurones de sortie. Nous avons utilisé la fonction « *tansig* » pour la couche cachée et la fonction « *pureline* » pour la couche de sortie.

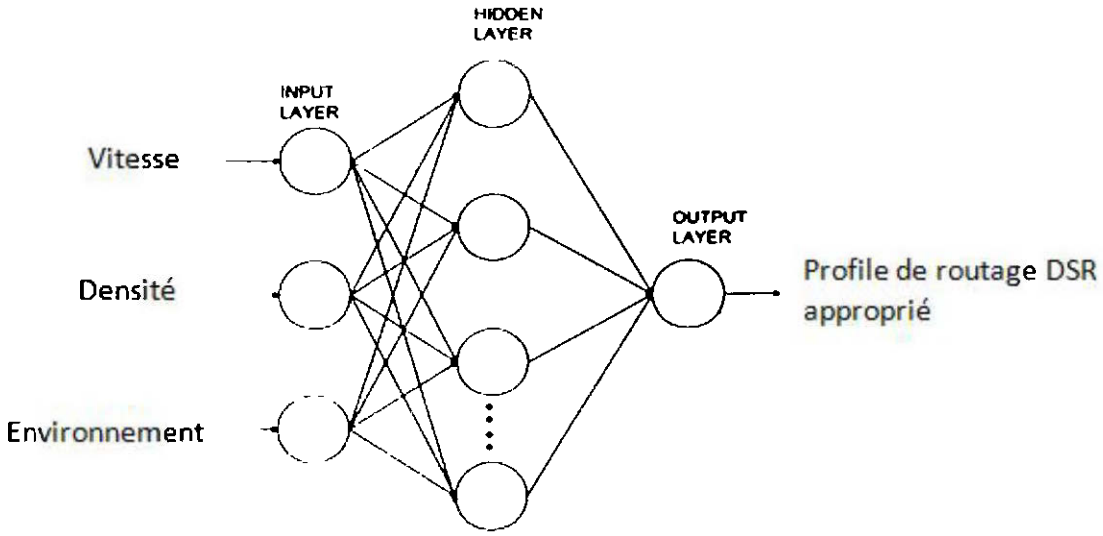

Figure 6. 6 : Réseau NN avec une couche cachée et une couche de sortie

Afin de valider l'approche proposée, nous effectuons d'abord l'apprentissage, puis nous faisons passer le test du réseau NN à un certain pourcentage des données du tableau V.1.

Entrées du réseau NN			Sorties du réseau NN
Environnement	Densité (nœuds)	Vitesse (m/s)	Profil de routage DSR suggéré
Centre-ville	De 30 à 60	De 4 à 14	Profil_DSR_Centre-ville
Résidentiel	De 25 à 40	De 8 à 17	Profil_DSR_Résidentiel
Urbain	De 15 à 30	De 13 à 25	Profil_DSR_Urbain
Autoroute	De 2 à 15	De 16 à 35	Profil_DSR_Autoroute

Tableau 5. 2 : Entrées et sorties du réseau de neurones

Après avoir complété les deux phases, c'est-à-dire l'apprentissage et le test, nous validons le réseau par d'autres données complètement nouvelles afin d'évaluer le taux de succès de la classification. Cette validation est importante afin de connaître le taux de succès de la sélection du bon profil de protocole de routage DSR.

Voici les résultats obtenus :

- Apprentissage du réseau NN avec 90 % (respectivement 80 %, 70 %) des données, test avec 10 % (respectivement 20 %, 30 %) des données. Lorsque nous faisons une validation par une plage des nouvelles entrées, la figure 6.7 (a) montre que le taux de correspondauce est de 100 % :

- Apprentissage du réseau NN avec 50 % (respectivement 10 %, 1 %) des données, test avec 25 % (respectivement 15 %, 10 %) des données. Lorsque nous faisons une validation par une plage des nouvelles entrées, les figures 6.7 (b), 6.7 (c) et 6.7 (d) montrent que le taux de correspondance reste importaut même si nous diminuons le pourcentage de l'entraînement du réseau NN :

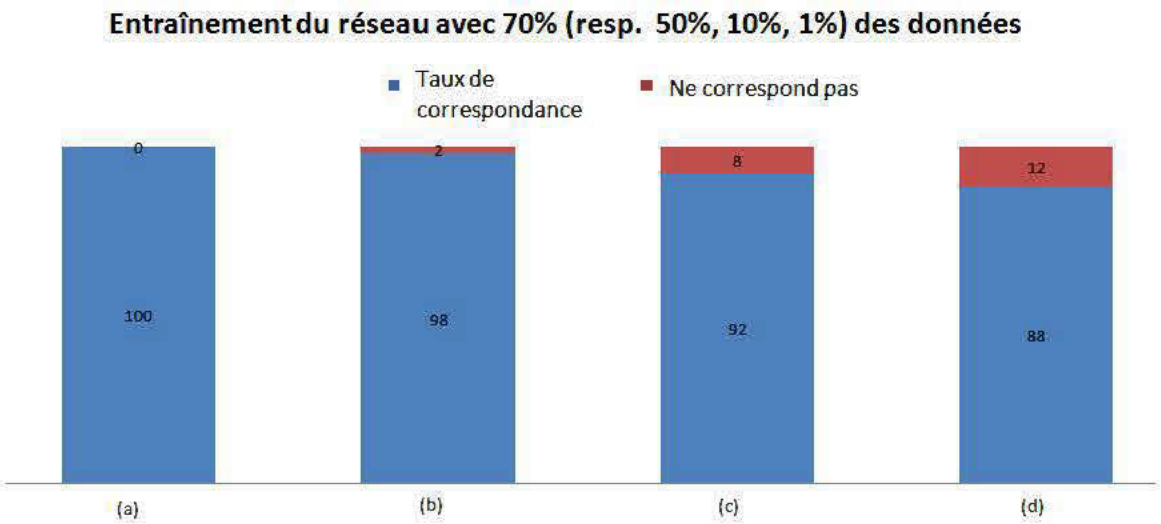

Figure 6. 7 : Taux de succès de l'entraînement du réseau

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tous ces résultats montrent le succès de la classification. En effet, le fait d'avoir un tel succès avec peu d'information pour les phases d'apprentissage et de test prouve que le réseau NN est capable d'augmenter les performances du réseau en ce qui concerne le routage.

C'est en sélectionnant le bon profil du routage de DSR que le routage sera amélioré, puisque ce profil répond aux caractéristiques de la topologie (vitesse, densité et environnement). D'après les résultats obtenus dans ce chapitre, nous concluons que l'approche proposée a pu montrer ses performances avec succès.

6.4 Métrique de mesure de performance

Les métriques suivantes sont utilisées pour évaluer les performances des profils du protocole de routage DSR dans les différents environnements.

- **Le taux de livraison des paquets (*Packet Delivery Ratio*) (PDR).** Cette métrique donne l'information sur le taux des paquets de données reçus à destination avec succès et le nombre total de paquets générés à la source. Le taux PDR est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$PDR = \frac{(Paquets\ de\ données\ reçus\ par\ le\ noeud\ de\ destination)}{(Paquets\ de\ données\ envoyés\ par\ le\ noeud\ de\ source)} \times 100$$

- **Le délai moyen de bout en bout (*Average End-to-End Delay*).** Cette métrique calcule le délai total entre le moment de la transmission des paquets du nœud source jusqu'au moment de la réception de ces données par le nœud de destination. L'équation suivante permet de calculer ce délai :

$$D_AETED = T_DataR - T_DataS$$

$D_AETED = Délai\ moyen\ de\ bout\ en\ bout\ (Average\ End - to - End\ Delay)$

$T_{DataR} = Temps\ au\ moment\ de\ la\ réception\ des\ paquets\ par\ la\ destination$

$T_{DataS} = temps\ au\ moment\ de\ l'émission\ des\ paquets\ par\ la\ source$

- **Le temps système normalisé de routage (*Normalized routing overhead*) (NRO).** Cette métrique donne le nombre des paquets de routage transmis par rapport aux données livrées à destination. Ces données contiennent tous les types (requêtes, réponses, erreurs) dans le réseau. Cette métrique peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$NRO = \frac{(N_CPS + N_CPF)}{N_DPRD}$$

$N_CPS = le\ nombre\ des\ paquets\ envoyés\ par\ tous\ les\ noeuds$

$N_CPF = le\ nombre\ des\ paquets\ retransmis\ par\ tous\ les\ noeuds$

$N_DPRD = le\ nombre\ des\ paquets\ reçus\ par\ le\ noeud\ de\ destination$

6.5 Effet de vitesse

6.5.1 Vitesse vs PDR

La figure 6.8 illustre le taux de livraison des paquets (PDR) en fonction de la vitesse. Ce taux diminue d'une manière importante dans le premier scénario, puisque la vitesse augmente et que le nombre de nœuds est faible. Tel qu'indiqué au paragraphe V.2.2, chaque scénario est élaboré selon la moyenne de plusieurs sous-scénarios, ce qui signifie qu'un scénario représente au moins cinq à dix sous-scénarios. Dans tous les sous-scénarios, nous changeons la vitesse et nous maintenons les autres paramètres constants. Nous concluons donc, tel que montré par la figure 6.8, que, en se basant sur le taux PDR, la meilleure configuration est à une vitesse de 20 m/s pour tous les scénarios.

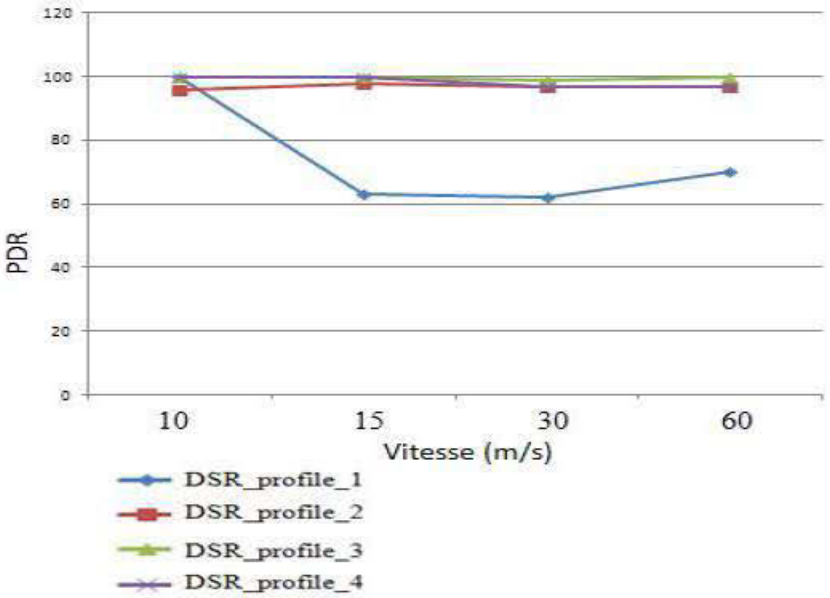

Figure 6. 8 : Vitesse vs PDR

6.5.2 Vitesse vs E2ED

La figure 6.9 présente l'effet de la vitesse des nœuds sur le délai moyen de bout en bout. En effet, le scénario de 10 nœuds avec 4 connexions CBR montre que le délai est moins important avec une vitesse de 20 m/s, si on le compare avec les délais des autres sous-scénarios avec des vitesses de 30 m/s, 40 m/s et 60 m/s.

Le délai moyen de bout en bout augmente avec le nombre des nœuds. Cette augmentation est due à la découverte des routes par les nœuds et au nombre important de paquets dans le tampon. De plus, nous remarquons que plus la durée de pause est grande, plus le réseau est stable et plus le délai de bout en bout diminue.

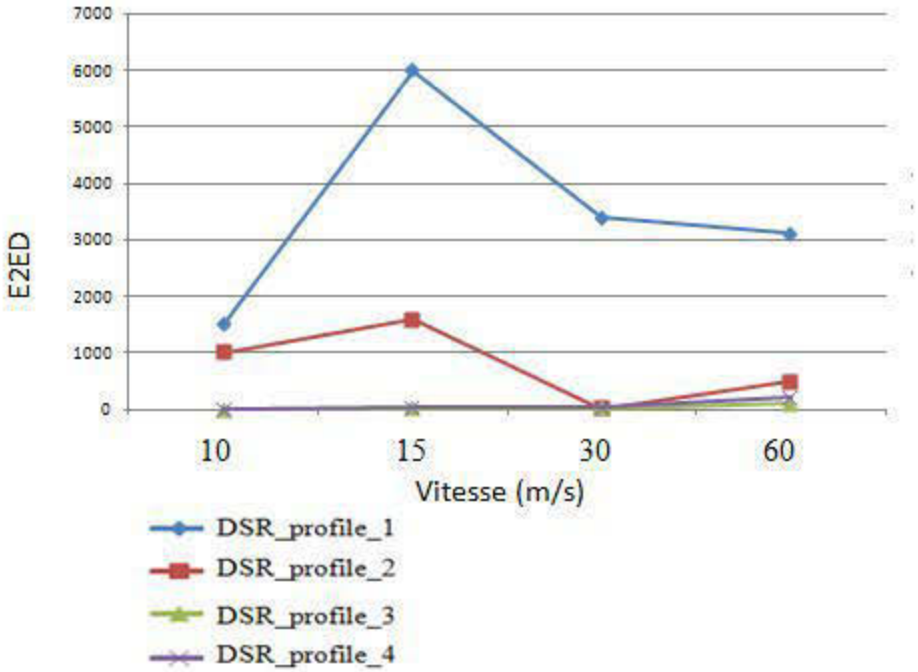

Figure 6. 9 Vitesse vs E2ED

6.5.3 Vitesse vs NRO

Dans la figure 6.10, nous illustrons les résultats du temps système générés par les protocoles de routage pour atteindre ce niveau de la livraison des paquets de données. Ces résultats montrent également que nous pouvons établir une relation proportionnelle directe entre le temps système et le nombre de paquets envoyés.

Dans le premier scénario, avec une faible mobilité, nous remarquons que lorsque la vitesse du nœud augmente, le temps système augmente également. Tel que montré dans la figure 6.8, dans le premier scénario, avec une vitesse normale de 20 m/s, le temps système diminue. Étant donné les nombreuses destinations dans les autres scénarios et la forte mobilité des nœuds, nous remarquons que le temps système augmente, ou diminue parfois, puisque le réseau tente alors de s'adapter pour maintenir les liens fonctionnels.

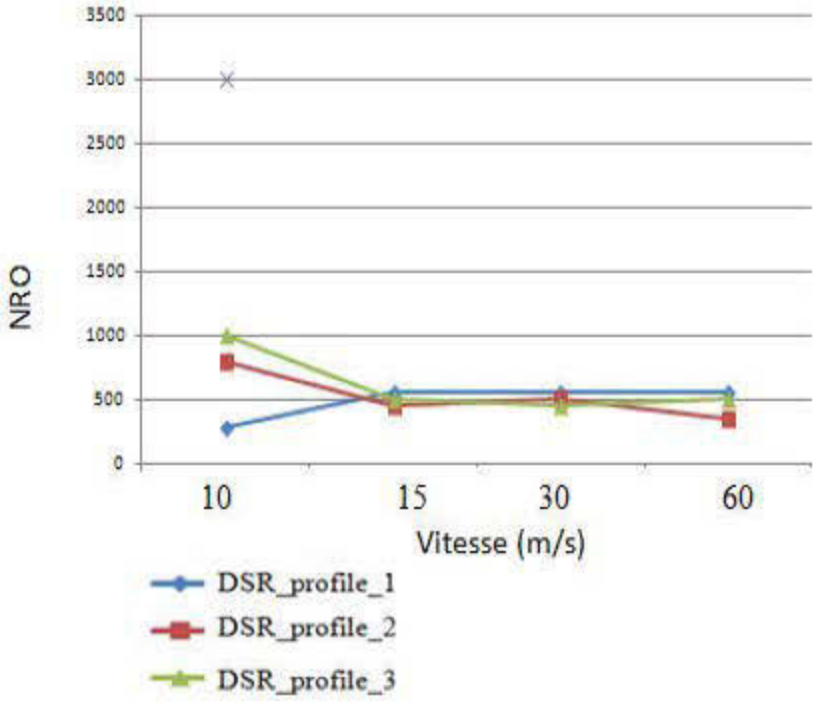

Figure 6. 10 : Vitesse vs NRO

6.6 Effet de la densité avec le changement d'environnement

6.6.1 Densité vs PDR

La figure 6.11 montre que le taux de PDR de tous ces protocoles de routage diminue de plus en plus lorsque la densité des nœuds est importante.

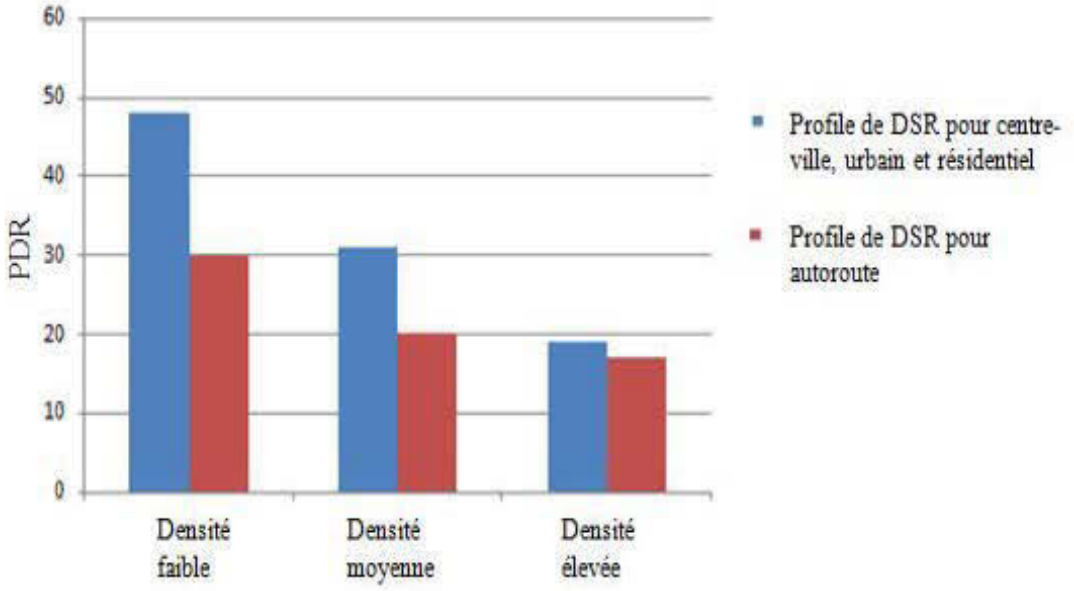

Figure 6. 11 : Densité vs PDR

6.6.2 Densité vs E2ED

La figure 6.12 montre que le délai moyen de bout en bout (ETED) diminue lorsque nous passons d'un environnement à un autre environnement qui contient plus de voies et plus de nœuds. En effet, plus la densité augmente, plus les chances de trouver des liens vers la destination pour les paquets sont nombreuses.

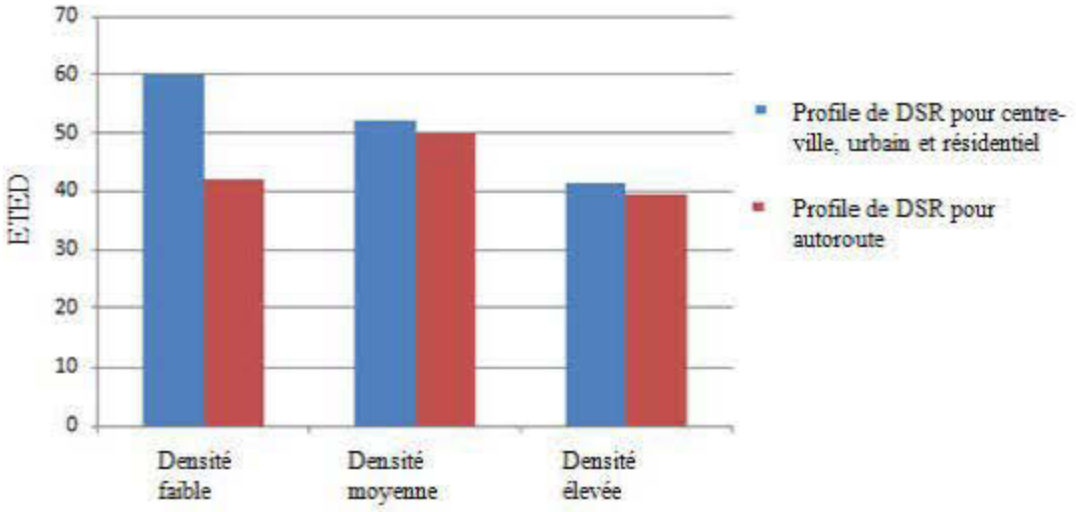

Figure 6. 12 : Densité vs E2ED

6.6.3 Densité vs NRO

La figure 6.13 confirme la relation proportionnelle entre le temps système (NRO) et la vitesse et la densité. En effet, changer d'environnement implique un changement au niveau de la vitesse et de la densité. Pour cette raison, plus la densité et la vitesse sont importantes, plus le paramètre NRO augmente.

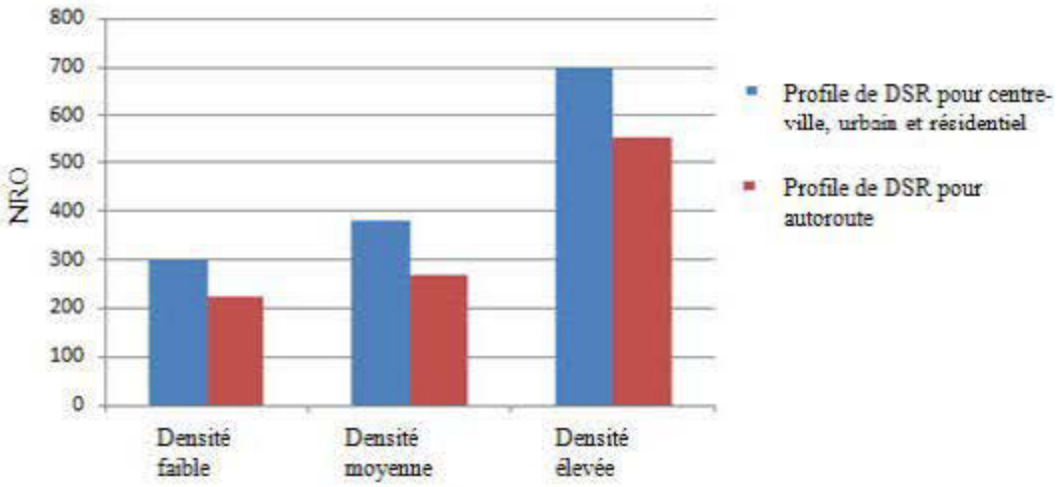

Figure 6. 13 : Densité vs NRO

6.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu montrer de quelle façon l'utilisation de l'intelligence des réseaux de neurones peut améliorer les performances du réseau en ce qui concerne le routage. En effet, le choix de trois paramètres (la vitesse, la densité et l'environnement) comme entrées pour le réseau de neurones afin d'obtenir une sortie qui représente le profil de routage à utiliser a permis d'améliorer les paramètres de routage.

Puisque tous les protocoles du routage des réseaux VANET ne sont valides que pour les environnements pour lesquels ils ont été conçus, les protocoles sont invalides pour d'autres environnements. Nous avons donc résolu ce problème par l'utilisation de l'intelligence des réseaux de neurones pour la classification.

Dans ce mémoire, la méthodologie proposée se base sur l'utilisation de plusieurs protocoles. Chaque protocole correspond à un environnement connu par des métriques qui le caractérise d'un autre environnement. Le nœud qui collecte les informations de ses voisins sera capable d'utiliser la classification en se basant sur ces données collectées. Finalement, le nœud utilisera le protocole du routage le plus approprié pour son environnement.

Les résultats montrent que même si nous réduisons le nombre de données pour l'entraînement, l'approche proposée donne toujours une meilleure classification pour sélectionner le profil du protocole de routage DSR approprié. Cela montre l'efficacité des réseaux de neurones pour piloter ces profils de routage dans tous les environnements. Pour cela, nous recommandons d'utiliser la méthode de la classification par les réseaux de neurones pour résoudre d'autres problèmes des réseaux VANET.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Chapitre VII

Conclusion et perspectives

Les protocoles de routage traditionnels des réseaux VANET sont conçus spécialement pour un environnement connu par ses exigences, à titre d'exemple, un environnement du centre-ville est connu par une grande densité des nœuds et par la faible distance qui sépare les nœuds proches. Cependant, comme nous l'avons vu, ces protocoles possèdent des propriétés fondamentales qui rendent difficile l'acheminement correct des données d'un nœud source vers un nœud destination lorsque l'environnement change.

Dans le but d'améliorer le routage dans les réseaux VANET, nous avons proposé une approche dont l'objectif est d'améliorer la qualité des communications entre les nœuds du réseau, tout en réduisant les messages du temps système et en assurant une communication avec le moins de difficultés de transmission possible.

L'approche proposée se base sur l'intelligence des réseaux de neurones pour faire une classification correcte selon certains critères (vitesse, densité, environnement) après avoir sélectionné un des profils du protocole de routage réactif DSR. Cette approche a pu montrer sa puissance en ce qui concerne le rendement et les résultats obtenus.

Bien que des avancées aient été réalisées au cours de cette thèse, des efforts importants doivent encore être consentis pour compléter et parfaire nos travaux. Des analyses supplémentaires de nos contributions peuvent par exemple être conduites pour étudier plus en profondeur le comportement de nos contributions suivant des topologies et des modèles de mobilité des véhicules plus complexes et des modèles de trafic.

Comme perspectives de ce travail, nous proposons de simuler d'autres scénarios plus complexes avec différents protocoles de routage et modèles de mobilité afin d'évaluer davantage l'approche proposée. Nous visons également l'optimisation de cette stratégie de routage en introduisant d'autres métriques de performance dans le critère de sélection de route, par exemple le nombre de sauts.

En sus des axes d'étude et de recherche précédents, nous pouvons également compléter nos travaux en s'intéressant à d'autres problématiques dans le vaste champ du routage des réseaux de véhicules. Ainsi, par exemple, des applications de multimédias dans un environnement très dense, comme le centre-ville, pourraient être investiguées et intégrées à nos contributions.

Rapport-Gratuit.com

Références

[1] Now (Network-on-wheels), http://www.network-on-wheels.de/

[2] CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems), http://cvisproject.org/

[3] SAFESPOT (Cooperative vehicles and road infratructure for road safety), http://www.safespot-eu.org/

[4] COOPERS (Cooperative Systerms for Intelligent Road Safety), http://www.coopers-ip.eu/

[5] GST (Global Systems for Telematics), http://www.gstforum.org/

[6] M. Nekovee, Sensor networks on the road : the promises and challenges of vehicular ad hoc networks and vehicular grids, Workshop on Ubiquitous Computing and e-Research, May 2005, Edinburgh, UK.

[7] J. Blum, A. Eskandarian, and L. Hoffmman, Challenges of intervehicle ad hoc networks, IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, Dec. 2004, 347-351.

[8] H. Moustafa and G. BourdonCar, Vehicular Networks Deployment View : Applications, Deployment, Architectures and Security Means, Car 2 Car Communication Consortium Manifesto, May 2007, France

[9] O. K. Tonguz and G. Ferrari, Ad Hoc Wireless Networks: A Communication-Theoretic Perspective, New York: John Wiley & Sons, 2006.

[10] N. Wisitpongphan, O. Tonguz, J. Parikh, F. Bai, P. Mudalige, and V. Sadekar, On the Broadcast Storm Problem in Ad Hoc Wireless Network, IEEE Wireless Communications, Dec. 2007.

[11] M. Torrent-Moreno, D. Jiang, and H. Hartenstein, Broadcast reception rates and effects of priority access in 802.11-based vehicular ad-hoc networks, International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, Oct. 2004, Philadelphia, PA.

[12] T. Taleb, M. Ochi, A. Jamalipour, N. Kato, and Y. Nemoto, "An efficient vehicle-heading based routing protocol for VANET networks," In Proc. IEEE WCNC, pp.2199-2204, Apr.2006

[13] Y. Wang, L. Fan, in Guide to Wireless Ad HocNetworks, Computer communication and Networks, DOI 10.1007/978-1-84800-328-6_20.

[14] A.K. Saha, and D.B. Johnson, "Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks," in ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, pp. 91–92, 2004.

[15] J.D. Kakarla, S. S. Sathya, A Survey on Routing Protocols and its Issues in VANET, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 28– No.4.

[16] K.U. Lee, M. Gerla, Survey of Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks in Car2Car communication consortium.

[17] B. Ducourthisl, Y. Khaled, and M. Shawky, Conditional Transmissions: Performance Study of a New Communication Strategy in VANET, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.56, no.6, pp. 3348- 3357, 2007.

[18] J.D. Kakarla, S.S. Sathya, A Survey on Routing Protocols and its Issues in VANET, International Journal of Computer Applications, Volume 28– No.4, Aug. 2011

[19] M. Kihl, M. Sichitiu, T. Ekeroth and M. Rozenberg, Reliable Geographical Multicast Routing in Vehicular Adhoc Networks, Lecture Notes in Computer Science 4517 LNCS[C], pp. 315- 325.

[20] C.E. Perkins, Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing, Internet draft, draft-ietf-manet-aodv-01.txt, August 1998. Work in progress.

[21] Krishna Gorantala, Routing in Mobile Ad-hoc Networks, Umea University, June 2006, Sweden.

[22] T. Plesse, J. Lecomte, C. Adjih, M. Badel, P. Jacquet, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, A. Plakoo, OLSR Performance Measurement in a Military Mobile Ad-hoc Network, Proceedings of the 24th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, March 2004, Bruz, France

[23] M. Scholler, T. Taleb, S. Schmid, Neighborhoods as an abstraction for Fish-Eye State Routing, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Sept. 2009, Tokyo, Japan.

[24] k.R.Khan, A.V.Reddy, R.U. Zaman, K.A.Reddy, T.S. Harsha, An Efficient DSDV Routing Protocol for Wireless Mobile Ad Hoc Networks and its Performance Comparison,Computer Modeling and Simulation, Sept 2008, Liverpool, UK

[25] H. Raza, P. Nandal, S. Makker, Selection of cluster-head using PSO in CGSR protocol, Methods and Models in Computer Science (ICM2CS), Dec. 2010, Faridabad, India

[26] E.M. Royer and C.K. Toh, A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks, Technical report, University of California and Georgia Institute of Technology, USA, 1999.

[27] E.M. Royer and Charles E. Perkins, Multicast Operation of the Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Algorithm, University of California, Santa Barbara.

[28] V.N. Sastry, P. Supraja, Location-based associativity routing for MANET, Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, 2005. (WiMob'2005), IEEE International Conference on, Aug. 2005, Hyderabad, India

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

[29] R. Dube, C.D. Rais, W. Kuang-Yeh, S.K. Tripathi, Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks, Personal Communications, IEEE, Feb 1997, ISSN : 1070-9916

[30] V. Hnatyshin, M. Ahmed, R. Cocco, D. Urbano, A comparative study of location aided routing protocols for MANET, Wireless Days (WD), Dec 2011, Niagara Falls, ON, Canada.

[31] S.Y. Wang, C.C. Lin, Y.W. Hwang, K.C. Tao, and C.L. Chou, "A practical routing protocol for vehicle-formed mobile ad hoc networks on the roads," The 8th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2005, pp. 161–165

[32] Martha Steenstrup, « Routing in communication networks ». New Jersey, Prentice Hall. ISBN 0-13-010752-2.

[33] Josh Broch, David A. Maltz, David B. Johnson, Yih-Chun Hu and Jorjeta Jetcheva, A performance Comparaison of Multi-hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols, Mobicom'98, Dallas Texas, 25-30 October, 1998.

[34] B. David and D.A. Maltz, Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 5, pages 153-181. Kluwer Academic Publishers.

[35] David B. Johnson and David A. Maltz, « Protocols for adaptive wireless and mobile computing ». In IEEE Personal Communications, 3(1), February 1996.

[36] David B. Johnson, David A. Maltz, and Josh Broch, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop WirelessAd Hoc Networks", in Ad Hoc Networking, Editor: Charles E.Perkins, Chapter 5, pp. 139-172, Addison-Wesley, 2001

[37] DARPA Neural Network Study (1988, AFCEA International Press, p. 60)

[38] Z. B. Xu, H. Qiao, J. Peng, and B. Zhang, "A comparative study on two modeling approaches in neural networks," Tech. Rep., 2003

[39] L. B. Almeida, Backpropagation in perceptrons with feedback, in Neural Computers. ser. NATO ASI, R. Eckmiller and C. Von der Malsburg, Eds. New York: Springer-Verlag, 1988, pp. 199–208.