

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Référence :/MM/2022

المرجع :/م/م / 2022

Mémoire de Master

Présenté au

Département: Génie Électrique.

Domaine: Sciences et Technologies.

Filière: Télécommunications.

Spécialité: Systèmes des Télécommunications.

Réalisé par :

MEZINE Mohamad abderaouf
SEBAI Brahim

Thème

**Elaboration d'un système de calcul automatisé pour
équilibrer les réseaux ad hoc par un routage plus
intelligent**

Soutenu le:/...../2022

Devant la commission composée de :

Mr : Saidi Mohammed	M.A.A	Univ. Bouira	Président
SAOUD Bilal	M.C.A	Univ. Bouira	Examineur
BOUCENNA Mohamed Lamine	M.C.B	Univ. Bouira	Encadreur

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Allah, le tout puissant de nous avoir illuminé et ouvert les portes de savoir et nous avoir donné la volonté et le courage d'élaborer ce travail.

*Nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur Monsieur : **Mohamed Lamine Boucenna** pour sa confiance, ses encouragements, ses merveilleuses corrections et pour les conseils qu'il a apporté pour l'achèvement de ce projet.*

Nous tenons également à remercier l'ensemble de membres de jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail.

Nous présentons aussi nos remerciements à l'ensemble des enseignants du département de Génie Électrique.

Nos remerciements s'adressent aussi à nos collègues étudiants pour leurs précieux encouragements.

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant l'élaboration de notre mémoire de fin d'étude.

Merci.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Les réseaux mobiles Ad Hoc 3

I.1 Introduction..... 3

I.2 Les réseaux sans fil 3

I.2.1 Définition 3

I.2.2 Classification des réseaux sans fil..... 3

I.2.2.1 Réseaux sans fil avec infrastructure..... 3

I.2.2.2 Réseaux sans fil sans infrastructure 4

I.3 Les réseaux mobiles ad-hoc 4

I.3.1 Définition 4

I.3.2 Caractéristique des MANET 5

I.3.3 Les types des réseaux ad-hoc 6

I.3.4 Domaines d'application des réseaux ad-hoc..... 6

I.4 Le routage dans les réseaux ad-hoc..... 7

I.4.1 Définition 7

I.4.2 Classification des réseaux ad-hoc 8

I.4.2.1 Les protocoles de routage proactifs 8

I.4.2.2 Les protocoles de routage réactifs..... 10

I.4.2.3 Le protocole de routages hybrides 13

I.5 Conclusion 15

Chapitre II : introduction à la théorie des jeux..... 16

II.1 Introduction 16

II.2 Quelques champs d'application de la théorie des jeux 16

II.3 Les concepts de base de la théorie des jeux..... 18

II.3.1 Un jeu 18

II.3.2 Un joueur 18

II.3.3 Une stratégie 18

II.3.4 Utilité 19

II.4 Les différents types de jeu 20

II.4.1 Jeux coopératifs ou non coopératifs	20
II.4.2 Jeu à information parfaite ou imparfaite.....	20
II.4.3 jeux répétés	21
II.4.4 Jeu symétrique ou asymétrique.....	21
II.4.5 Jeu à somme nulle.....	21
II.4.6 Jeu simultané et jeu séquentiel	21
II.4.7 Jeu normal ou extensif	22
II.5 L'équilibre	23
II.5.1 Résolution des jeux par élimination des stratégies dominées.....	24
II.5.2 Equilibre de Nash	24
II.6 Conclusion	26
Chapitre III : Application de la théorie des jeux dans les réseaux Ad hoc.....	27
III.1 Introduction	27
III.2 Applications de la théorie des jeux dans les réseaux de communication.....	27
III.3 La théorie des jeux et les réseaux ad hoc	29
III.3.1 Avantages de l'application de la théorie des jeux dans les réseaux ad hoc	29
III.3.2 Les défis de l'application de la théorie du jeu aux réseaux ad hoc	29
III.3.3 Quelques applications de la théorie des jeux dans les réseaux Ad hoc.....	30
III.3.3.1 Le jeu de contrôle de puissance.....	30
III.3.3.2 Le jeu de l'adaptation de la forme d'onde.....	32
III.3.3.3 Le jeu de partage du spectre radio.....	33
III.3.3.4 Le jeu du contrôle d'accès au medium.....	34
III.3.3.5 Le jeu d'expédition des paquets.....	35
III.4 Etude du routage dans les réseaux ad-hoc par la théorie de jeu	36
III.4.1 Problématique.....	37
III.4.2 Modèle de jeu de routage	37
III.4.3 Utilité associée à un chemin.....	38
III.4.4 Equilibre de Nash du jeu de routage	39
III.4.5 Déroulement d'une partie du jeu	39
III.5 Développement du protocole de routage AODV	40
III.5.1 Déroulement de l'algorithme	42
III.5.2 Organigramme résumant les algorithmes modifiés.....	44
III.6 Etude des scénarios de simulation.....	46
III.6.1 Les paramètres évalués.....	46
III.6.1 Les scénarios réalisés	47

III.6.1.1 Résultat des simulations	50
III.6.1.2 Résultat des simulations	54
III.6.1.3 Résultat des simulations	58
III.7 Conclusion.....	60
Conclusion générale	61
Bibliographie.....	62

Liste des figures

Figure I.1	Le modèle des réseaux sans fil avec infrastructure.....	4
Figure I.2	Le modèle des réseaux sans fil sans infrastructure.....	5
Figure I.3	Architecture du réseau ad hoc.....	6
Figure I.4	Exemples des domaines d'application du réseau ad hoc.....	8
Figure I.5	Exemple de sélection MPR.....	11
Figure I.6	Construction de la route source de la requête de route dans DSR.....	12
Figure I.7	Propagation de la réponse de route dans DSR.....	12
Figure I.8	Format du paquet RREQ.....	13
Figure I.9	Format du paquet RREP.....	13
Figure I.10	Principe de fonctionnement du protocole de routage AODV.....	14
Figure I.11	Classification des protocoles de routage ad hoc.....	15
Figure II.1	La forme extensif du jeu Pile ou Face.....	24
Figure III.1	Organigramme de l'AODV amélioré.....	45
Figure III.2	L'organigramme du basculement.....	46
Figure III.3	Disposition des nœuds dans le premier scenario.....	49
Figure III.4	Evaluation du délai dans le 1 ^{er} scenario.....	51
Figure III.5	Evaluation du débit dans le 1 ^{er} scenario.....	51
Figure III.6	Evaluation de la charge sur chaque nœud dans le 1 ^{er} scenario.....	52
Figure III.7	Disposition des nœuds dans le 2 ^{ème} scénario.....	53
Figure III.8	Evaluation du délai dans le 2 ^{ème} scenario.....	54
Figure III.9	Evaluation du débit dans le 2 ^{ème} scenario.....	54
Figure III.10	Evaluation de la charge sur chaque nœud dans le 2 ^{ème} scenario.....	56
Figure III.11	Distribution des nœuds dans le 3 ^{ème} scenario.....	57
Figure III.12	Evaluation de délai dans le 3 ^{ème} scenario.....	59
Figure III.13	Evaluation du débit dans le 3 ^{ème} scenario.....	59
Figure III.14	Evaluation de la charge sur chaque nœud dans le 3 ^{ème} scenario.....	60

Liste des tableaux

Tableau I.1 Comparaison entre les types des protocoles de routage.....	16
Tableau II.1 La forme normale du jeu Papier-Ciseaux-Caillou.....	23
Tableau II.2 Equilibre de Nash.....	26
Tableau III.1 Modélisation du jeu de routage dans un réseau ad hoc.....	39
Tableau III.2 Les paramètres des simulations.....	48
Tableau III.3 Les différents chemins et leurs performances dans le 1 ^{er} scénario.....	50
Tableau III.4 Les différents chemins et leurs performances dans le 2 ^{ème} scénario.....	54
Tableau III.5 Les différents chemins et leurs performances dans le 3 ^{ème} scénario.....	58

Liste des abréviations

ACK: Acknowledgment.

AODV: Ad hoc On-demand Distance Vector.

ARP: Address Resolution Protocol.

CTS: Clear To Send.

DSDV: Dynamic destination Sequenced Distance Vector.

DSR: Dynamic Source Routing.

ESS: Evolutionarily Stable Strategy

FDG: Forwarding Dilemma Game

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IETF: Internet Engineering Task Force

LSR: Link-State Routing

MAC: Medium Access Control

MANET: Mobile Ad hoc Network

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output

MPR: MultiPoint Relays

MS: Mobile Station

NS: Number sequence

OLSR: Optimized Link State Routing

RREP: Route Reply

RREQ: Route Request

RERR: Route Error

RTS: Request To Send

SALOHA: Slotted Aloha

SINR: Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio

TC: Topology Control

VANET: Vehicular Ad hoc Networks

WLAN: Wireless Local Area Network

ZRP: Zone Routing Protocol

Introduction générale

Ces dernières années, on s'est beaucoup intéressé aux réseaux sans fil notamment en raison de leur grand potentiel militaire et commercial. Un réseau ad hoc est un réseau sans fil, qui est constitué de nœuds mobiles, qui utilise la transmission sans fil pour communiquer et ne dispose pas d'une infrastructure fixe. Les appareils mobiles agissent comme un système terminal et un routeur pour tous les autres appareils mobiles du réseau en raison de la portée limitée de la transmission sans fil de ces appareils. Dans un réseau mobile ad hoc ou MANET (Mobile Ad hoc Network), aucune infrastructure n'est nécessaire et la gestion est entièrement distribuée. Les nœuds mobile peuvent se déplacer de manière aléatoire et, par conséquent, la topologie du réseau change aussi rapidement et de manière aléatoire.

Les Ad hoc souffrent de quelques difficultés rencontrées telles que des problèmes de routage, limitation de la source d'énergie, nœuds cachés, collisions pendant l'accès au canal, bande de fréquences limitée et une faible sécurité des informations transmises. Ces difficultés affectent la qualité des réseaux et dégradent leurs performances. En effet, on constate que le nombre de modèles analytiques proposés pour évaluer les performances des réseaux ad hoc sont très limité du fait de la nature distribuée et dynamique de ces réseaux. Parmi les modèles proposés, on trouve la théorie des jeux qui fournit un ensemble d'outils pouvant être efficacement utilisés pour la modélisation de réseaux Ad hoc.

La théorie des jeux est une discipline proposée pour évaluer les performances des réseaux ad hoc, fournissant un ensemble d'outils qui peuvent être utilisés efficacement pour modéliser ce réseau. Elle s'intéresse aux situations dans lesquelles le "joueur" ou le "agent" prend des décisions, chacun conscient que ses intérêts dépendent non seulement de ses propres décisions, mais aussi de celles des autres joueurs. Un joueur peut prendre plusieurs décisions et il choisit celle qui lui convient le mieux. En termes mathématiques, l'expression "meilleur pour lui" se traduit par l'introduction d'une fonction pour chaque joueur qui reflète ses préférences, appelée "utilité". L'utilité d'un joueur peut dépendre non seulement de ses décisions mais aussi des décisions de tous les autres joueurs. La solution à un jeu est généralement un équilibre de Nash, qui se traduit par des choix de décision de tous les joueurs tels qu'aucun d'entre eux n'est satisfait autre que ces décisions. On peut voir différentes applications de la théorie des jeux dans les réseaux de télécommunication et notamment dans les réseaux ad hoc et ceci au niveau du routage, du contrôle de congestion, du partage des ressources, de la sécurité du réseau, du contrôle d'accès aux médias, etc.

Notre projet, évoqué dans ce mémoire, entre dans le cadre de l'étude des problèmes liés aux réseaux Ad hoc en introduisant les concepts de la théorie des jeux. Nous nous intéressons beaucoup plus au problème de congestion lors du routage des données entre la source et la destination (routage). A cet égard, ce mémoire est organisé en trois chapitres, que nous présentons comme suit :

Le premier chapitre présente les réseaux sans fil en général et les réseaux mobiles ad hoc en particulier, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques et leurs domaines d'application, ainsi que sur les différents protocoles de routage utilisés.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des éléments essentiels de la théorie des jeux, des classifications générales des jeux et du concept d'équilibre.

Dans le troisième chapitre et après la présentation de quelques exemples d'utilisation de la théorie des jeux dans les systèmes de communication en général et dans les réseaux ad hoc en particulier, nous commencerons la section de modélisation où nous discuterons des algorithmes distribués basés sur la théorie des jeux et nous ajouterons quelques nouvelles idées à gérer pour optimiser le routage dans les réseaux ad hoc afin de guider simultanément le réseau pour qu'il fonctionne dans un état équilibré avec une qualité de transmission stable et satisfaisante pour tous les utilisateurs.

I.1 Introduction

Les réseaux sans fil sont en pleine expansion et ont suscité beaucoup d'intérêt ces dernières années. La téléphonie cellulaire a atteint un très grand niveau d'utilisation, avec un besoin de mobilité qui a encouragé la recherche et le développement de la technologie sans fil dans deux directions : les réseaux cellulaires avec infrastructure et les réseaux ad hoc qui sont des réseaux sans fil, mobiles et sans infrastructure fixe préexistante.

Ce chapitre a pour but de présenter les réseaux mobiles avec et sans infrastructure en se basant sur les réseaux mobiles Ad Hoc (MANETs). Ensuite nous citons leurs caractéristiques et leurs domaines d'application. Nous terminons par introduire la fonction du routage dans les réseaux Ad Hoc.

I.2 Les réseaux sans fil

I.2.1 Définition

Le réseau sans fil (Wireless network) est un ensemble des machines relié entre eux à base d'ondes hertziennes sans avoir besoin d'un support physique et permet aux utilisateurs un déplacement libre dans une zone de couverture sans perdre signal. [1]

I.2.2 Classification des réseaux sans fil

I.2.2.1 Réseaux sans fil avec infrastructure

En mode avec infrastructure, également appelé le mode BSS (Basic Service Set) certains sites fixes, appelés stations support mobile (Mobile Support Station) ou station de base (SB) sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec des sites ou unités mobiles (UM), localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule. [2]

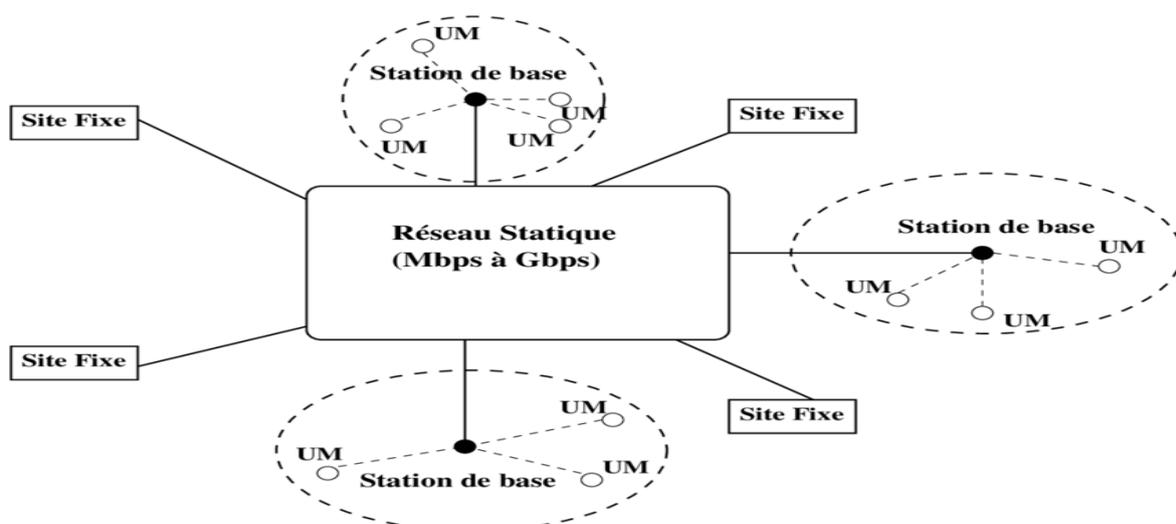


Figure I.1 Le modèle des réseaux sans fil avec infrastructure.

I.2.2.2 Réseaux sans fil sans infrastructure

Le réseau mobile sans infrastructure également appelé réseau Ad hoc ou IBSS (Independent Basic Service Set) ne comporte pas l'entité « site fixe », tous les sites du réseau sont mobiles et se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil. L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé des stations de base, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau. [2]

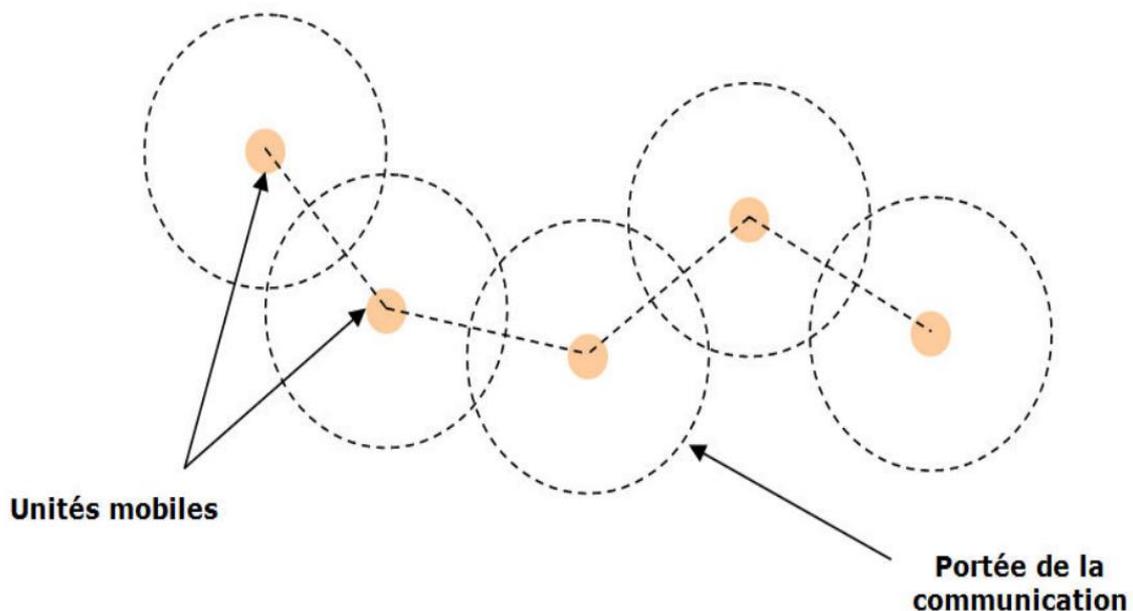


Figure I.2 Le modèle des réseaux sans fil sans infrastructure.

I.3 Les réseaux mobiles ad hoc

I.3.1 Définition

Un réseau MANET est un ensemble des nœuds mobile qui sont interconnecté entre eux par une liaison sans fil et pour laquelle la communication se réalise d'une manière autonome sans utiliser une infrastructure préexistante ou d'une administration centralisée, Les nœuds sont en mouvement permanent ce qui a rendu la topologie du réseau dynamique, Les réseau MANET se trouve dans plusieurs domaines par ce que ils sont facile à mettre en œuvre, Un nœud peut communiquer avec tous les autres nœuds dans sa zone de couverture, la communication se fait en mode point par point, Un nœud hors la zone de couverture est peut-être joindre grâce à l'utilisation des nœuds intermédiaires ce qui nous permet de déduire que chaque nœud peut être un point d'accès(routeur ou un hôte) et aide à la découverte et la maintenance des routes.[3]

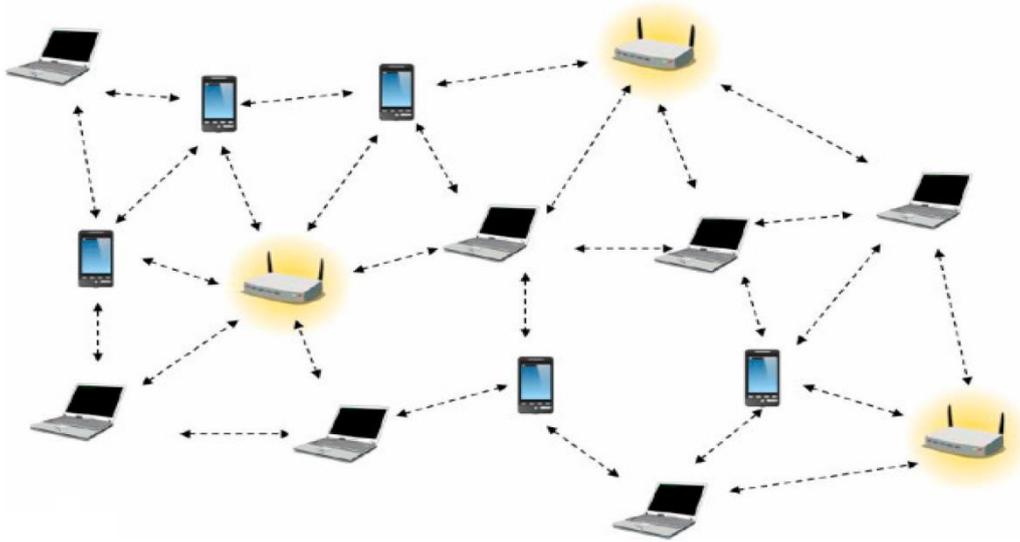


Figure I.3 Architecture du réseau ad hoc.

I.3.2. Caractéristique des MANET

Les réseaux mobiles Ad Hoc présentent plusieurs caractéristiques, à savoir [4] :

- **Absence d'infrastructure** : Les nœuds d'un réseau Ad Hoc se déplacent librement par ce qu'ils travaillent dans un environnement totalement distribué, chaque nœud peut agir comme hôte et routeur.
- **Topologie dynamique** : Les nœuds sont libres de se déplacer arbitrairement dans les réseaux MANET, des routes peuvent se créer et disparaître très souvent, ce qui amène à des changements de façon aléatoire et rapide dans la topologie du réseau, ceci a rendu la topologie du réseau dynamique.
- **Ressources d'énergie limitées** : Comme certains ou tous les nœuds sont alimentés par des batteries ou d'autres moyens épuisables pour leur énergie. Le paramètre d'énergie doit être pris en considération dans tout contrôle fait par le système.
- **Sécurité limitée** : Comme tous les réseaux sans fil, les réseaux ad hoc ont une faible sécurité et sont exposés aux risques des interférences et du piratage à cause de l'absence d'un pare-feu centralisé.
- **Bande passante limitée** : L'utilisation d'un médium de communication partagé est l'une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil, ce partage fait de sorte que la bande passante réservée à un hôte soit limitée.
- **Transmission multi-saut** : Deux nœuds peuvent se communiquer directement entre eux s'ils sont à portée radio. En revanche, dans le cas où les deux nœuds ne sont pas à portée, ils doivent utiliser d'autres nœuds mobiles comme relais pour assurer la communication.

I.3.3. Les types des réseaux ad hoc [5]

Nous avons trois types du réseau ad hoc : les réseaux mobiles Ad Hoc (MANETs), les réseaux de capteurs (WSNs³) et les réseaux maillés (WMNs⁴).

On trouve que les MANETs et WSNs ont plusieurs caractéristiques communes, mais ils se diffèrent en plusieurs aspects :

- ✚ La mobilité est la caractéristique principale des nœuds constituant un MANET en revanche les nœuds capteur dans WSN sont statique.
- ✚ La communication peut d'effectuer entre des nœuds quelconques dans un réseau MANET, tandis que dans un WSN la communication est toujours initiée vers ou à partir des nœuds puits.
- ✚ Les WSNs sont caractérisé par une plus forte densité par rapport aux MANETS.
- ✚ Dans un WSN les nœuds puits sont plus sensibles à la panne à celles des capteurs, tandis qu'un MANET, tous les nœuds sont égaux, de ce fait la panne de n'importe quel nœud a la même importance.
- ✚ Les WMNs ont une conception similaire aux MANETs dans le sens ou la communication entre les mesh-routeurs s'effectue en mode multi-sauts.
 - Les routeurs sont directement alimentés en électricité dans les WMNs, ceci à éliminer tous problèmes de consommation d'énergie
 - Les mesh-routeurs dans un WMNs sont statiques.

I.3.4. Domaines d'application des réseaux ad hoc

On distingue une variété d'applications pour les réseaux ad hoc. Nous citons [6] :

- **Domaine militaire** : Les nœuds mobiles de ce type de réseau peuvent être des soldats, des chars, des avions de chasse, etc dans un champ de bataille. Les MANET sans très utiles pour collecter des informations et la surveillance de déglacement des ennemies sans risquer la vie humaine.
- **Situations d'urgence** : Les MANET sont très Utiles dans les opérations de recherche et de secours des personnes lors de catastrophique d'origine naturelles (tremblement de terre, feux, inondation, etc.).
- **Réseaux de capteurs** : La possibilité de coordonner une large collection de petits dispositifs de détection pour des applications environnementales (météo, activité terrestre, suivi animale, etc.) ou domestiques (contrôle des équipements à distance).
- **Réseau véhiculé (VANET : Vehicular Ad hoc Networks)** : Pour fournir des communications au sein d'un groupe de véhicules à portée les uns des autres et entre les

véhicules et les équipements fixes à portée, usuellement appelés équipements de la route. Le but optimal est que les réseaux véhiculaires contribueront à des routes plus sûres et plus efficaces à l'avenir en fournissant des informations opportunes aux conducteurs et aux autorités intéressées.

- **Jeux vidéo :** Il est facile et à faible cout de déployer un réseau ad hoc pour l'échange d'informations entre applications personnelles dans le cas où les utilisateurs veulent jouer en réseau.
- **Le travail collaboratif et les communications dans des entreprises ou bâtiments :** Les utilisateurs professionnels ont besoins d'applications particulières lors d'échanges entre collaborateurs par exemple dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence.



Figure I.4 Exemples des domaines d'application du réseau ad hoc.

I.4. Le routage dans les réseaux ad hoc

I.4.1 Définition

Le routage est une tâche principale pour assurer la communication dans un réseau, le protocole de routage détermine la route entre un nœud source et un nœud destinataire, en utilisant un ensemble des règles et des algorithmes qui permettent de traiter et de déplacer les données d'un nœud à un autre dans le réseau, afin de définir le meilleur acheminement optimal des paquets à travers le réseau et les maintenir entre les différents nœuds. Trois types de

protocoles de routage ont été défini par le groupe de travail MANET créé par l'organisme IETF (Internet Engineering Task Force), ils sont classées selon l'algorithme utilisé pour établir et maintenir la route de communication : des protocoles proactifs (vu global du réseau), protocoles réactifs (à la demande), et les protocoles hybride.[7,8]

I.4.2 Classification des réseaux ad hoc

Plusieurs protocoles de routage ont été conçus pour les réseaux ad hoc, ils se classifient selon le type de routage utilisé (proactif, réactif, hybride).

I.4.2.1 Les protocoles de routage proactifs

Les protocoles proactifs sont base sur le même principe que les protocoles de routage utilisé dans les réseaux filaire, ils utilisent deux principales méthodes sont la méthode état de lien (Stat Link) ou chaque nœud diffuse dans le réseau son voisinage, et la méthode vecteur de distance (Distance Vector) qui est basée sur la propagation d'information concernant sa distance à tous les nœuds du réseau, ces deux méthodes ont besoin d'une mise à jour régulière des données de routage, ils cherchent toujours le plus court chemin entre l'émetteur et le récepteur grâce à des algorithmes de routage.

Aujourd'hui il existe plusieurs protocoles de routage proactifs (DSDV, GSR, WRP, FSR, HSR, CGSR, OLSR). [9]

- **Le protocole DSDV (Dynamic destination Sequenced Distance Vector)**

Le protocole DSDV est base sur l'algorithme distribué de bellman-ford (DBF), en utilisant un vecteur de distance, chaque station maintient une table de routage contenant toutes la destination possible et le nombre de saut afin d'atteindre la destination, et le numéro de séquences(NS) qui est un nœud de destination, il lié à chaque destination pour éviter la formation de boucle de routage, les tables est mise à jour régulièment émise par chaque station pour maintenir la consistance des informations ce qui génère un trafic important qu'il faut le limiter, ces mise à jour se font soit par une manière incrémentale(contenant les mise a jours des donnée qui ont été changer par rapport à la dernière fois, soit complètement(toute la table entière),Ceci est basé sur l'importance des changements observés.[10]

- **Inconvénients [11]**

- ❖ Activité importante sur le réseau lors d'une demande de mise à jour
- ❖ Perte d'énergie et de bande passante associée à la recherche périodique d'itinéraires
- ❖ Une convergence lente
- ❖ Forte tendance à créer des boucles de routage dans le réseau.

- **Le protocole OLSR (Optimized Link Stat Link)**

Le protocole est basé sur un algorithme d'état de lien pur qui a été optimisé. L'utilisation de relais multipoints est une caractéristique importante du protocole (MPR). L'ensemble MPR est choisi pour inclure tous les nœuds à moins de deux sauts les uns des autres. Il fonctionne comme un protocole proactif, échangeant régulièrement des informations de topologie avec d'autres nœuds du réseau.

"Hello" et "TC" sont deux types de messages introduits dans OLSR (contrôle de topologie). Chaque nœud envoie un message Hello contenant des informations sur son environnement ainsi que l'état des liens. L'échange de ces messages lui permet d'en savoir plus sur son environnement. Chaque nœud envoie régulièrement un paquet TC contenant la liste de ses pairs afin de construire les tables nécessaires au routage des paquets. Il a été choisi comme MPR par ses voisins. Le message TC est envoyé à l'ensemble du réseau. Pour éviter l'inondation, seuls les voisins MPR rediffusent un paquet TC.

L'équipe-projet HIPERCOM-INRIA a recommandé ce protocole. Il est défini dans la RFC 3626 de l'IETF, qui l'identifie comme l'un des quatre protocoles de base pour les réseaux MANET.

Le protocole OLSR est vulnérable à une variété d'attaques en raison de sa nature dynamique, y compris le brouillage, la livraison de mises à jour de messages erronées et les attaques contre le message de contrôle lors de la création ou de la transmission. Pour sécuriser le protocole, les chercheurs se sont penchés sur les mécanismes d'authentification et de détection d'intrusion. Lors des études de performance du protocole, des évolutions ont été apportées en termes de qualité de service et de consommation énergétique, en fonction des différentes implémentations. [12]

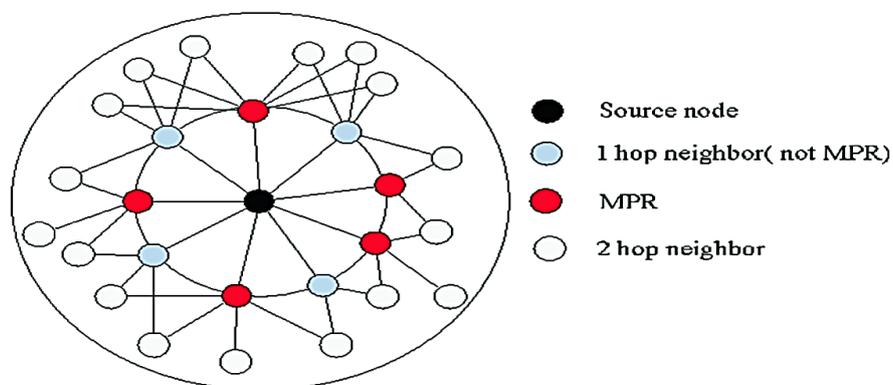


Figure I.5 Exemple de sélection MPR.

I.4.2.2 Les protocoles de routage réactifs

Les protocoles de routage réactifs sont appelés aussi protocoles à la demande se basent sur la découverte et le maintien des routes, Lorsqu'un nœud émetteur a besoin d'une route, il lance une procédure de découverte des routes. Ce processus s'arrête une fois la route trouvée ou toutes les possibilités sont examinées. Parmi les protocoles basés sur ce principe on cite : CBRP, DSR, AODV, TORA, ABR, SSR et EARP. [13]

- **Le protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing)**

Dynamic Source Routing (DSR) est un protocole réactif basé sur l'utilisation de la technique source routing (routage source). Le chemin à parcourir est contenu dans l'entête du paquet de données. Ainsi lorsqu'un nœud reçoit un paquet, il le guide vers le nœud suivant dont l'adresse est indiqué dans l'entête. Les deux opérations de base du protocole DSR sont : la découverte de routes et la maintenance de routes. L'opération de découverte de routes permet à n'importe quel nœud du réseau de découvrir dynamiquement un chemin vers un nœud quelconque du réseau. Un nœud initiateur de l'opération de découverte diffuse un paquet requête de route qui identifie l'hôte cible. Si l'opération de découverte est réussie, le nœud initiateur reçoit un paquet réponse de route qui liste la séquence de nœuds par lesquels, la destination peut être atteinte. Afin de réduire le coût et la fréquence de la découverte de routes, chaque nœud garde trace des chemins trouvés à l'aide des paquets de réponses. Ces chemins sont utilisés jusqu'à ce qu'ils soient invalides. Le protocole DSR n'intègre pas l'opération de découverte de routes avec celle de la maintenance, comme le fait les protocoles de routage conventionnels et évite le problème de boucle de routage. [14]

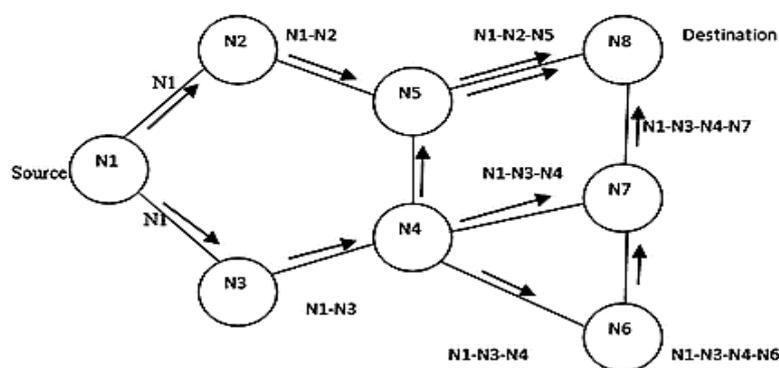


Figure I.6 Construction de la route source de la requête de route dans DSR.

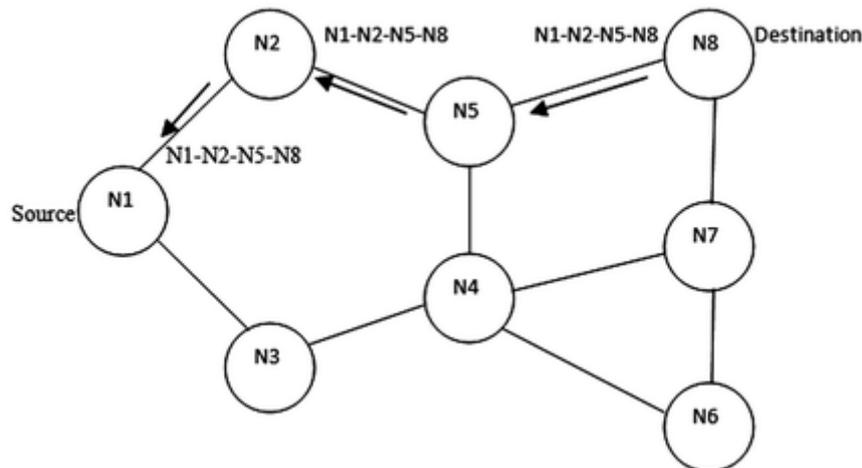


Figure I.7 Propagation de la réponse de route dans DSR.

- **Le protocole de routage AODV (Ad hoc On demand Distance Vector)**

L'AODV (Ad hoc On demand Distance Vector) est un protocole de routage réactif basé sur le principe de vecteur à distance. C'est le premier protocole qui a été normalisé par le groupe MANET. C'est une combinaison des deux protocoles DSR et DSDV. Ce protocole est opérationnel seulement dans un environnement où les liens sont symétriques. Ce protocole met en œuvre différentes opérations pour réaliser et maintenir le routage : gestion de la connectivité locale, phase de découverte des routes, maintenance des routes. La fonctionnalité de gestion de la connectivité locale est appliquée par les nœuds de la manière suivante. Chaque nœud émet périodiquement un paquet, nommé Hello. A la réception de ce paquet, les nœuds apprennent la présence des nœuds voisins. La connectivité locale est modifiée dans les cas suivants : un nœud reçoit un paquet Hello transmis par un nouveau voisin ou un nœud ne reçoit plus de paquets Hello durant un laps de temps défini.

La phase de découverte des routes par le protocole AODV est la suivante, a la réception d'un paquet de données par la source, elle vérifie dans sa table de routage si une route existe jusqu'à la destination. Si elle existe, le paquet est transmis vers le prochain nœud sinon la phase de découverte des routes est engagée. Le paquet est mis en file d'attente le temps d'obtenir une route puis la source diffuse une requête de création de routes, nommée RREQ. A la réception d'un paquet RREQ, un nœud met à jour la route inverse en direction de la source. Le nœud vérifie, ensuite, s'il connaît une route vers la destination. S'il en possède une, il envoie une requête de réponse, nommée RREP, en direction de la source. Sinon, il diffuse la requête RREQ à ses voisins. Lorsque la requête

RREP transite vers la source, chaque nœud sur le chemin inverse met à jour sa table de routage avec, comme prochain nœud, l'adresse du nœud qui a émis la requête RREP. Le temporisateur de cette entrée dans la table de routage est mis à jour. Ce temporisateur indique qu'une route est toujours active s'il est non nul.

Pour chaque destination d'intérêt, un nœud maintient une unique entrée dans sa table de routage qui contient les champs suivants : adresse de la destination, numéro de séquence de la destination, prochain nœud sur le chemin vers la destination, nombre de sauts et d'autres paramètres relatifs à la route. L'utilisation du numéro de séquence permet de « dater » la route et d'éviter la présence de boucles. Si deux routes existent entre un nœud et la destination, le nœud conserve la route la plus récente. Si les deux routes sont découvertes simultanément, la route avec le plus faible nombre de sauts est conservée.[15]

Le format du paquet RREQ

Adresse source	Source_NS	RREQ_ID (broadcaste ID)	Adresse destination	Dest_NS	Hop_count
----------------	-----------	----------------------------	---------------------	---------	-----------

Figure I.8 Format du paquet RREQ.

Le format du paquet RREP

Adresse source	Adresse destination	Dest_NS	Min(Hop_count)	Life time
----------------	---------------------	---------	----------------	-----------

Figure I.9 Format du paquet RREP.

La phase de maintenance des chemins est réalisée en plusieurs étapes. La première étape consiste en la détection de la perte d'un chemin. Quand un nœud sur un chemin établi se déplace, les routes passant par ce nœud peuvent être rompues. Les nœuds en amont, détectant la perte de connectivité, préviennent les sources affectées en émettant une requête d'erreur, notée RERR. A la réception de ce paquet, le nœud source engage la deuxième étape de la maintenance des routes. Il entame une nouvelle phase de découverte des routes, si un chemin est toujours nécessaire.

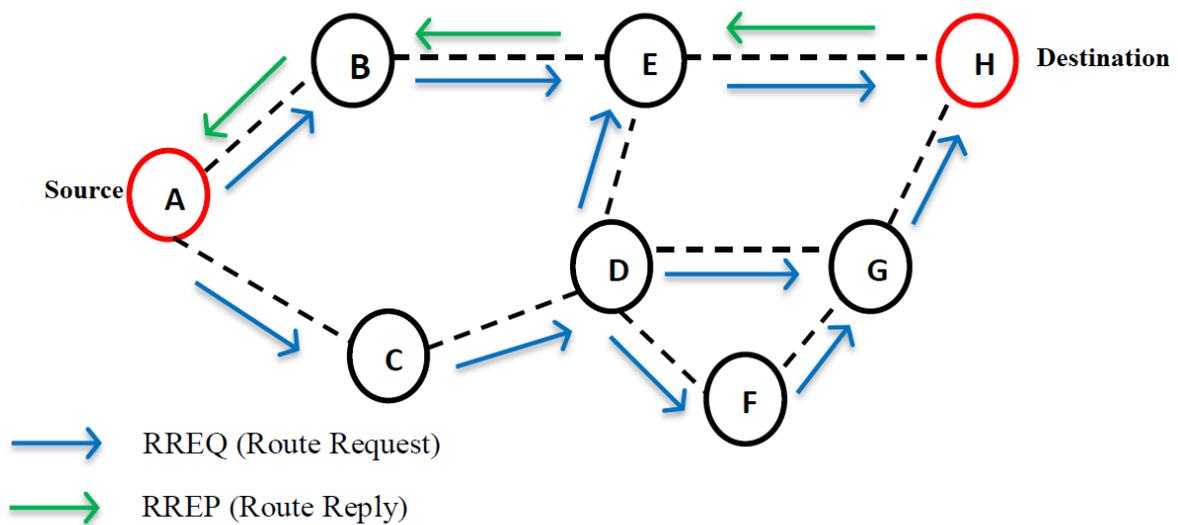


Figure I.10 Principe de fonctionnement du protocole de routage AODV. [16]

I.4.2.3 Le protocole de routages hybrides

Dans cette catégorie on combine entre les deux premiers types de protocoles de routage pour acquérir un temps de réponse plus court en impliquant les avantages des protocoles proactifs et réactifs. Dans le protocole hybride, le réseau est décomposé en petites zones où le routage à l'intérieur de chaque zone est assuré par le protocole proactif, alors que le routage entre les différentes zones est à base du protocole réactif. Le protocole de routage *Zone Routing Protocol* (ZRP) présente un exemple de cette catégorie. [17]

- **Le protocole ZRP (Zone Routing Protocol)**

ZRP est un protocole de routage hybride qui combine les avantages des approches proactives et réactives. Il tire parti du protocole proactif pour trouver le voisinage local d'un nœud ainsi que du protocole réactif pour le routage entre ces nœuds voisins. Dans un réseau ad hoc mobile, on peut supposer que la majeure partie de la communication a lieu entre des nœuds proches les uns des autres. Le ZRP divise l'ensemble du réseau en zones de chevauchement de taille variable. Chaque nœud peut appartenir à plusieurs zones de chevauchement. La taille de la zone est définie par un rayon qui est évalué en nombre de sauts. Chaque zone contient deux types de nœuds : les nœuds périphériques et les nœuds intérieurs. Les nœuds périphériques sont des nœuds situés à la limite de la zone et les nœuds intérieurs sont situés dans le rayon de la zone, sauf le nœud de frontière. Lors de la découverte de route dans **ZRP**, la source vérifie d'abord que la destination est hors de sa zone. Elle envoie alors un paquet de requête à tous les nœuds sur la périphérie de sa zone.

Chacun des nœuds qui reçoivent le paquet de requête lui ajoute son adresse et le Transmet à ses nœuds périphériques, dans le cas où la destination n'est pas dans leur zone de routage. Dans le cas contraire, cas où un nœud identifie la destination comme membre de sa zone, le chef de cette zone envoie un paquet de réponse qui inclut la route complète vers la destination.[18]

❖ Le schéma Ci-dessous résume les protocoles de routage dans les réseaux Ad Hoc selon leur type :

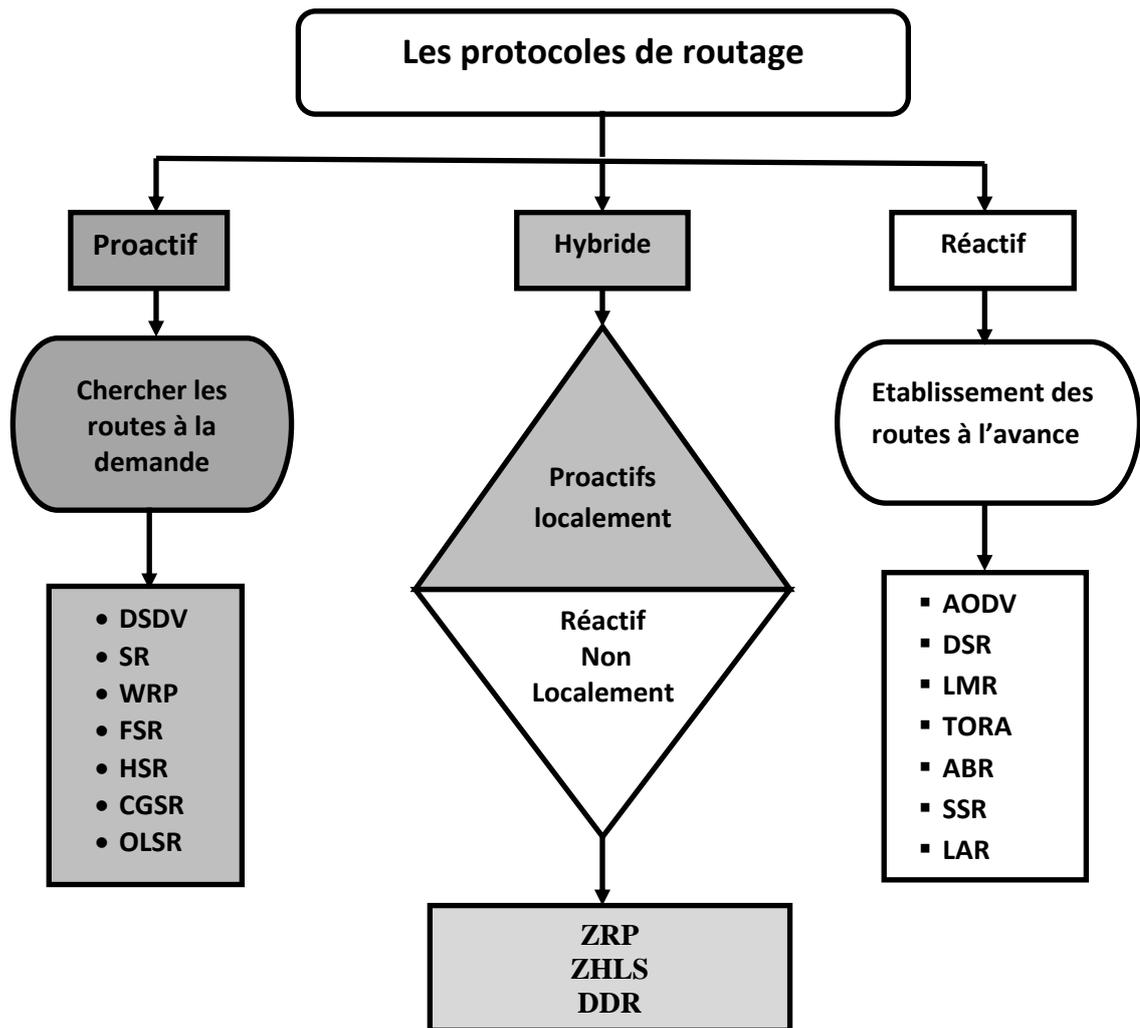


Figure I.11 Classification des protocoles de routage ad hoc.

- ❖ Une comparaison entre les trois classes des protocoles de routage (proactive, réactive et hybride) est représentée dans le (Tableau I.1) suivant:

Protocole	Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
Proactif	Recherche périodique des routes	<ul style="list-style-type: none"> • Rapidité d'établissement des routes. • Adaptés aux réseaux à forte mobilité • Adaptés aux réseaux denses de taille moyenne. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité d'échange du réseau limitée • Trafic de contrôle important • Consommation énergétique importante
Réactif	Routes obtenues à la demande	<ul style="list-style-type: none"> • Trafic de contrôle faible • Adaptés aux grands réseaux • Consommation énergétique réduite 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps long de réaction • Délai nécessaire pour trouver une route
Hybride	Combinaison (proactif -réactif)	<ul style="list-style-type: none"> • Bénéficier des avantages des deux approches précédentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumuler les inconvénients des deux approches précédentes. • Recherche des routes complexes

Tableau I.1 Comparaison entre les types des protocoles de routage. [19]

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux mobiles ad hoc d'une manière générale en indiquant leurs caractéristiques, mode de fonctionnement et leurs domaines d'application. La fonction de routage a pris la grande portion de ce chapitre où nous avons introduit cette fonction, son utilité et ses différents types d'une manière un peu étalée afin de connaître en mieux son évolution et les avantages et les inconvénients de chaque type. Nous avons finalement défini le routage AODV en expliquant son principe de fonctionnement et ses différentes caractéristiques.

II.1 introduction

La théorie des jeux est un domaine des mathématiques appliquées fondé en 1944 par Von Neumann et Oscar Morgenstern dans leur article "Theory of Games and Economic Behavior" [20]. Depuis lors, il a été considéré comme une nouvelle étude avec des applications dans divers domaines, notamment l'économie, l'armée, la biologie et la politique.

La création de modèles mathématiques simples est l'un des objectifs de la théorie des jeux. Ces modèles tentent de synthétiser toutes les parties nécessaires pour expliquer l'interaction, puis proposent des concepts de solutions pour suivre les résultats probables du jeu, puis appliquent ces outils pour mieux gérer les phénomènes considérés.

Ce chapitre cherche à exposer cette idée en approfondissant ses concepts de base.

II.2 Quelques champs d'application de la théorie des jeux [21]

L'application de la théorie des jeux aux sciences politiques porte sur des questions de partage équitable, d'économie publique, de bien-être social moyen, etc. Des modèles théoriques ont été développés dans lesquels les joueurs sont des électeurs des pays, des politiciens ou des lobbies.

En économie, elle sert à anticiper des stratégies financières d'entreprises qui veulent maximiser leurs profits en minimisant les risques à travers l'étude des comportements des firmes concurrentes, du marché, des consommateurs, etc.

En sciences politiques, elle porte sur des questions de partage équitable, d'économie publique, de bien-être social moyen, etc. Des modèles théoriques ont été développés dans lesquels les joueurs sont des électeurs des pays, des politiciens ou des lobbies.

En biologie, l'intérêt est porté sur la notion de fitness (bien-être) et d'équilibres pouvant se maintenir dans le temps. Maynard-Smith et Price développent le concept de 'Evolutionarily Stable Strategy' (ESS). Ainsi sous l'influence de la sélection naturelle, il existerait un certain phénotype comportemental (stratégie) qui, s'il est adopté par la majorité de la population, peut protéger celle-ci de l'invasion d'une population de mutants (individus de phénotypes différents). Des biologistes ont étudié des phénomènes d'organisations spontanées et l'émergence de la communication animale au moyen de jeux de signaux.

En sciences sociales, la théorie des jeux sert à analyser le comportement des populations humaines. L'idée qu'il est possible de prédire le comportement humain à grande échelle a été critiquée car les humains dans les "jeux" se comportent de façon à maximiser leur "bien-être", c'est le modèle de l'homo-économus.

En informatique théorique et logique, La théorie des jeux joue un rôle de plus en plus important en informatique théorique et logique pour formaliser des sémantiques de jeux ou des systèmes multi-agents. La théorie des jeux algorithmiques implique la construction d'algorithmes, une vision informatique de la complexité et l'emploi de la théorie des jeux classique. Pour une application originale à la frontière entre la biologie et la théorie des jeux évolutionnaires, le lecteur peut se reporter aux travaux de Karl Sims sur les Evolved Virtual Creatures par exemple.

Dans le **domaine des télécommunications** et en particulier dans les réseaux sans fil, La théorie des jeux apporte des solutions efficaces en face de plusieurs problématiques existantes et offre aux chercheurs un outil mathématique très puissant qui permet de modéliser des situations très compliquées apparues lors des fonctionnements de tels réseaux, avec la prise en considération de tous les facteurs et éléments agissants dans ces situations.

-Premièrement, les systèmes sans fil deviennent plus compliqués en ce qui concerne la taille du réseau, l'hétérogénéité des protocoles, les variations des services multimédias, les interactions dynamiques et les attaques inconnues. Ces défis ont rendu difficile la modélisation, l'analyse, la prévision et l'optimisation des performances des réseaux sans fil. Dans de tels contextes, la théorie des jeux est en mesure de mieux comprendre les interactions complexes et de concevoir des protocoles plus efficaces, évolutifs et robustes.

-Deuxièmement, les ressources en matière de communications sans fil sont très limitées, comme la bande passante, la puissance et la capacité. Avec le nombre croissant de terminaux d'accès sans fil, la rareté des ressources et, par conséquent, la concurrence entre les utilisateurs mobiles deviennent plus sévères. Cette concurrence pour des ressources limitées correspond étroitement à la logique de la théorie du jeu. Troisièmement, du point de vue de l'ensemble de l'industrie du sans-fil, de plus en plus de technologies sans fil émergent pour offrir des services à haute vitesse, à haute capacité et à haute couverture. Cela exige une gestion et un marketing du spectre intelligents, qui peuvent être résolus dans le cadre théorique du jeu. La théorie des jeux peut être employée à la fois dans les réseaux sans fil basés sur l'infrastructure et dans les réseaux multi-hop, par exemple, les réseaux ad hoc sans fil, réseaux maillés et réseaux de capteurs. Selon les environnements intéressés, les objectifs peuvent inclure la réduction de la consommation d'électricité, l'amélioration de la capacité du système, la diminution de la perte de paquets et l'amélioration de la résilience du réseau. Le modèle théorique du jeu est capable de traiter efficacement l'allocation des ressources, le

contrôle de la congestion, l'attaque, le routage, la gestion de l'énergie, le transfert de paquets et le contrôle d'accès au médium (MAC). [22]

II.3 Les concepts de base de la théorie des jeux

L'étude des situations conflictuelles pouvant survenir entre des agents agissant en interaction est l'objet même de la théorie des jeux. Elle se définit principalement par les idées suivantes :

II.3.1 Un jeu [23]

Un jeu est un ensemble de relations entre décideurs (joueurs). La description du jeu comprend des informations sur les ressources et les préférences de chaque joueur. Les règles qui régissent les interactions entre les joueurs, ainsi que les règles qui régissent les interactions entre les actions des joueurs et les résultats de leurs activités, sont toutes incluses dans la description du jeu. Un jeu a n participants, et chaque participant $I = 1, \dots, n$) choisit un comportement si parmi un ensemble S_i de comportements potentiels. Il calcule alors un gain V_i ($S_1, \dots, S_i, \dots, S_n$), qui est basé sur l'ensemble des comportements (s_1, \dots, s_n) que chaque participant retient. Les n fonctions de gain V_i qui caractérisent un jeu sont ainsi utilisés pour le définir. Les indices d'utilité dont dispose chaque individu $I = 1, \dots, n$ sont :

$$V^i (s^1, s^i, \dots, s^n), s^i \in S^i, i=1, \dots, n$$

II.3.2 Un joueur

Un « joueur » est toute personne ou agent qui joue dans le jeu et qui est capable de prendre une décision. Un joueur est une unité de décision fondamentale qui peut être une personne, un groupe de personnes, une entreprise, un virus, un abonnement, un nœud ou toute autre chose selon le domaine d'action du jeu. L'ensemble des joueurs est noté $I=1,2,\dots, N$, où N est le nombre total de participants au jeu. [24]

II.3.3 Une stratégie

Dans un jeu d'interaction, une stratégie est l'action entreprise par un joueur. En d'autres termes, une stratégie est une description détaillée des actions d'un joueur dans chaque situation donnée. Le concept de stratégie est utile puisque l'action qu'un joueur souhaite entreprendre est fréquemment influencée par les actions d'autres joueurs dans le passé. En vérité, il est rare de pouvoir prévoir les actions d'un joueur à l'avance, mais nous pouvons généralement prévoir comment il réagira aux facteurs externes. Gardez à l'esprit que la stratégie d'un joueur est un ensemble d'instructions à sa disposition qui précisent les actions à entreprendre dans chaque situation donnée. Et ce, même s'il n'avait pas prévu de se trouver dans une telle circonstance. [25]

De manière informelle, nous utilisons S_i pour signifier la stratégie du joueur i , $i \in N$, donc S_i est la règle qui conseille le joueur quelle action choisir à chaque niveau de jeu.

L'ensemble des stratégies (ou espace stratégique) comprenant toutes les tactiques disponibles pour un joueur est appelé S_i . Par conséquent, $S_i = s_i$ et $s = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n) \in S_1 \times \dots \times S_i \times \dots \equiv S_n \equiv S$ est le résultat d'un jeu, et $S = \prod_{i=1}^N S_i$ est une combinaison de stratégies basée sur une stratégie par participant. À l'exception de la stratégie du joueur i , nous utilisons $s_i \in S_i$ pour désigner toutes les stratégies choisies. On distingue deux types de stratégies une stratégie pure et une stratégie mixte. [26]

➤ Stratégie pure

La stratégie pure d'un joueur est un plan d'action qui précise ce que ce joueur doit faire à chaque fois qu'il est susceptible de jouer. L'ensemble des stratégies pures du joueur i est noté S_i , tandis que la stratégie pure de ce joueur est notée s_i .

L'ensemble des stratégies pures du $i^{\text{ème}}$ joueur est noté $S_i = S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{imi}$, où m_i est leur nombre. Le vecteur de combinaison de stratégies tel que :

$$s = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_N) \in S = \prod_{i=1}^N S_i$$

Où S_i désigne la stratégie du $i^{\text{ème}}$ joueur, et s_i désigne l'ensemble des stratégies utilisées par ses adversaires, à l'exception de la stratégie du joueur i . [27]

➤ Stratégie mixte [28]

Une distribution de probabilité sur toutes les stratégies pures du joueur i est une stratégie mixte. Formellement, le joueur I est considéré comme ayant un ensemble S_i de stratégies pures $\{s^i_1, \dots, s^i_I\}$. Ce joueur décide de jouer une stratégie basée sur une loterie. Lors de l'exécution d'un tirage au sort, une stratégie mixte est un vecteur σ^i de probabilité $(\sigma^i(s^i_1), \dots, \sigma^i(s^i_I))$ que le joueur choisit de respecter. Comme I est un vecteur de probabilité, on a :

$$0 \leq \sigma^i(s^i_1) \leq 1, \dots, 0 \leq \sigma^i(s^i_I) \leq 1 \text{ et } \sigma^i(s^i_1) + \dots + \sigma^i(s^i_I) = 1$$

II.3.4 Utilité

Le bénéfice, qu'il soit négatif ou positif, qui découle des activités d'un joueur est appelé utilité. Chaque joueur dans un conflit a le même objectif : maximiser son gain en contribuant aux circonstances sous-jacentes. L'utilité d'un joueur peut être déterminé par des facteurs autres que son niveau de compétence. Non seulement le vôtre, mais aussi celui de tous les autres. De plus, l'utilité d'un jeu varie en fonction de son genre. Il peut avoir une variété d'attributs; par exemple, il pourrait s'agir d'un prix de marché. Nombre de points marqués dans une partie d'échecs, temps nécessaire pour terminer une course et pourcentage de réussite dans une partie

l'école, le salaire d'une entreprise, la dureté d'un mécanisme industriel et la puissance d'une entreprise événement physique, taux d'erreur de transmission numérique, etc. Enfin, un jeu conflictuel est dit en équilibre lorsque tous les joueurs sont satisfaits de la contribution à leur utilité individuelle acquise. Dans la littérature des mots comme gain, profit, paiement, etc. sont utilisés pour décrire l'utilité.

Dans un jeu J , la fonction d'utilité du joueur I est notée $u_i(s) \in \mathbb{R}$. L'utilité du joueur $i \in M$ dépend donc non seulement de sa stratégie S_i , mais aussi des stratégies des autres joueurs sommés dans S_{-i} . Ainsi, si le joueur i préfère strictement le résultat S au résultat S' , on peut écrire : $u_i(s) > u_i(s')$. On dit que le joueur est indifférent entre les deux résultats si $u_i(s) = u_i(s')$. [29]

II.4 Les différents types de jeu

La théorie des jeux se divise en plusieurs divisions selon les critères suivants: le nombre de joueurs, le nombre de stratégies, le type de relation entre les joueurs, le type de gains, la forme des fonctions de gains, le nombre d'étapes dans le jeu et l'état d'information. Il existe différents types de jeux comme suit :

II.4.1 Jeux coopératifs ou non coopératifs

Un jeu est dit coopératif si les participants sont capables de créer des accords contraignants entre eux. Si les nœuds s'accordent sur un lien spécifique pour transporter leurs données tout en libérant les autres liens disponibles, par exemple. Les joueurs sont considérés comme ayant formé une coalition dans cette situation [30]. Le jeu est dit non coopératif lorsque les joueurs n'ont pas la possibilité de créer des coalitions. Nous précisons toutes les possibilités stratégiques offertes aux joueurs dans ce type de jeu, ce que nous ne faisons pas dans les jeux coopératifs. En fait, dans le jeu non coopératif, les participants ne peuvent pas former de coalitions, mais ils peuvent s'entendre sur un ou plusieurs résultats du jeu tant qu'ils ne forment pas un accord juridiquement contraignant. Un jeu non coopératif peut aussi prendre la forme d'un jeu standard (stratégique) ou long [31].

II.4.2 Jeu à information parfaite ou imparfaite

Ce type de jeu est connu comme un jeu d'information parfait puisque les joueurs sont conscients de tout ce qui s'est passé avant de porter leur jugement. Chaque nœud de l'arbre est visible par les participants à cette situation. Cependant, lorsqu'un joueur atteint un point de décision et ne connaît pas toutes les décisions des autres joueurs, nous appelons le jeu un jeu d'informations incomplètes. Afin de décrire les informations sur les joueurs dans cette

situation, nous devons d'abord expliquer le concept d'ensemble d'informations d'un arbre. Ces ensembles représentent les connaissances d'un joueur au moment du mouvement. [32]

II.4.3 jeux répétés

Un jeu ordinaire est un jeu unique en son genre dans lequel tous les joueurs décident de faire quelque chose en même temps. Un jeu répété est un jeu ordinaire joué plusieurs fois de suite (nombre fini de répétitions). Toutes les répétitions du jeu ont les mêmes conditions de jeu, qui incluent le même nombre de joueurs, le même ensemble de stratégies pour chacun, les mêmes fonctions de gain et d'utilité, et les mêmes méthodes de mise à jour quotidienne. Sur la base de l'histoire du jeu, les joueurs déterminent leur meilleure stratégie. La répétition de divers aspects du jeu permet aux joueurs de conditionner leurs choix actuels et futurs sur les précédents, ce qui aboutit à de nouvelles solutions et équilibres (théorème de Folk). [33]

II.4.4 Jeu symétrique ou asymétrique

Un jeu est symétrique lorsque les victoires ou les pertes d'une stratégie sont déterminées uniquement par les actions des autres joueurs, plutôt que par l'identité des autres joueurs. Le jeu est asymétrique si le premier joueur reçoit un gain différent du second pour la même activité réalisée par les joueurs. [32]

II.4.5 Jeu à somme nulle

Les systèmes de paiement des jeux peuvent être classés. Si la somme des utilités dans chaque résultat est constante, le jeu est appelé un jeu à somme nulle. Ce qu'un joueur gagne, les autres joueurs le perdront. Les jeux à somme nulle, souvent appelés jeux purement compétitifs, sont ceux dans lesquels les joueurs ont des préférences polaires opposées. Les jeux dans les télécommunications sont rarement des affaires à somme nulle. Cependant, si un cas simple est étudié, tel qu'une bande passante à liaison unique, le jeu peut devenir un jeu à somme nulle. [15]

II.4.6 Jeu simultané et jeu séquentiel

Nous pouvons également diviser les modèles en deux types en fonction de leur flux. Un jeu simultané (ou stratégique) est une simulation d'une situation dans laquelle chaque participant décide de l'ensemble de son plan d'action en début de partie. En conséquence, toutes les décisions des joueurs sont prises en même temps. En conséquence, le joueur ignore les décisions des autres joueurs lorsqu'il prend les siennes. Un jeu séquentiel, en revanche, décrit le déroulement spécifique du jeu ; chaque participant analyse son plan d'action non seulement en début de partie, mais aussi à chaque fois qu'il doit prendre une décision en cours de partie. Les jeux simultanés sont généralement représentés par une table (la forme normale du

jeu). Lorsque les stratégies des joueurs sont discrètes, c'est très utile ; sinon, le duopole de Cournot est aussi un jeu simultané. Un arbre de jeu est couramment utilisé pour représenter des jeux séquentiels, car il permet une description approfondie de la structure et de la progression du jeu. Cependant, comme nous le verrons plus tard, cette distinction est loin d'être rigoureuse, et nous pouvons utiliser une ou plusieurs des autres formes pour représenter tous les jeux. [33]

II.4.7 Jeu normal ou extensif

- **Jeu normal (stratégique)**

Un jeu normal ou stratégique est un jeu dans lequel les joueurs interviennent tous en même temps en un seul coup. Il est représenté par un tableau qui montre les bénéfices des participants pour chacun des résultats possibles. La forme normal englobe toutes les combinaisons de stratégie possibles s_1, s_2, \dots, s_p dans laquelle p est le nombre de combinaisons stratégiques disponibles, ainsi que les fonctions de paiement associées à chaque $s_i u_i, (i = 1, 2, \dots, p)$ est le n-vecteur des paiements.

- ✓ **Exemple (Papier-Ciseaux-Caillou) [33]**

C'est un jeu entre deux personnes Brahim et Mohamed qui vont choisir simultanément un objet parmi les trois objets suivants : papier, ciseaux et caillou. Selon ces choix, soit un enfant gagne le jeu, soit il n'y a pas de gagnant (ce dernier cas apparaît s'ils choisissent le même objet). Caillou gagne contre ciseaux, ciseaux gagne contre papier et papier gagne contre caillou. Soit 2 le gain de l'enfant qui gagne, 0 le gain de celui qui perd et 1 les gains en cas d'égalité. Le jeu est représenté sous forme normale dans le tableau II.1.

		Mohamed		
		Papier	Ciseaux	Caillou
Brahim	Papier	(1,1)	(0,2)	(2,0)
	Ciseaux	(2,0)	(1,1)	(0,2)
	Caillou	(0,2)	(2,0)	(1,1)

Tableau II.1 La forme normale du jeu Papier-Ciseaux-Caillou.

- **Jeu extensif**

Les jeux sous forme normale donnent une représentation adéquate de joueurs effectuant des choix de stratégies simultanés. Dans ces jeux, aucun joueur n'a d'information sur les stratégies utilisées par les autres au moment de faire ses choix. Dans de nombreux cas concrets, les joueurs effectuent leurs choix en fonction d'une situation observée qui dépend en particulier

des choix précédents des autres joueurs. Par exemple c'est le cas pour une enchère croissante, dans une négociation, ou dans le jeu d'échecs...

Pour représenter ces possibilités, nous allons généraliser la représentation sous forme d'arbres et les ensembles d'information vus au chapitre de la décision dynamique. La seule différence est que nous avons plusieurs joueurs l'a ou nous n'avons qu'un seul agent. [21][27]

✓ **Exemple : (Pile ou face) [21] [27]**

Le joueur 1 choisit pile ou face, puis le joueur 2 choisit pile ou face. Le joueur 2 gagne si les choix sont égaux, et perd si les choix sont différents (c'est un jeu à somme nulle). On représente ce jeu par l'arbre de la **figure II.1** :

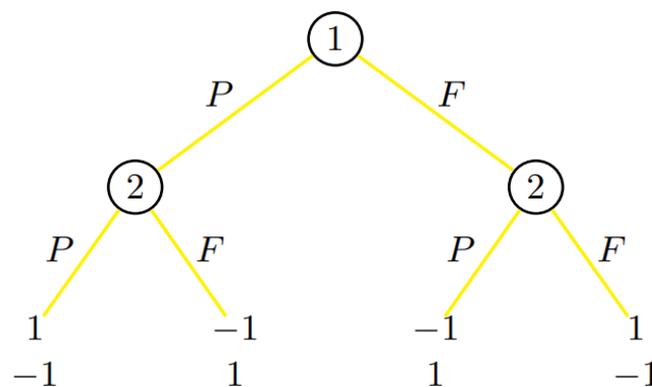


Figure II.1 La forme extensif du jeu Pile ou Face.

II.5 L'équilibre

L'équilibre de jeux est un élément de base dans la théorie des jeux, car c'est le point fort qui conduit à stabiliser le jeu stratégique en satisfaisant tous les joueurs de point de vue utilité. Un équilibre est une situation où chaque joueur se trouve avoir joué au mieux, pour son propre critère et en considérant comme fixés les choix des autres. C'est donc une situation qui est stable, dans la mesure où aucun joueur, même si les stratégies de ses adversaires lui sont révélées, ne désirera la modifier. [34]

Si on désigne par S_i^* la stratégie d'équilibre du joueur i . Alors, un équilibre S^* qui est une combinaison de stratégies constituée d'une meilleure stratégie pour chacun des N joueurs du jeu, est peut-être définis comme suit:

$$S^* = (S_1^*, \dots, S_i^*, \dots, S_N^*)$$

II.5.1 Résolution des jeux par élimination des stratégies dominées

Une stratégie dominante pour un joueur est une stratégie qui lui donne toujours un gain supérieur ou égal au gain qu'il peut attendre de toutes ses autres stratégies quelles que soient les stratégies des autres joueurs. Ainsi, Une stratégie dominante domine toutes les autres stratégies. Alors il semble raisonnable de tenter de résoudre les jeux en éliminant les mauvaises stratégies pour chaque joueur.

- **Définition II.1 [24]** : On dit que la stratégie $s_i \in S_i$ est une **stratégie dominante**, si :

$\forall s'_i \in S_i, \forall s_{-i} \in S_{-i}$, on a :

$$u_i(s_i, s_{-i}) \geq u_i(s'_i, s_{-i}) \quad (II.5)$$

La stratégie $s_i \in S_i$ est dominante pour le joueur i , si s_i domine s'_i .

- **Définition II.2 [24]** : Une situation $s^* = (s_1^*, \dots, s_i^*, \dots, s_N^*)$ est appelée **équilibre en stratégies dominantes** pour le joueur i , si : $\forall s'_i \in S_i, s'_i \neq s_i^*, \forall s_{-i} \in S_{-i}$, on a

$$u_i(s_i^*, s_{-i}) \geq u_i(s'_i, s_{-i}) \quad (II.6)$$

- **Définition II.3 [35]** : Une stratégie s_i est une meilleure réponse aux stratégies des autres joueurs, si l'ensemble de toutes les stratégies dont chacune est une meilleure réponse à s_{-i} . Alors une stratégie est dominante, si elle est une meilleure réponse à n'importe quelle stratégie que les autres joueurs choisissent, y compris leurs stratégies d'équilibre.

Ce type d'équilibre nous fournit une prédiction très claire et intuitive du résultat d'un jeu. Malheureusement, ce type n'existe que pour très peu de jeux. Nous devons donc, introduire d'autres concepts d'équilibre pour pouvoir prédire la solution de différents types de jeux. Il existe plusieurs concepts d'équilibre, cependant l'équilibre de Nash est le plus applicable et le plus utilisé en théorie des jeux.

II.5.2 Equilibre de Nash

John Nash a développé une méthode pour solutionner les jeux avec interactions appelée "équilibre de Nash". Il décrit une issue dans laquelle aucun joueur ne souhaite modifier son comportement étant donnée la stratégie de chacun de ses rivaux tels qu'aucun joueur ne peut obtenir un gain supplémentaire en changeant unilatéralement de stratégies. Dans l'équilibre de Nash, le joueur n'est pas forcément heureux des stratégies des autres joueurs, mais sa stratégie est la meilleure réponse de ses actions. Les joueurs dans l'équilibre de Nash sont toujours non coopératifs. [29,36]

Définition [19,20] : Un *équilibre de Nash* est un ensemble de stratégies (une par joueur) tel qu'aucun joueur ne peut obtenir un gain supplémentaire en changeant unilatéralement de stratégie.

Formellement Un profil $s^* = (s_1^*, \dots, s_n^*) (s_i^* \in S_i, i = 1 \dots n)$ est *un équilibre de Nash* si aucun joueur n'a intérêt à dévier unilatéralement de sa stratégie s_i^* quand les autres joueurs continuent à jouer le profil s_{-i}^* . Par conséquent nous devons avoir :

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i, s_{-i}^*), \forall s_i \in S_i, \forall i = 1, \dots, n$$

Un équilibre de Nash est une convention sur l'issue du jeu entre les joueurs. On considère le jeu suivant décrit dans la figure

	L	C	R
T	0,4	4,0	5,3
M	4,0	0,4	5,3
B	3,5	3,5	6,6

Tableau II.2 Equilibre de Nash.

Pour trouver l'équilibre de Nash on cherche à trouver les meilleures réponses à chaque stratégie possible. Dans notre exemple, l'équilibre de Nash correspond à la solution « B, R ». Le joueur choisit sa meilleure stratégie disponible en prenant compte les actions possibles de son adversaire, il construit une croyance sur le jeu de son adversaire, cette croyance et l'issue de son expérience passée du jeu, et qui lui permette même de connaître le comportement de son adversaire.

Un équilibre de Nash est une action (a^*) avec une propriété que chaque joueur (i) ne peut mieux faire en choisissant une action différente de (a_i^*). Étant donné que les autres joueurs (j) s'adhère a (a_j^*). Un équilibre de Nash correspond en un état constant, stable, chaque fois que le jeu est joué, c'est le même équilibre de Nash, les joueurs n'ont pas de raison pour choisir une autre action et dévier de l'équilibre Étant donné que tous les joueurs ne veulent pas dévier de la situation actuelle, donc la combinaison de stratégie est un équilibre de Nash.

$$V_i, \pi(S_i^*, S_{-i}^*) \geq \pi(S_i', S_{-i}^*) V S_i'$$

À l'équilibre de Nash chaque choix stratégiques d'un joueur et optimale étant donné que chaque autre joueur choisit leurs stratégies d'équilibre. Dans chaque jeu de nombre finis de joueurs et de stratégie, il existe au moins un équilibre de Nash.

Dans un jeu strictement compétitif, la condition pour qu'un couple de choix stratégique soit un équilibre de Nash est qu'il constitue un point de selle de la forme stratégique du jeu.

II.6 Conclusion

La théorie des jeux est une théorie mathématique qui permet d'étudier des situations dans lesquelles les participants sont en dépendance stratégique et en interaction. Le but de cette théorie est de formaliser ces interactions afin d'aider les joueurs à choisir la meilleure stratégie. Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts fondamentaux de la théorie des jeux ainsi que les différentes sortes de jeux qui peuvent survenir en fonction de la situation en exercice. Le concept d'équilibre est crucial dans l'application de la théorie des jeux, c'est pourquoi nous l'avons longuement développé. L'existence de l'équilibre dans un modèle explique la possibilité de solutionner les éventuelles situations de conflits et de pouvoir ainsi mener le système pour fonctionner à son état d'équilibre en bénéficiant de beaucoup d'avantages et en garantissant un fonctionnement durable avec une stabilité plus longue. Au cours du chapitre, plusieurs exemples simples et clairs sont proposés pour renforcer la compréhension de certaines idées de la théorie des jeux et pour aider le lecteur à comprendre le principe et le mode d'emploi de la théorie des jeux.

III.1 Introduction

Depuis plus d'un demi-siècle, la théorie des jeux a révolutionné l'économie et a découvert de nombreuses applications importantes dans les domaines de la politique, de la sociologie, de la psychologie, des communications, du contrôle, de l'informatique et des transports. Au cours de la dernière décennie La théorie des jeux a montré son importance utilité dans de nombreux domaines des télécommunications. Particulièrement dans les réseaux mobiles Ad Hoc où les utilisateurs sont généralement de nature égoïste et ont tendance à maximiser leurs propres performances, quelle que soit la façon dont cette maximisation affecte les autres utilisateurs du réseau, donnant lieu par la suite à des scénarios concurrentiels. Gardez à l'esprit que certains scénarios nécessitent une collaboration entre les utilisateurs du réseau pour améliorer les performances. Ces circonstances ont conduit les chercheurs et les ingénieurs à appliquer les méthodes de la théorie des jeux pour caractériser la concurrence et la coopération dans les réseaux ad hoc. En fait, la théorie des jeux a été appliquée pour résoudre de nombreux problèmes dans les réseaux ad hoc.

Dans ce chapitre, la première partie cite plusieurs applications différentes de la théorie des jeux dans les réseaux de communication, puis les avantages et les défis de l'application de la théorie des jeux pour résoudre des problèmes spécifiques liés aux réseaux ad hoc, et donne quelques exemples. L'essentiel du travail consiste à impliquer un algorithme d'apprentissage basé sur la théorie des jeux pour optimiser le routage dans les réseaux ad hoc afin d'éviter la surcharge sur les nœuds et minimiser la congestion dans le réseau.

III.2 Applications de la théorie des jeux dans les réseaux de communication

L'application de la théorie des jeux est motivée par les diverses circonstances de partage créées par l'introduction d'une large classe d'applications sans fil. Certaines de ces applications sont répertoriées ci-dessous [40].

- **Radios cognitives :** Dans les réseaux sans fil d'aujourd'hui, l'allocation des ressources se fait en allouant de manière statique des bandes de spectre aux utilisateurs sous licence (également appelés utilisateurs principaux) pour une utilisation à long terme. Cependant, du fait que le spectre attribué est parfois sous-utilisé, plusieurs bandes spectrales restent inoccupées. Il en résulte des trous spectraux ou des bandes spectrales sous-utilisées. Les utilisateurs sans licence (parfois appelés utilisateurs secondaires) qui n'ont pas encore été affectés à des bandes de spectre sont confrontés à un défi. A cet effet, la radio cognitive est un nouveau paradigme qui permet une utilisation plus efficace du spectre. Les nœuds d'un réseau radio cognitif identifient le spectre

entièrement ou partiellement inoccupé et le partagent avec des utilisateurs secondaires sans affecter les performances des transmissions principales. La mise en œuvre des radios cognitives dans les réseaux sans fil se heurte à un certain nombre d'obstacles qui nécessitent l'utilisation d'une variété de méthodes d'analyse de la théorie des jeux telles que les jeux non coopératifs et la conception de mécanismes. Le spectre peut, par exemple, être accédé par un certain nombre d'utilisateurs non coopératifs sans licence ou échangé entre des utilisateurs avec et sans licence.

- **Communication coopérative :** L'étude des scénarios coopératifs dans les réseaux sans fil a récemment gagné en popularité. Il a été démontré qu'en travaillant ensemble, les performances du réseau sans fil peuvent être grandement améliorées. En conséquence, la communication coopérative devient rapidement une technologie de base dans les nouvelles générations de réseaux sans fil, et elle a déjà été implémentée dans un certain nombre de normes, y compris la famille de réseaux à large bande *IEEE 802.16 (Wimax)*.

L'introduction de la communication coopérative dans les réseaux sans fil se heurte à un certain nombre d'obstacles (élaboration de stratégies coopératives autonomes et distribuées, analyse des interactions des utilisateurs, etc.) qui ne peuvent être résolus qu'à l'aide de méthodes d'analyse solides et rigoureuses comme la théorie des jeux.

- **Communication autonome dans des réseaux hétérogènes :** Il existe actuellement une variété de normes de réseau sans fil (UMTS, LTE, WIMAX, etc.), chacune avec son ensemble unique de caractéristiques. Par conséquent, des dispositifs sans fil capables de fonctionner de manière autonome dans des contextes hétérogènes sont nécessaires, facilitant l'interopérabilité entre ces protocoles sans fil. Les communications autonomes ont les objectifs suivants :
 - 1) Fournir des algorithmes distribués qui peuvent alléger le fardeau de la gestion de réseaux complexes et hétérogènes.
 - 2) Fournir des réseaux auto-configurables, auto-organisés et capables d'apprendre et de s'adapter à leurs environnements à grande échelle (changements de topologie, de technologies, d'exigences de service, etc.).

De toute évidence, la théorie des jeux est l'outil naturel pour atteindre ces objectifs de communication autonome.

- **Réseau multimédia sans fil mobile** : avec la nécessité de prendre en charge les applications multimédias, les réseaux sans fil doivent être conçus pour fournir une qualité de service garantie et des communications multimédias fiables. Dans ce cas, l'utilisateur multimédia peut avoir des exigences de QoS hétérogènes que l'algorithme de gestion des ressources radio doit gérer correctement. Dans ce contexte, la théorie des jeux peut être appliquée aux réseaux multimédias sans fil pour fournir une solution juste et efficace pour le partage des ressources sans fil entre les utilisateurs multimédias mobiles.

III.3 La théorie des jeux et les réseaux ad hoc

III.3.1 Avantages de l'application de la théorie des jeux dans les réseaux ad hoc

La théorie des jeux offre plusieurs avantages comme outil d'analyse des algorithmes et des protocoles des réseaux ad hoc. Nous soulignons trois de ces avantages [41] :

- **Analyse des systèmes distribués**

Dans la théorie des jeux, les nœuds de réseau effectuent des ajustements indépendants afin que vous puissiez examiner leur existence, leur unicité et leur convergence à un point de fonctionnement à l'état stable. Il sert donc d'outil fort pour une analyse rigoureuse des protocoles distribués.

- **Optimisation par couche croisée**

Les jeux en réseau ad hoc prennent souvent des décisions concernant les nœuds d'une couche particulière dans le but d'optimiser les performances de plusieurs autres couches. Avec une formulation appropriée de l'espace d'action, l'analyse de la théorie des jeux peut fournir des informations sur les approches pour l'optimisation des couches croisées.

- **Conception de mécanismes d'incitation**

La conception de mécanismes est un domaine de la théorie des jeux lié au développement de mécanismes incitatifs qui conduisent systématiquement des participants indépendants et intéressés aux résultats souhaités. Ceci est particulièrement utile lors de la conception de régimes d'incitation pour les réseaux ad hoc.

III.3.2 Les défis de l'application de la théorie du jeu aux réseaux ad hoc

L'analyse des performances des réseaux ad hoc à l'aide de la théorie des jeux présente des défis. Nous nous concentrerons sur trois domaines particulièrement ambitieux.

- **Hypothèse de rationalité**

La théorie des jeux est fondée sur l'hypothèse que les joueurs agissent rationnellement, au sens où chaque joueur a une fonction objective qu'il tente d'optimiser compte tenu des

contraintes imposées à ses choix d'actions par des conditions du jeu. Bien que les nœuds d'un réseau ad hoc puissent être programmés pour agir de manière rationnelle, le résultat en régime permanent d'un comportement rationnel n'a pas besoin d'être socialement souhaitable. En effet, une contribution majeure de la théorie des jeux est qu'elle montre formellement qu'un comportement individuellement rationnel et maximisant les objectifs ne conduit pas nécessairement à des états optimaux. [41]

L'hypothèse de rationalité parfaite ne reflète pas fidèlement le comportement observé empiriquement dans certains cas pratiques (par exemple, l'existence généralisée de réseaux de partage de fichiers peer-to-peer sans système de punition/récompense). .. Les travaux de [42] sont considérés comme une extension du concept d'équilibre de Nash pour modéliser avec précision les nœuds qui s'écartent légèrement du comportement optimal attendu. Cette forme de rationalité affaiblie est appelée quasi-rationalité.

- **Les scénarios réalistes nécessitent des modèles complexes**

La nature dynamique des réseaux ad hoc provoque des failles et du bruit dans les actions observées par le nœud. Ces imperfections nécessitent d'être modélisées dans des jeux assez complexes et/ou des jeux de surveillance incomplets avec des informations incomplètes. De plus, la modélisation de l'interaction entre les protocoles à différentes couches avec des modèles de canaux sans fil implique une analyse mathématique complexe et parfois non linéaire.

- **Choix des fonctions d'utilité**

Il est difficile d'évaluer comment un nœud évalue différents niveaux de performance et quels compromis il essaie de faire. Le problème est exacerbé par l'absence d'un modèle analytique qui associe les actions disponibles de chaque nœud à des métriques de haut niveau telles que le débit.

III.3.3 Quelques applications de la théorie des jeux dans les réseaux Ad hoc

III.3.3.1 Le jeu de contrôle de puissance

Dans les réseaux cellulaires, la puissance de transmission optimale dans un canal de transmission est normalement établie par la station de base (ou le point d'accès au réseau) et envoyée sous forme de message de contrôle à tous les utilisateurs (mobiles) du réseau ; ce défi est connu sous le nom de contrôle centralisé de l'alimentation.

Les réseaux ad hoc étant décentralisés (pas de station de base), chaque mobile agit comme une station de base et détermine sa meilleure puissance d'émission, appelée contrôle de puissance distribuée.

Contrairement aux réseaux avec infrastructure, les algorithmes gèrent l'alimentation dans les réseaux ad hoc. Plusieurs variables doivent être prises en compte lors de la sélection d'un algorithme distribué pour un réseau, notamment les performances en régime permanent, la convergence, la complexité, la stabilité et l'interaction avec le comportement des autres couches. Ce sont quelques-uns des sujets brûlants dans le domaine du contrôle de puissance distribué et de la théorie des jeux en ce moment.

- **Cas des liens simples**

Un jeu de forme normale est utilisé pour illustrer le problème de contrôle de puissance dans [42]. En démontrant une technique de contrôle de puissance distribuée pour les réseaux 802.11. Les auteurs prévoient une variété de niveaux de puissance et combinent la signalisation requise pour l'échange de trames RTS-CTS-DATA-ACK. Voici la définition de ce modèle :

- Les nœuds mobiles sont les acteurs, et chaque nœud entretient un lien simple avec sa cible v_i (un lien est dit basique s'il ne peut délivrer qu'un seul paquet à la fois).
- L'ensemble des stratégies est représenté par les niveaux de puissance. Chaque nœud communique avec ses voisins, en sélectionnant un niveau de transmission pour chacun afin d'atteindre l'intensité de signal minimale requise pour des performances satisfaisantes.
- La qualité de transmission du nœud i au nœud v_i est la fonction d'utilité spécifiée. Le rapport signal sur interférence plus bruit (SINR) dans v_i est utilisé pour le calculer, tel que ;

$$u_i(p_1, \dots, p_N) = - \left[\hat{\gamma}_i - \frac{h_{iv_i} p_i}{\sigma_{v_i} + \sum_{j \in I, j \neq i} h_{jv_i} p_j} \right]^2 \quad (\text{III.1})$$

Où

$\hat{\gamma}_i$: est la fonction SINR du *i*ème joueur.

σ_{v_i} : est le bruit au niveau de la destination.

En résolvant le système linéaire, les auteurs démontrent l'existence de l'équilibre de Nash.

- **Cas des liens MIMO**

Dans [43], Liang et Dandekar examinent comment caractériser et gérer les interférences dans les réseaux ad hoc sans fil utilisant des techniques d'accès multiples MIMO (un mobile peut transmettre et recevoir plusieurs paquets de données en même temps sur un canal MIMO). Même si leurs puissances de transmission sont considérables, certaines lignes ont des vitesses

de transmission de données très faibles en raison de mauvaises caractéristiques de canal. Pour éliminer les interférences à double canal et améliorer l'efficacité énergétique, une technique d'arrêt de liaison est proposée. Cette stratégie est modélisée comme un jeu non coopératif, Comme suit:

- L'ensemble des joueurs est constitué l'ensemble des liens MIMO, $I = \{1, 2, \dots, N\}$, N : est le nombre des antennes de $i^{\text{ème}}$ mobile.
- L'ensemble des actions d'allocation de puissance dans le $i^{\text{ème}}$ lien sont pour isoler l'action du lien à un certain temps τ .
- L'utilité est la mesure de la du gain qu'un lien peut obtenir en utilisant le canal, chaque émetteur calcule sa propre capacité de liaison et tente d'optimiser sa fonction d'utilité qui est donné par l'équation :

$$u_i = C_i - \gamma_i \quad (\text{III.2})$$

Ou

γ_i : est le facteur de scalairisation pour que p_i et C_i aient les mêmes unités,

C_i : est le débit réalisable du lien,

p_i : est la puissance de transmission du lien.

En fait, pour éviter une transmission d'énergie inefficace dans des conditions de canal médiocres, la théorie des jeux a incorporé un mécanisme pour fermer les connexions inefficaces. Il a été démontré que la combinaison du procédé avec le mécanisme de terminaison de liaison permet à un réseau MIMO ad hoc d'atteindre une efficacité énergétique et une capacité de système supérieures.

III.3.3.2 Le jeu de l'adaptation de la forme d'onde

L'adaptation de la forme d'onde dans les réseaux ad hoc est le processus par lequel un nœud sélectionne une forme d'onde pour minimiser les interférences au niveau du récepteur. La corrélation de la forme d'onde d'un mobile avec les formes d'onde d'autres mobiles du réseau détermine les interférences au niveau du récepteur.

Dans [42,44], ce problème est modélisé comme un jeu. De plus, les nombreux nœuds engagés dans la transmission manquent souvent ou ont une connaissance limitée de l'environnement d'interférence du récepteur. Voici comment le jeu est structuré :

- L'ensemble des joueurs est constitué des utilisateurs (les nœuds mobiles) ;
- L'ensemble des stratégies représentent les formes d'ondes de chaque jeu ($\omega_{1,2,\dots,N}$) ;
- La fonction d'utilité est la fonction d'interférence qui est définie comme suit :

$$u_i(\omega_i, \omega_{-i}) = f_1(\omega_i) - \sum_{j=1, j \neq i}^N f_2(I(\omega_j, \omega_i), P_j P_i h_{ji}) - \sum_{j=1, j \neq i}^N \gamma_{ij} f_3(I(\omega_j, \omega_i), P_i P_j h_{ij})$$

(III.3)

Où

- La fonction f_1 mesure le bénéfice lié au choix particulier de la forme ω_i .
- La fonction f_2 mesure l'interférence du joueur i aperçue au nœud de réception due aux autres utilisateurs présents dans le système.
- I : Est la fonction qui mesure la corrélation entre les formes ω_j et ω_i .
- La fonction f_3 mesure l'interférence aux récepteurs causés par un utilisateur particulier avec d'autres utilisateurs dans le réseau
- γ_{ij} : Est le facteur de poids

Dans ce jeu, l'auteur a fourni une technique d'adaptation de forme d'onde et a démontré qu'il existe un certain nombre de jeux alternatifs qui conduisent à la convergence : en jouant leur meilleure réponse, les joueurs sont assurés de converger vers un NE. Il a ensuite démontré que l'utilisation de cette technique réduit les perturbations du réseau tout en garantissant l'équité de l'allocation des ressources.

III.3.3.3 Le jeu de partage du spectre radio

Comment partager le spectre disponible limité entre les appareils sans fil est la difficulté du partage du spectre radio. Sa simulation prend la forme d'un jeu coopératif. La bande passante disponible est répartie uniformément entre de nombreux canaux à l'aide de cette méthode. Chaque nœud peut transmettre dans n'importe quelle combinaison de canaux à tout moment, et chaque canal peut avoir sa propre puissance de transmission [42]. Soit

$x = \{1, 2, \dots, K\}$ le nombre de canaux accessibles, et B la largeur de bande de fréquence. La largeur de chaque canal est alors déterminée par B/K .

Le jeu associé au partage du spectre est formulé comme suit :

- $I = \{1, 2, \dots, N\}$: est l'ensemble des émetteurs (joueurs).
- $P_i = \{p_i = (p_i^1, \dots, p_i^k), p_i^k \geq 0, k \in x, \sum_{k \in x} p_i^k < P_{max}\}$: est l'ensemble des stratégies ou p_i^k est la puissance de transmission du $i^{\text{ème}}$ mobile sur le $k^{\text{ème}}$ canal.
- La fonction objective d'un joueur représente la capacité de transmission de Shannon (taux de transmission) du joueur sur tous les canaux disponibles. Elle est définie par la relation suivante :

$$C_i(p_1, \dots, p_i, \dots, p_N) = \frac{B}{K} \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{h_{ii}^k p_i^k}{\frac{\sigma^2}{K} \sum_{j \neq i} h_{ji}^k p_j^k} \right) \quad (\text{III.4})$$

Où

P_{\max} : est la puissance maximale de transmission.

σ^2 : est le bruit sur la bande de fréquences.

h_{ji} : est le taux de succès de transmission des paquets en utilisant le lien de j vers i ($h_{ji} \in [0, 1]$).

L'auteur montre que dans des environnements fortement perturbés, l'utilité du jeu n'est pas convexe, rendant certaines affectations optimales impossibles à réaliser avec des stratégies pures, et que lorsque le nombre de chaînes disponibles augmente, l'espace d'utilité devient presque convexe, permettant d'obtenir des allocations optimales avec stratégies optimales. Ensuite, il recommande d'adopter la solution de négociation Nash, démontrant qu'elle atteint un bon équilibre entre équité et efficacité tout en utilisant moins de canaux. Enfin, l'auteur présente une technique de partage de spectre distribué qui peut produire des affectations raisonnablement proches de la solution d'équilibre de Nash.

III.3.3.4 Le jeu du contrôle d'accès au medium

Dans les réseaux sans fil, le support de communication (porteuse) est le spectre radio (une bande de fréquences). Cette ressource est divisée en canaux physiques, chacun étant dédié à un type de communication. Étant donné que le nombre de canaux est bien inférieur au nombre de communications potentielles, plusieurs mobiles tenteront d'accéder au même canal radio, ce qui entraînera une collision et la perte de tous les paquets. La difficulté de gérer cette ressource est connue sous le nom de contrôle d'accès au support.

Plusieurs études ont utilisé des approches de la théorie des jeux pour résoudre ce problème. Nous nous appuyons sur le travail de Mackenzie et Wicker [45], qui ont utilisé un jeu récurrent d'informations parfaites pour les utilisateurs égoïstes pour imiter le problème de l'accès aléatoire aux **slotted Aloha**. Les utilisateurs de cette étude souhaitent transmettre le plus d'informations possible. Si plusieurs utilisateurs tentent de transmettre en même temps, toutes les tentatives échoueront. De plus, les efforts de transmission bâclés peuvent être énergivores. Le temps est divisé en courts intervalles appelés créneaux dans la procédure SALOHA. Soit $G(N)$ l'ensemble produit par N utilisateurs :

- L'ensemble des joueurs est constitué des utilisateurs ;
- A chaque étape de (N) , chacun des joueurs doit prendre une décision qui peut être: $S_i = \{T: \text{Transmettre}, w: \text{Attendre}\}$, Si un joueur décide d'émettre (T) et que le reste décide d'attendre (W), le joueur qui émet recevra un gain de 1 et chacun des autres

joueurs $(N-1)$ jouera le $(N-1)$ au cours de la prochaine période. Si aucun utilisateur ne transmet (tous jouent) ou plus d'un utilisateur transmettent (jouent t) tous les joueurs participeront au jeu (N) au cours de la prochaine période. Les joueurs auront une valeur du gain aux étapes postérieures, inférieure à celle du gain courant. Ceci est représenté par un facteur de dégradation $\delta < 1$.

- La fonction utilité est u_i , représente le débit du $i^{\text{ème}}$ utilisateur dans le jeu (N) et k la variable aléatoire qui représente le nombre d'utilisateurs qui transmettent dans un slot donné ; alors pour $N=1$ le joueur doit transmettre et obtenir l'utilité $u_{i,1}=1$, Pour $N>1$ on exprime u_i en fonction de l'action du joueur $S_i = \{T, W\}$:

$$u_{i,N}(S_i) = \begin{cases} \frac{p(k=0)}{1-\delta p(k>0)} & \text{si } S_i = T \text{ (Transmettre)} \\ \frac{\delta p(k=1)}{1-\delta p(k \neq 1)} u_{i,N-1} & \text{si } S_i = W \text{ (Attendre)} \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

MacKenzie et Wicker montrent qu'il y a toujours une approche d'équilibre pour ce jeu. Ils montrent en outre que pour une valeur donnée de c , le débit global atteint dans ce jeu, avec des utilisateurs présumés égoïstes et faisant des jugements indépendants, peut être égal au débit global maximal d'un système Aloha à créneaux dans lequel la décision de transmettre sur un slot est déterminé de manière centralisée. Cette analyse du contrôle d'accès au support révèle la tarification des décisions dispersées (par opposition à celles gérées par une station de base ou un point d'accès), ainsi que l'effet des modèles de canaux alternatifs sur le débit global prévu pour l'accès aléatoire.

III.3.3.5 Le jeu d'expédition des paquets

La théorie des jeux peut être utilisée pour aider un nœud à déterminer s'il doit ou non transmettre un paquet qu'il a reçu. Dans un réseau ad hoc, un nœud source communique avec sa destination soit directement s'il se trouve dans sa portée de communication, soit indirectement via des voies multi-sauts (via des nœuds intermédiaires) s'il ne l'est pas. Dans un réseau ad hoc, le développement de voies multi-sauts est basé sur le transfert de paquets depuis d'autres nœuds. M. Naserian et al. Proposent une solution basée sur la théorie des jeux pour le transfert de paquets appelée FDG (Forwarding Dilemma Game) [46] afin de réduire le nombre de messages diffusés. Cette technique conduit à l'élimination des nœuds égoïstes et à la coordination des nœuds du réseau ad hoc. Ici, un jeu de l'expédition est défini comme suite:

- Les nœuds ce sont les joueurs du jeu.
- Chaque joueur i , possède deux stratégies $S_i = \{0, 1\}$, (transmet le paquet) ou le (supprimer).

- U_i est la fonction d'utilité du nœud (joueur) i . Comme dans un jeu de contributions volontaires, chaque membre d'un groupe doit décider s'il souhaite faire une contribution coûteuse qui profite à tous les membres du groupe ou s'il doit compter sur les contributions des autres, et présenté comme suit :

$$U_i(S) = \begin{cases} G_i - f(c_i), & \text{si } S_i = 1 \\ G_i, & \text{si } S_i = 0, \text{ et } \exists S_j = 1 \text{ pour } j \neq i \\ 0, & \text{si } S_j = 0 \text{ pour tout } j \end{cases} \quad (\text{III.6})$$

Où G_i et (c_i) sont : la fonction de gain et de coût pour le nœud arbitraire i .

La stratégie mixte de l'équilibre de Nash du jeu, qui est employée pour fournir la probabilité de transmission des messages d'inondation, est contrôlée par trois paramètres suivants :

$$p = 1 - \left(\frac{C}{G}\right)^{\frac{1}{N-1}} \quad (\text{III.7})$$

- N : est le nombre de joueurs voisins de l'expéditeur (nombre de nœud qui reçoit les paquets diffusés),
- C : est le coût du transfert. Et
- G : est le facteur de gain du réseau.

Ceci est utilisé pour déterminer si le message doit être transmis ou supprimé, réduisant ainsi la quantité de messages de contrôle.

Les auteurs ont démontré que l'AODV avec FDG surpasse l'AODV traditionnel, en particulier dans les réseaux encombrés où la surcharge de routage est un facteur majeur affectant les performances du réseau (débit, retard, passage, etc.). Ce jeu peut être utilisé pour tester une large gamme de protocoles de routage qui utilisent l'inondation comme méthode préliminaire de découverte de route.

III.4 Etude du routage dans les réseaux ad hoc par la théorie de jeu

La mobilité fréquente des nœuds dans les MANET et la nature des liaisons sans fil suggèrent la modification, la disparition et l'apparition de nouvelles routes, contrairement aux réseaux câblés traditionnels où les nœuds sont fixes, ce qui entraîne une stabilité des routes. Par conséquent, l'absence d'un système de routage ajoute à la complexité. Par rapport aux tactiques de routage traditionnelles, telles que la participation des nœuds au routage et les algorithmes utilisés, cela transforme considérablement la méthodologie de routage. Par conséquent, des méthodes de routage plus efficaces sont nécessaires pour s'adapter à cet environnement. Ces protocoles nécessitent des ressources importantes : mémoires, processeurs, bande passante et énergie, mais ces ressources sont rares dans les MANET en

raison de leurs caractéristiques, compliquant la conception de ces protocoles. De plus, la participation des nœuds au calcul des routes nécessite l'utilisation d'algorithmes de routage distribué, ce qui complique la conception de ces protocoles. En effet, plusieurs études ont abordé le routage dans les réseaux ad hoc en utilisant des approches de théorie des jeux. Nous mentionnons, par exemple, la congestion et les jeux potentiels décrits respectivement dans [47] et [48]. Wardrop a proposé un modèle pour refléter l'organisation du trafic, la fluctuation et d'autres facteurs au début des années 1950 à travers une étude sur le transport routier [49]. Son objectif était de déterminer comment améliorer le réseau en général, que ce soit en termes de temps de transport des véhicules, de temps d'attente aux points cruciaux ou de congestion générale du trafic.

III.4.1 Problématique

Pour acheminer un paquet d'une source vers une destination nécessite un protocole de routage qui transmet les paquets en utilisant le meilleur chemin, qui est selon l'architecture d'origine du protocole AODV est le chemin le plus court (Min Hop_count).

L'objectif de ce projet est de mettre à jour la métrique du chemin le plus court afin d'améliorer les performances de l'AODV et de minimiser la saturation et la surcharge au niveau des nœuds et des routes. Afin d'assurer une période d'exploitation robuste et plus longue avec des performances plus élevées, nous proposons une nouvelle métrique basée sur l'utilisation d'autres critères impliqués dans la sélection du chemin.

Les étapes

- Créer une version modifiée de l'AODV en fonction de la charge au lieu du nombre de sauts comme métrique pour choisir le chemin optimal.
- Etablir un mécanisme intelligent qui permet aux utilisateurs de basculer entre les deux protocoles dans le cas de nécessité.
- Evaluer les performances de notre protocole à l'équilibre à l'aide de trois scénarios dans lesquels la topologie et la quantité de trafic dans le réseau sont modifiées.
- Définir un mécanisme d'apprentissage avec le minimum d'informations possibles.

III.4.2 Modèle de jeu de routage [49,50]

Le jeu de routage est représenté par un graphe $G = (V, E)$ avec V l'ensemble des nœuds ou sommets et E l'ensemble des arcs. L'ensemble des joueurs est N , avec $N = \{1, 2, \dots, n\}$. Et tout joueur $i \in \{1, \dots, n\}$ est caractérisé par les paramètres décrit dans le tableau suivant :

Symbole	Signification
W_i	Représente la taille du message à transmettre (nombre de paquets).
$(S_i, D_i) \in V \times V$	un couple de sommets représente la source et la destination
P_i	L'ensemble des plus courts chemins allant de S_i à D_i de cardinalité m_i .
$P_i(t)$	le chemin que choisit le joueur i à la partie t
q_i	un vecteur de stratégies indexé sur les chemins de P_i . Pour tout $p \in \{1, \dots, m_i\}$, $q_{i,p}$ est la probabilité pour i de choisir le chemin p dans. avec $\sum_{p=1}^{m_i} q_{i,p} = 1$
S_i	L'espace de stratégies du joueur i , qui à chaque partie choisit un chemin unique parmi m_i , avec $S_i = [0,1]^{m_i}$
S	L'espace de stratégies du jeu est défini par l'ensemble des vecteurs stochastiques des joueurs, $S = \prod_{i=1}^n S_i = [0,1]^{m_1+m_2+\dots+m_n}$.

Tableau III.1 Modélisation du jeu de routage dans un réseau ad hoc.

III.4.3 Utilité associée à un chemin [50]

Afin de trouver l'utilité associée à un chemin donné nous suivons les étapes suivantes :

- Nous notons C_j le coût d'un nœud j en fonction de la charge des paquets sur son interface, il est défini par la formule suivante :

$$C_j = \sum_{i=1}^n 1_{j \in p_i(t)} * W_i \quad (\text{III.8})$$

Où : $1_{j \in p_i(t)}$ vaut 1 si le nœud $j \in p_i(t)$ et 0 sinon.

- Le coût d'un chemin donné est la somme des coûts des nœuds qui le constituent. Ainsi pour tout chemin p , le coût associé C_p est donné par la relation suivante :

$$C_p = \sum_{j \in p} C_j \quad (\text{III.9})$$

- A tout chemin p de coût C_p , nous associons l'utilité U_p définie par :

$$U_p = 1 - C_p \quad (\text{III.10})$$

- Pour faciliter les calculs, nous faisons l'hypothèse que l'utilité d'un chemin est compris entre 0 et 1. Pour cela nous posons une relation de la forme :

$$U_p = 1 - \frac{C_p}{X} \quad (\text{III.11})$$

Avec X représente une valeur de normalisation dans tous les cas supérieure au prix du plus cher chemin possible.

Au cours du jeu les joueurs font plusieurs parties en adaptant leurs stratégies selon les résultats de la partie précédente. Ce qui nous intéresse est l'état final des stratégies des joueurs. Pour toute partie t , nous notons $Q(t) = \{q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t)\}$ l'ensemble des vecteurs de stratégies de tous les joueurs qui définit l'état du jeu.

Lors d'une partie, tout joueur $i \in \{1, \dots, n\}$ choisit un chemin $p_i(t)$. Nous notons $d_i : \prod_{k=1}^n S_k \rightarrow [0,1]$ avec $1 \leq i \leq n$ la fonction d'utilité en fonction de l'ensemble des choix de tous les joueurs, associe son utilité au joueur i , définie par :

$$d_i(a_1, a_2, \dots, a_n) = d_i, \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (\text{III.12})$$

Où (a_1, a_2, \dots, a_n) est l'ensemble des actions jouées par les joueurs, chaque action est un vecteur unitaire qui désigne un chemin précis.

Nous posons $g_i : \prod_{k=1}^n S_k \rightarrow [0,1], 1 \leq i \leq n$ la fonction d'espérance d'utilité, définie par :

$$\begin{aligned} g_i(q_1, \dots, q_n) &= E[d_i \mid \text{le joueur } i \text{ a pour stratégie } q_i] \\ &= \sum_{a_1, a_2, \dots, a_n} d_i(a_1, a_2, \dots, a_n) \times \prod_{k=1}^n q_k(a_k) \end{aligned} \quad (\text{III.13})$$

Les fonctions d_i et g_i n'ont pas tout à fait les mêmes ensembles de définition. Nous appelons l'ensemble de définition de (Q) les coins de S et nous le notons S^* .

III.4.4 Equilibre de Nash du jeu de routage [50]

Nous disons que le profil de stratégies mixtes (q_1^*, \dots, q_n^*) est un équilibre de Nash, si et seulement si $\forall i \in \{1, \dots, n\}$ et $\forall q_i \in S_i$:

$$g_i(q_1^*, \dots, q_{i-1}^*, q_i^*, q_{i+1}^*, \dots, q_n^*) \geq g_i(q_1^*, \dots, q_{i-1}^*, q_i, q_{i+1}^*, \dots, q_n^*) \quad (\text{III.14})$$

D'où : g_i exprime l'espérance d'utilité du joueur i en fonction de ses stratégies.

Soit $h_{i,p}(Q)$ la fonction d'utilité pour le joueur i lorsqu'il choisit le chemin p alors que tous les autres joueurs jouent leur stratégie mixte (c'est-à-dire q_{-i}), alors :

$$h_{i,p}(q_1, \dots, q_{i-1}, p, q_{i+1}, \dots, q_n) = E[d_i \mid (Q_{-i}, p)]. \quad (\text{III.15})$$

(Q) est la somme des espérances partielles. Pour tout joueur i , nous définissons la relation suivante:

$$g_i(Q) = \sum_{p \in P_i} q_{i,p} h_{i,p}(Q) \quad (\text{III.16})$$

III.4.5 Déroulement d'une partie du jeu [50]

L'algorithme d'apprentissage est constitué des étapes suivantes :

- A chaque partie t , chaque joueur joue une action conformément à sa stratégie courante.
Le joueur i choisit l'action (t) qui détermine son chemin (t) .

- Chaque joueur obtient son utilité pour la partie en cours. Elle est notée $U_i(t)$ pour le joueur i , c'est l'utilité du chemin qu'il emprunte, soit :

$$U_i(t) = U_{p_i}(t) \quad (\text{III.17})$$

- Chaque joueur met à jour sa stratégie selon la formule suivante :

$$q_i(t+1) = q_i(t) + b \times U_i(t) \times (v_{p_i}(t) - q_i(t)) \quad (\text{III.18})$$

Où $b \in [0,1]$ est un paramètre d'ajustement, $v(t)$ est un vecteur unitaire de dimension m_i dont la $p_i(t)^{i\text{eme}}$ composante vaut 1 et toutes les autres 0.

Dans chaque partie du jeu les joueurs choisissent un chemin pour transmettre leurs messages. La mise à jour de la stratégie de chaque joueur provoque une augmentation de la probabilité future d'emprunter ce chemin. L'algorithme de mise à jour peut-être s'écrit comme suit :

$$q_{i,p}(t+1) = \begin{cases} (q_{i,p}(t) + bU_i(t) \times (1 - q_{i,p}(t))) & \text{si } a_i(t) \in p \\ q_{i,p}(t) \times (1 - bU_i(t)) & \text{si } a_i(t) \notin p \end{cases} \quad (\text{III.19})$$

III.5 Développement du protocole de routage AODV [51]

L'un des principaux inconvénients du protocole AODV est que la sélection du meilleur chemin est basée sur le nombre de sauts. Notre contribution est de modifier le protocole de routage AODV afin que les routes soient sélectionnées en fonction du coût, qui est fonction de la charge de la file d'attente d'interface sur chaque nœud du chemin p pour éviter la congestion du chemin.

Notre objectif principal est de proposer AODV optimisé pour améliorer les performances de ce protocole. L'idée est de réduire la surcharge de file d'attente des nœuds du réseau en choisissant le chemin le moins encombré. Pour cela, nous avons utilisé le terme "coût". Effectue un routage à "coût minimum" au lieu d'un routage à "nombre de sauts minimum". Le protocole de routage AODV est basé sur le mécanisme de détection de chemin à la demande décrit dans (chapitre 1). Des changements de travail ont été apportés pour améliorer les délais et les vitesses de transmission. Il propose les étapes suivantes :

- Le calcul du coût de chaque nœud de réseau se fait en fonction de sa charge.
- Les nœuds mettent à jour leur table de routage périodiquement.
- Modifier la métrique de l'algorithme de découverte de route en donnant la priorité au coût par rapport au nombre de sauts.

De ce fait le fonctionnement de processus de découverte de route du protocole AODV devient de la manière suivante :

- ❖ La source diffuse un paquet RREQ quand il n'a pas une route pour transmettre des données à une destination.
- ❖ L'utilisation d'un champ réservé dans la structure de RREQ, (on ajoute la valeur de cout d'un nœud), chaque nœud calcule son cout par la formule (III.8).
- ❖ À Chaque réception du paquet RREQ par un nœud intermédiaire, il vérifie s'il a déjà reçue ce paquet de la même source et avec le même RREQ_ID si c'est le cas il supprime le paquet, sinon, il cherche s'il a une route avec un numéro de séquence supérieur ou égal le numéro de séquence du RREQ il envoie un paquet RREP à la source. Dans le cas contraire il calcule le coût et l'ajoute au coût cumulé pendant le transfert de la demande de route jusqu'à ce qu'il atteigne la destination :

$$C_p = \sum_{j=1}^n C(j) \quad (\text{III.20})$$

Avec n est le nombre des nœuds traversé par la RREQ.

- ❖ Le destinataire répond par un paquet RREP après qu'il a choisi la voie qui lui coût le prix le plus faible (le chemin le moins congestionné) : $\text{Cost}(D) = \min(C_p)$ et en cas d'égalité des coûts il choisit le plus court chemin.

II.5.1 Déroulement de l'algorithme

✚ Algorithme au niveau du nœud source S

Début

La source S a des paquets à envoyer

Si (*S a une route vers la destination D*) **alors**

{Début de transmission des données}

Sinon {

Processus de découverte de route.

Création de RREQ.

Initialiser le coût ($C_p = (S)$).

Initialiser le nombre de saut ($Hop_count=0$).

Envoi de RREQaux voisins.

Si (*S reçoit une RREP que le chemin est prêt*) **alors**

{Début de transmission des données}

Sinon *Si (S ne reçoit pas une RREP après une période d'attente « life time ») ou (S reçoit une RERR) alors*

{Processus de découverte de route}

}

Fin.

✚ Algorithme au niveau du nœud intermédiaire I

Début

Nœud intermédiaire I reçoit une RREQ

Si ([RREQ_ID, @ source] existe) **alors**

{SupprimerRREQ}

Sinon Si (Nœud I a une route vers la destination D) **alors**

Si (Max(NS)) **alors**

{Nœud I envoie une RREP à la source S}

Sinon {supprimerRREQ}

Sinon {

Cumuler le coût : $C_p = C_p + C(I)$

Cumuler nombre de saut : $Hop_count = Hop_count + (I)$

Mettre à jour les entrées de la table de routage

Mettre à jour les champs (MAJ) C_p et Hop_count dans RREQ

Diffuser RREQ aux voisins

}

Fin.

✚ Algorithme au niveau du nœud destinataire D

Début

Nœud destinataire D reçoit RREQ

Si (@IP Dest de RREQ = @IP nœud) **alors**

Si (Max(NS)) **alors**

Si (Ce chemin a le meilleur cout ((C_p))) **alors**

{Envoie RREP à la source S}

Sinon Si (chemins ont des couts égaux) **alors**

Si (Ce chemin est le plus court ((Hop_count))) **alors**

{Envoie RREP à la source S}

Sinon {supprimer RREQ}

Sinon {supprimer RREQ}

Sinon {supprimer RREQ}

Sinon {Algorithme du nœud intermédiaire I}

Fin.

III.5.2 Organigramme résumant les algorithmes modifiés

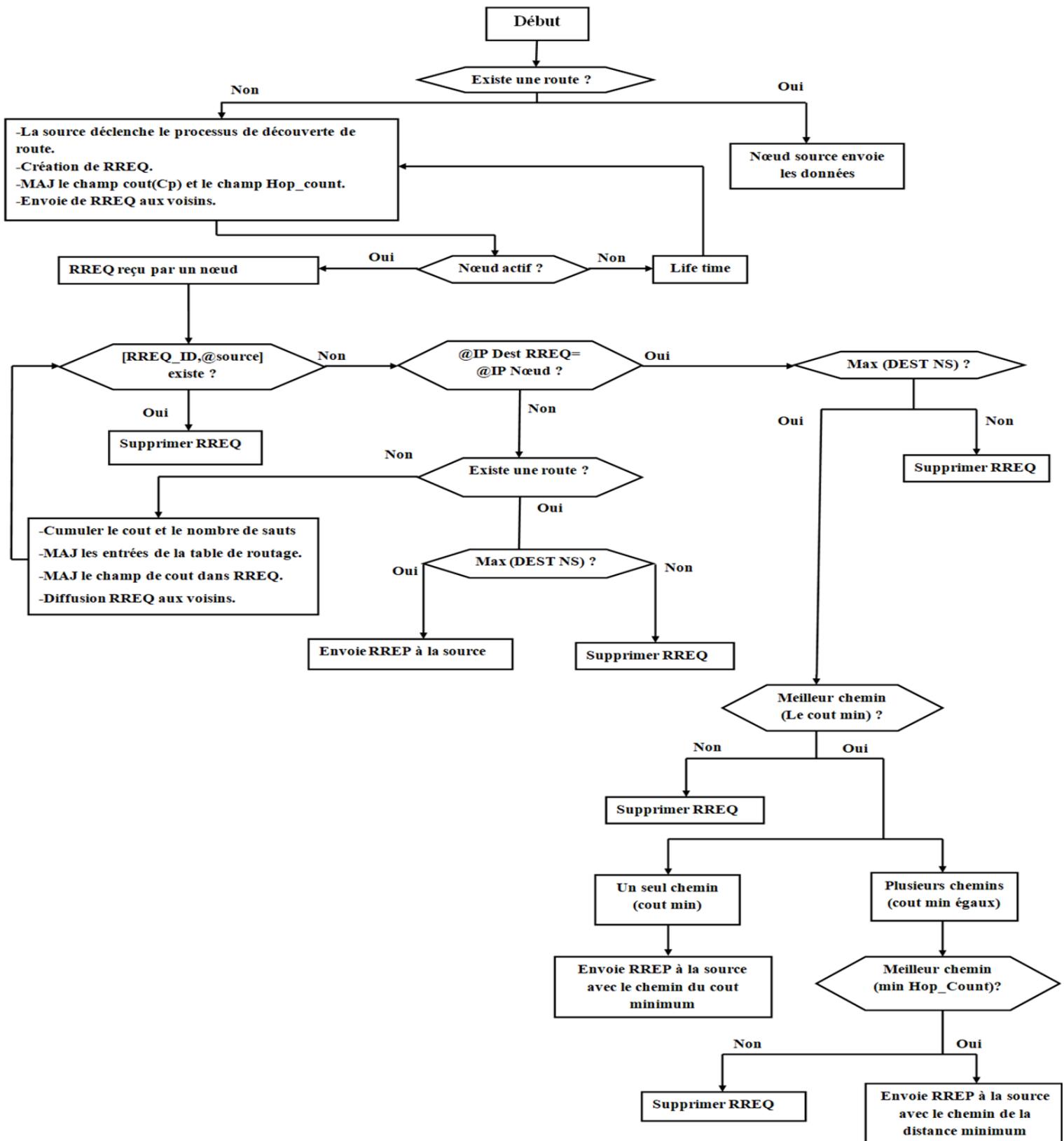


Figure III.1 Organigramme de l'AODV amélioré.

- ❖ Afin que le mécanisme élaboré soit plus intelligent, nous avons songé à modifier l'AODV classique si le réseau est chargé, de manière à ce qu'il bascule la métrique du meilleur chemin par nombre de saut (hop-count min) vers la métrique du meilleur chemin par cout minimal.

• L'organigramme du basculement

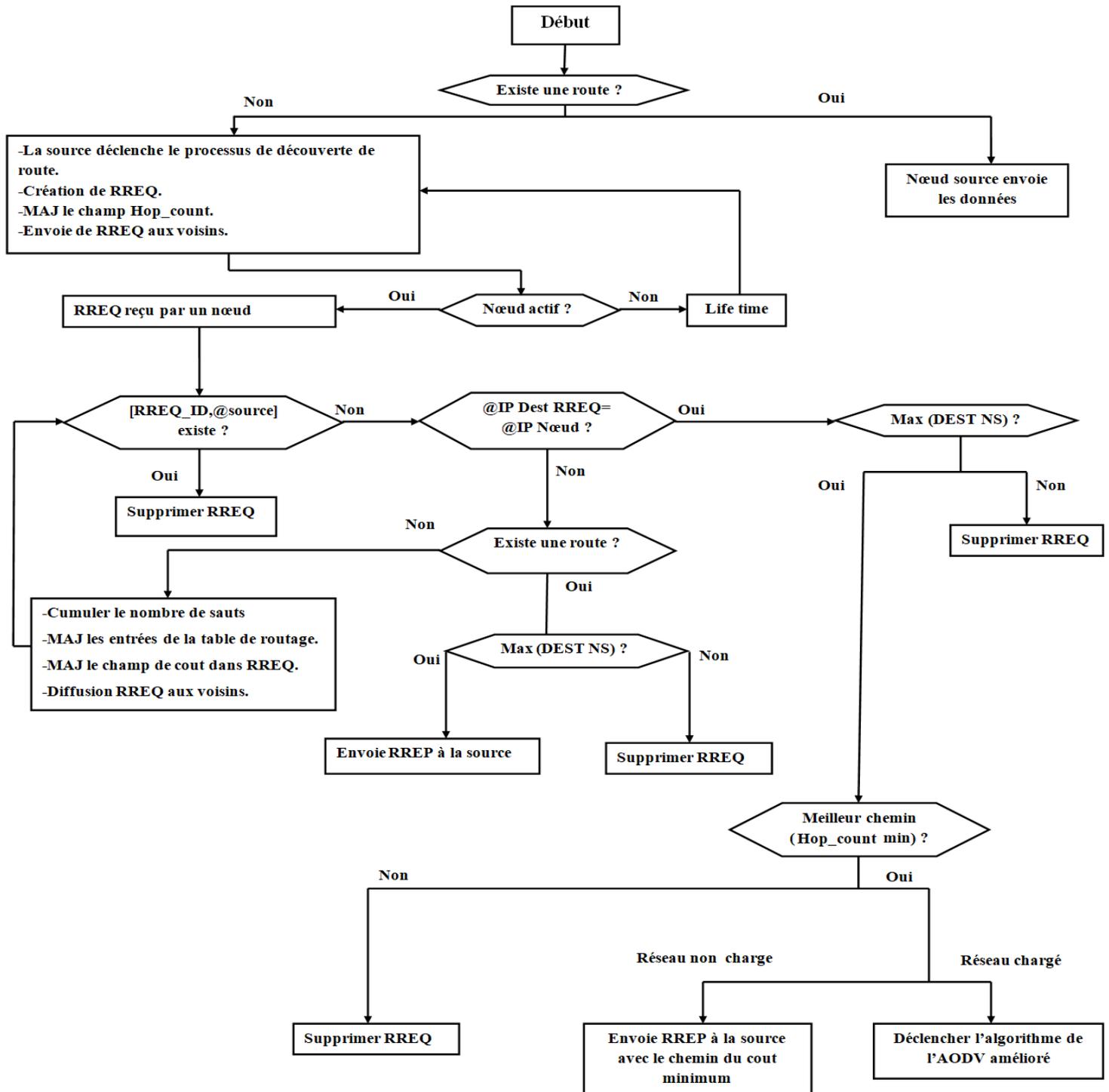


Figure III.2 L'organigramme du basculement.

III.6 Etude des scénarios de simulation

Pour tester les performances du réseau après l'application de notre contribution pour améliorer le protocole AODV, nous réalisons trois scénarios en introduisant les concepts de la théorie des jeux présentés auparavant (l'utilité d'un chemin U_p et le vecteur de probabilité $q_{i,p}(t)$).

III.6.1 Les paramètres évalués

Avant de commencer l'étude et l'analyse des scénarios proposés nous allons définir les métriques et les critères sur lesquelles on va décider que tel ou tel protocole est meilleur par rapport à l'autre, soient :

❖ Le délai

C'est le temps nécessaire pour transmettre un paquet d'une source vers la destination (le temps de bout en bout) mesuré en seconde. En négligeant le temps de traitement le délai est calculé par la formule suivante :

$$T_{\text{trans}} = T_{\text{prop}} + T_{\text{attente}} = \frac{d_p}{v} + \frac{1}{R} \sum_{j=1}^n (C_j * L) \quad (\text{III.21})$$

Avec :

T_{trans} : temps de transmission.

T_{prop} : temps de propagation.

T_{attente} (délai de la file d'attente) : dépend de l'encombrement dans la file d'attente d'un nœud.

R : le débit théorique (11Mbit/s dans la norme 802.11b).

C_j : le coût d'un nœud.

L : la taille d'un paquet (on prend $L=512$ octets).

d_p : la distance parcourue par un paquet de la source vers la destination.

V : la vitesse de propagation dans le vide ($V = 3 * 10^8$ m/s).

❖ Le débit

C'est la quantité de données transmises par unité de temps, mesuré en (bit/s) et donné par la formule suivante :

$$\text{débit} = \frac{W_i * L}{T_{\text{trans}}} * 8 \quad (\text{III.22})$$

W_i : la taille du message à transmettre par une source.

III.6.1 Les scénarios réalisés

Nous fixons les paramètres suivants dans les trois scénarios :

Paramètre	Valeur
Protocole choisi	AODV
Nombre de sources	4
Mobilité des nœuds	Nœuds fixes
Norme WLAN choisi	802.11b
Nombre de paquets d'un message	$W_i = 8$ paquets
Taille du paquet	512 octets
Débit binaire théorique	11 Mbit/s
Paramètre d'ajustement	$b = 0.1$
Vecteur de probabilité de choix d'un chemin	$q_{i,p(t_0)} = \frac{1}{m_i}$ Avec m_i est le nombre de stratégies du joueur (source) i
Le coût d'un chemin qui passe par un nœud éteint	$C_p = \text{Max}(C_p) + 1$
L'unité de mesure de distance	Mètre

Tableau III.2 Les paramètres des simulations.

Par la considération des paramètres mentionnés ci-dessous, nous allons proposer des scénarios différents, en précisant à chaque fois les coordonnées des nœuds en services ainsi que le type des nœuds (source, intermédiaire, destinataire) et aussi l'état du nœud (actif ou éteint). Ensuite, nous traçons les arcs (chemins) possibles entre les nœuds et que chaque chemin apporte un nouveau coût au niveau de chaque nœud. Nous avons essayé par ces propositions de se rapprocher à la réalité et de donner des cas qui peuvent subvenir à tout moment dans la pratique, afin de justifier l'impact de la théorie des jeux dans les réseaux ad hoc. Après cela, nous passons aux calculs des différents paramètres (coût, l'utilité, la distance, la probabilité de

choisir un chemin, le débit et le délai). Le délai et le débit font par la suite des sujets de simulations en histogramme pour démontrer leur changement pendant les différents scénarios.

✚ Le premier scénario

Nous menons cette expérience en utilisant seize (16) nœuds dont quatre (4) nœuds sources (S), huit (8) nœuds intermédiaires et quatre (4) nœuds destinataires. Les nœuds utilisés sont placés sur une échelle cartésienne comme suit :

S1(0,700) , S2(0,500) , S3(0,300), S4(0,100) , I1(200,400) , I2(200,650) , I3(200,150) , I4(400,300) , I5(400,500) , I6(700,400) , I7(600,600) , I8(600,200) , D1(800,700) , D2(800,500) , D3(800,300) , D4(800,100).

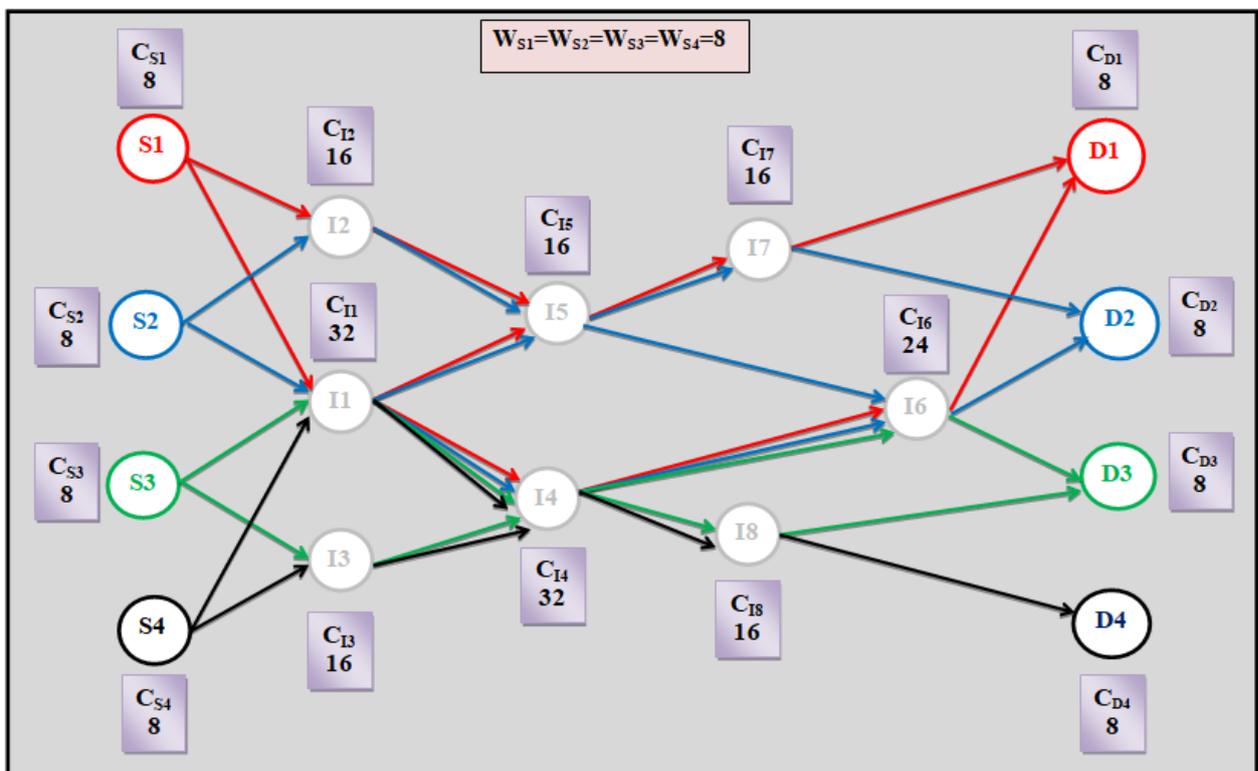


Figure III.3 Disposition des nœuds dans le premier scénario.

❖ Dans le tableau ci-après (Tableau III.3) nous allons représenter les différents chemins et leurs paramètres.

Liaison	Chemins	$q_{i,p}(t_0)$	C_p	U_p	$q_{i,p}(t_1)$	$D_p(m)$	Avant l'état d'équilibre		Après l'état d'équilibre	
							T_{trans} (ms)	Débit (Kbit/s)	T_{trans} (ms)	Débit (Kbit/s)
(S1, D1)	<u>(S1,I2,I5,I7,D1)</u>	0.333	64	0.385	0.359	903.369	23.831	1375.07	23.831	1375
	(S1,I1,I5,I7,D1)	0.333	80	0.231	0.326	1031.376	29.79	1099.972	20.85	1571.428
	(S1,I1,I4,I6,D1)	0.333	104	0	0.333	1216.617	38.73	846.154	20.85	1571.428
(S2, D2)	<u>(S2,I2,I5,I7,D2)</u>	0.2	64	0.385	0.231	787.606	23.83	1375	23.83	1375
	(S2,I2,I5,I6,D2)	0.2	72	0.308	0.194	957.649	26.81	1222.222	20.85	1571.428
	(S2,I1,I5,I6,D2)	0.2	80	0.154	0.197	904.863	32.77	1000	20.85	1571.428
	(S2,I1,I5,I7,D2)	0.2	88	0.231	0.195	894.427	29.79	1100	20.85	1571.428
	(S2,I1,I4,I6,D2)	0.2	104	0	0.2	904.863	38.73	846.154	26.81	1222.222
(S3, D3)	(S3,I1,I4,I6,D3)	0.25	104	0	0.25	904.863	38.73	846.154	17.87	1833.333
	(S3,I1,I4,I8,D3)	0.25	96	0.077	0.248	894.427	35.75	916.666	20.85	1571.428
	(S3,I3,I4,I6,D3)	0.25	88	0.154	0.246	957.649	32.77	1000	20.85	1571.428
	<u>(S3,I3,I4,I8,D3)</u>	0.25	80	0.231	0.267	947.214	29.79	1100	23.83	1375
(S4, D4)	(S4,I1,I4,I8,D4)	0.5	96	0	0.5	1031.376	35.75	916.666	20.85	1571.428
	<u>(S4,I3,I4,I8,D4)</u>	0.5	80	0.166	0.508	903.369	29.79	1100	23.83	1375

Tableau III.3 Les différents chemins et leurs performances dans le 1^{er} scénario.

III.6.1.1 Résultat des simulations

❖ Le délai

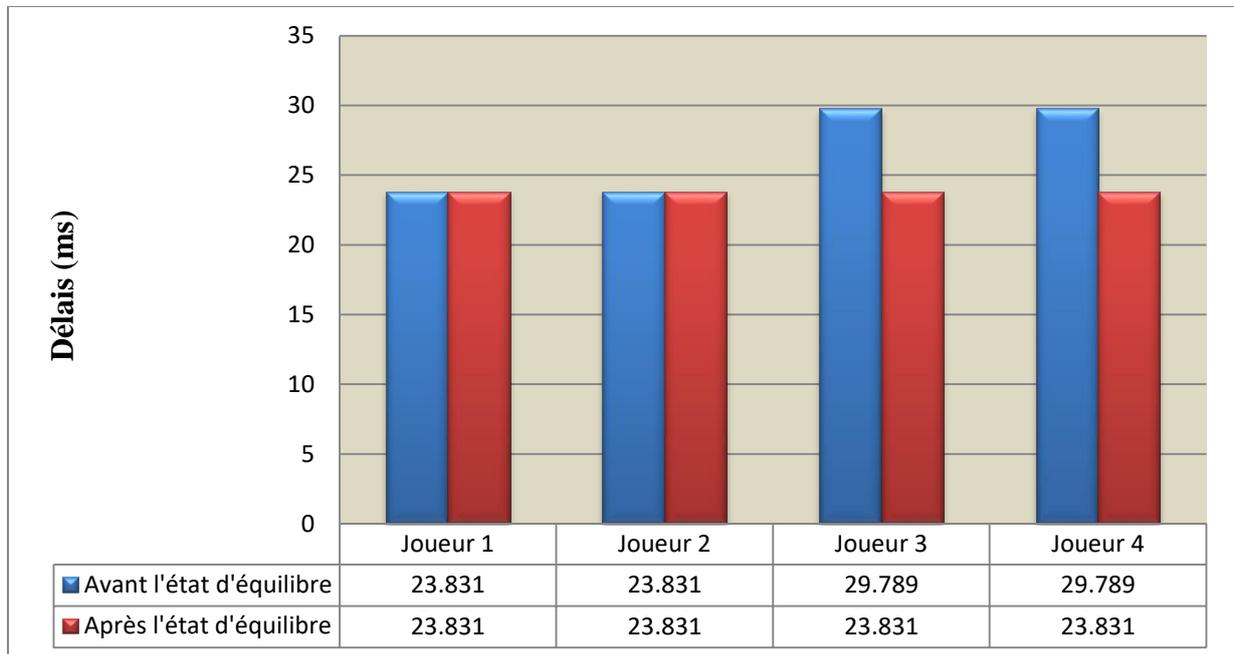


Figure III.4 Evaluation du délai dans le 1^{er} scénario.

❖ Le débit

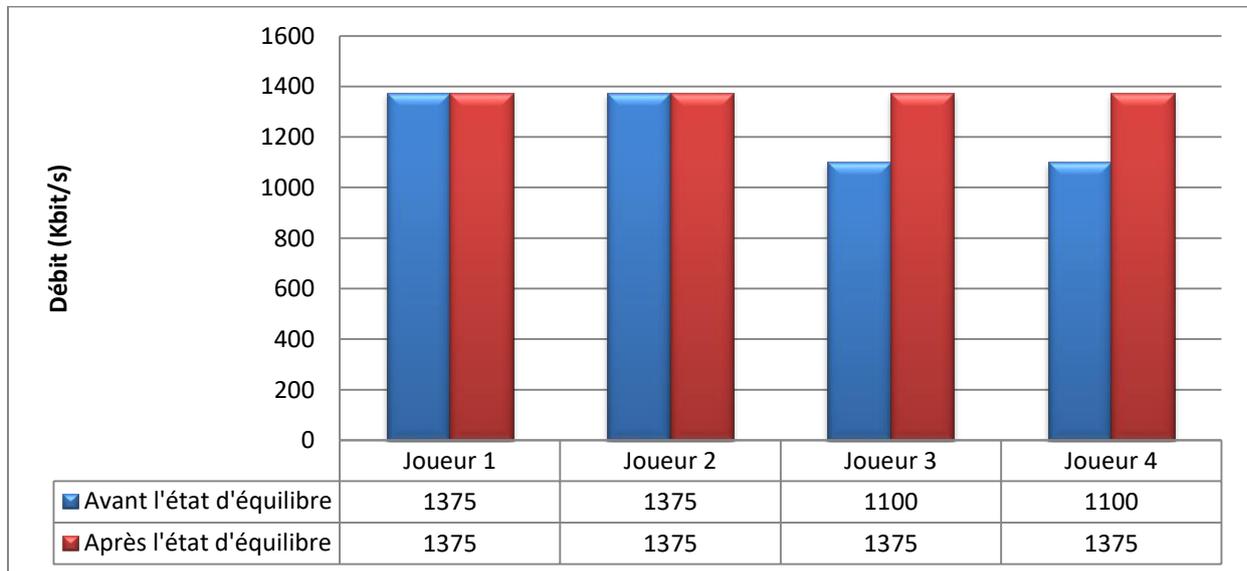


Figure III.5 Evaluation du débit dans le 1^{er} scénario.

❖ La charge sur chaque nœud

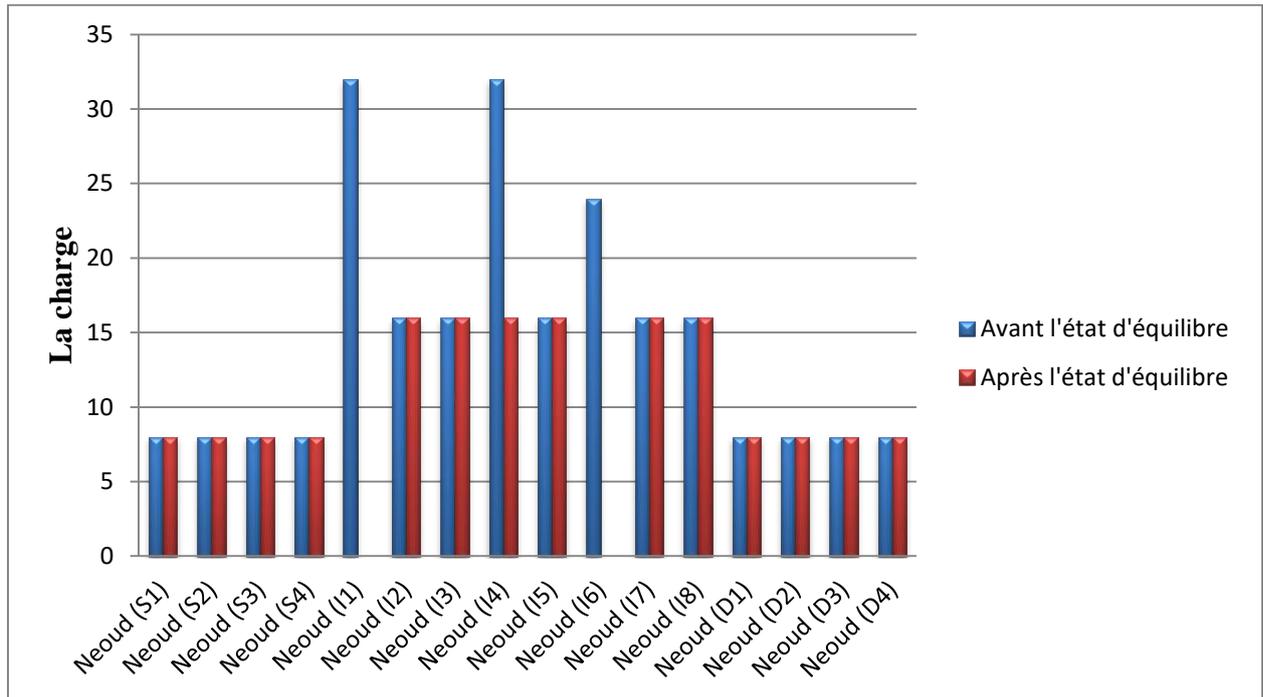


Figure III.6 Evaluation de la charge sur chaque nœud dans le 1^{er} scenario.

A travers les figures (III.3) et (III.4), nous observons que deux joueurs ont amélioré leurs performances en termes de délai et de débit et deux autres joueurs ont gardés leurs performances.

A travers la figure (III.5), nous observons que la charge est distribuée équitablement sur chaque nœud intermédiaire dans le réseau après l'équilibre.

✚ Le deuxième Scénario

Nous menons cette expérience en utilisant Quatorze (14) nœuds. Les nœuds utilisés sont placés sur une échelle cartésienne comme suit :

S1(0,300) , S2(100,300) , S3(100,450), S4(100,150) , I1(250,300) , I2(250,400) , I3(250,150) , I4(400,375) , I5(400,225) , I6(550,375) , D1(550,225) , D2(650,300) , D3(650,450) , D4(650,150).

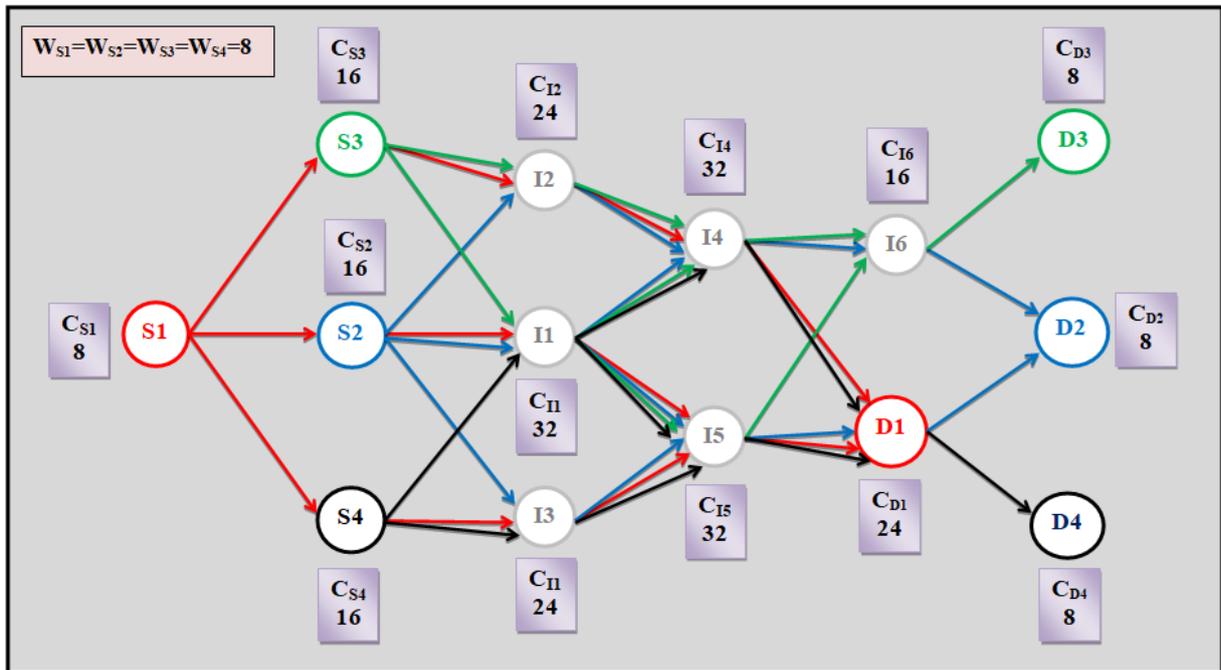


Figure III.7 Disposition des nœuds dans le 2ème scénario.

❖ Dans le tableau ci-après (Tableau III.4) nous allons représenter les différents chemins et leurs paramètres.

Liaison	Chemins	$q_{i,p(t0)}$	C_p	U_p	$q_{i,p(t1)}$	$D_p(m)$	Avant l'état d'équilibre		Après l'état d'équilibre	
							T_{trans} (ms)	Débit (Kbit/s)	T_{trans} (ms)	Débit (Kbit/s)
(S1, D1)	(S1,S2,I2,I4,D1)	0.333	104	0.071	0.331	702.592	38.73	846.154	32.77	1000
	(S1,S2,I1,I5,D1)	0.333	112	0	0.333	567.705	41.7	785.714	26.81	1222.222
	<u>(S1,S4,I3,I5,D1)</u>	0.333	104	0.071	0.338	647.983	38.73	846.154	26.81	1222.222
(S2, D2)	(S2,I1,I5,D1,D2)	0.25	112	0	0.25	592.705	41.7	785.714	26.81	1222.222
	(S2,I1,I4,I6,D2)	0.25	104	0.071	0.249	592.705	38.73	846.154	20.85	1571.428
	<u>(S2,I2,I4,I6,D2)</u>	0.25	96	0.143	0.261	607.746	35.75	916.666	23.83	1375
	(S2,I3,I5,D1,D2)	0.25	104	0.071	0.244	654.837	38.73	846.154	32.77	1000
(S3, D3)	<u>(S3,I2,I4,I6,D3)</u>	0.333	96	0.077	0.339	585.183	35.75	916.666	23.83	1375
	(S3,I1,I4,I6,D3)	0.333	104	0	0.333	654.837	38.73	846.154	20.85	1571.428
	(S3,I1,I5,I6,D3)	0.333	104	0	0.333	716.969	38.73	846.154	23.83	1375
(S4, D4)	(S4,I1,I5,D1,D4)	0.333	112	0	0.333	654.837	41.7	785.714	23.83	1375
	<u>(S4,I3,I5,D1,D4)</u>	0.333	104	0.071	0.338	592.705	38.73	846.154	26.81	1222.222
	(S4,I1,I4,D1,D4)	0.333	112	0	0.333	716.969	41.7	785.714	26.81	1222.222

Tableau III.4 Les différents chemins et leurs performances dans le 2ème scénario.

III.6.1.2 Résultat des simulations

❖ Les délais

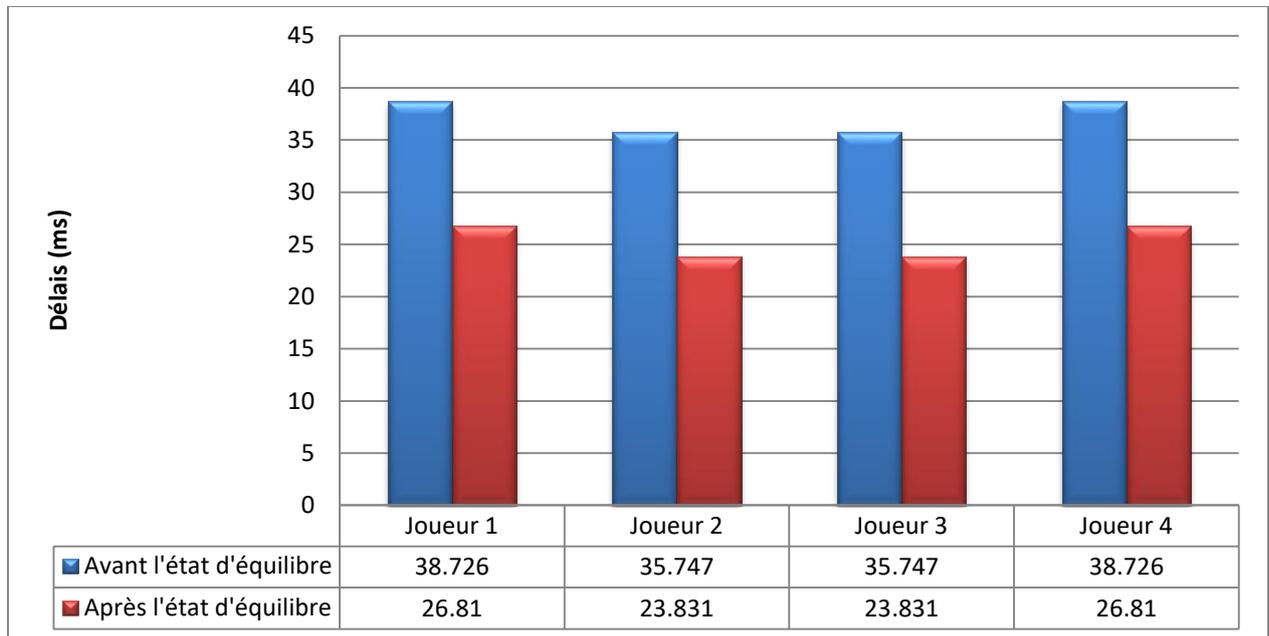


Figure III.8 Evaluation du délai dans le 2ème scenario.

❖ Le débit

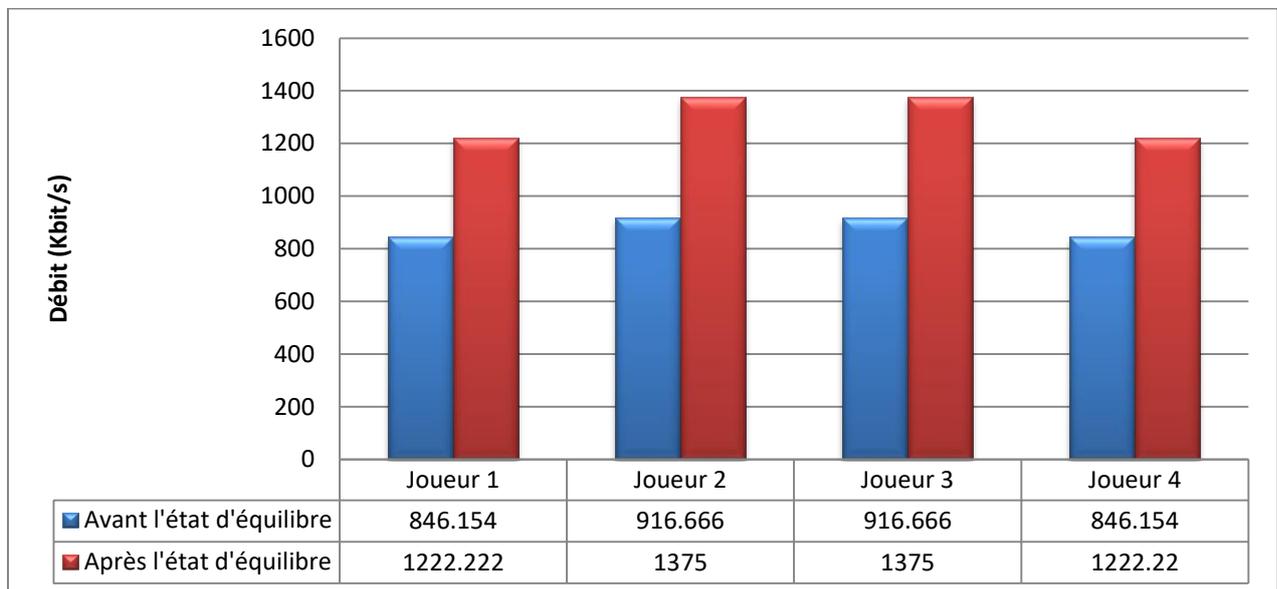


Figure III.9 Evaluation du débit dans le 2ème scenario.

❖ La charge sur chaque nœud

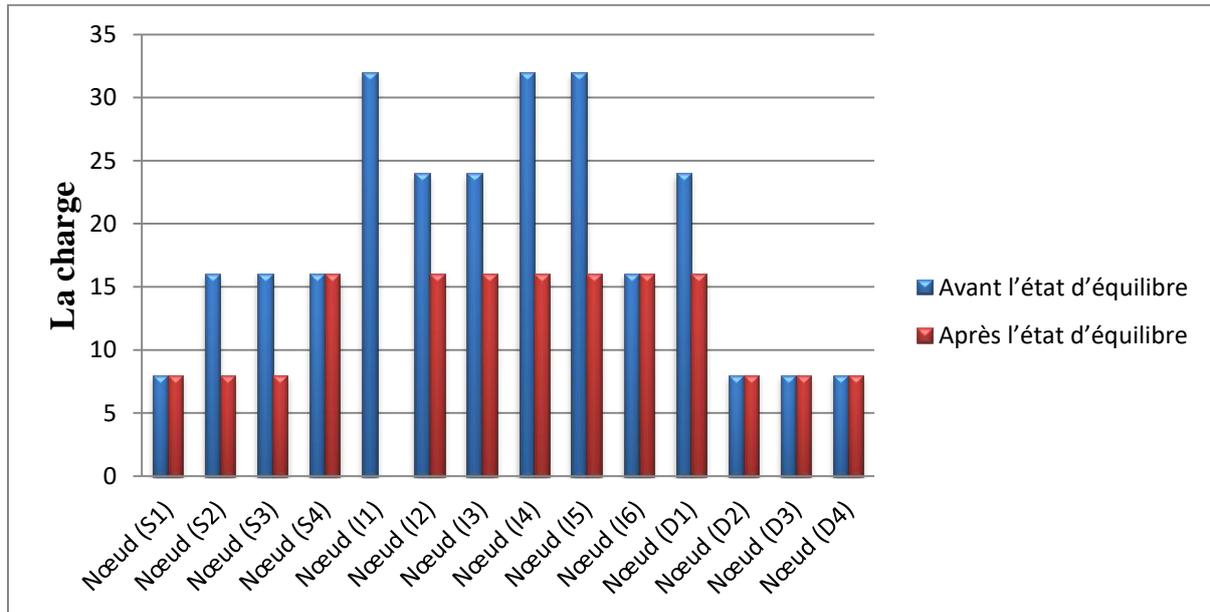


Figure III.10 Evaluation de la charge sur chaque nœud dans le 2^{ème} scenario.

A travers les figures (III.7) et(III.8), nous observons que deux joueurs ont améliorés leurs performances en termes de délai et de débit et deux autres joueurs ont gardés leurs anciennes performances. A travers la figure (III.9), nous observons que la charge est distribuée équitablement sur chaque nœud intermédiaire dans le réseau après l'équilibre.

✚ Le troisième scénario

Nous menons cette expérience en utilisant Seize (13) nœuds dont un est désactivé, et pour l'éviter on donne à tous les chemins qui traversent ce nœud un coût maximal. Les nœuds utilisés sont placés sur une échelle cartésienne comme suit :

S1(0,300) , S2(100,300) , S3(100,450), S4(100,150) , I1(250,300) , I2(250,400) , I3(250,150) , I4(400,375) , I5(400,225) , D1(650,300) , D2(550,300) , D3(550,450) , D4(550,150).

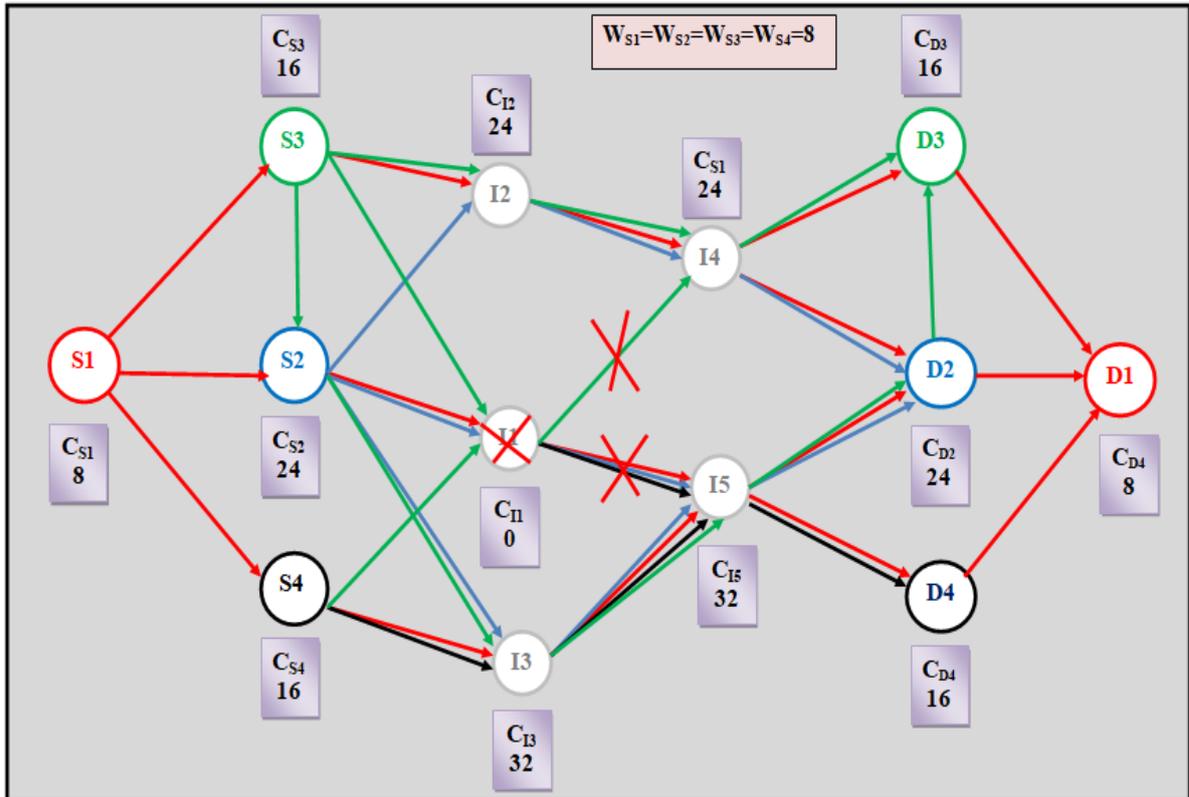


Figure III.11 Distribution des nœuds dans le 3^{ème} scénario.

❖ Dans le tableau ci-après (Tableau III.5) nous allons représenter les différents chemins et leurs paramètres

Joueurs	Chemins	$q_{i,p(t0)}$	C_p	U_p	$q_{i,p(t1)}$	$D_p(m)$	Avant l'état d'équilibre		Après l'état d'équilibre	
							T_{trans} (ms)	Débit (Kbit/s)	T_{trans} (ms)	Débit (Kbit/s)
(S1, D1)	<u>(S1,S3,I2,I4,D3,D1)</u>	0.125	96	0.207	0.143	838.443	35.75	916.666	32.77	1000
	(S1,S3,I2,I4,D2,D1)	0.125	104	0.140	0.123	758.166	38.73	846.154	35.75	916.666
	(S1,S3,I1,I5,D2,D1) (Chemindétruit)	0.125	121	0	0.125	827.828	ERR	ERR	ERR	ERR
	(S1,S3,I1,I5,D4,D1) (Chemindétruit)	0.125	121	0	0.125	908.079	ERR	ERR	ERR	ERR
	(S1,S4,I3,I5,D2,D1)	0.125	120	0.008	0.124	765.688	44.68	733.333	29.79	1100
	(S1,S4,I3,I5,D4,D1)	0.125	112	0.074	0.124	845.965	41.70	785.714	29.79	1100
	(S1,S2,I1,I5,D2,D1) (Chemindétruit)	0.125	121	0	0.125	685.41	ERR	ERR	ERR	ERR
	(S1,S2,I1,I5,D4,D1) (Chemindétruit)	0.125	121	0	0.125	765.688	ERR	ERR	ERR	ERR
(S2, D2)	<u>(S2,I2,I4,D2)</u>	0.333	96	0.15	0.343	500.052	35.75	916.666	23.83	1375
	(S2,I1,I5,D2) (Chemindétruit)	0.333	113	0	0.333	485.41	ERR	ERR	ERR	ERR
	(S2,I3,I5,D2)	0.333	112	0.009	0.333	547.542	41.70	785.714	17.87	1833.333
(S3, D3)	(S3,I1,I5,D2,D3) (Chemindétruit)	0.25	145	0	0.25	697.542	ERR	ERR	ERR	ERR
	<u>(S3,I2,I4,D3)</u>	0.25	80	0.448	0.284	477.888	29.79	1100	29.79	1100
	(S3,I1,I4,D3) (Chemindétruit)	0.25	145	0	0.25	547.542	ERR	ERR	ERR	ERR
	(S3,S2,I3,I5,D2,D3)	0.25	144	0.007	0.249	847.542	53.62	611.111	35.75	916.666
(S4, D4)	(S4,I1,I5,D4) (Chemindétruit)	0.5	97	0	0.499	547.542	ERR	ERR	ERR	ERR
	<u>(S4,I3,I5,D4)</u>	0.5	96	0.01	0.501	585.41	35.75	916.666	11.92	2750

Tableau III.5 Les différents chemins et leurs performances dans le 3ème scénario.

III.6.1.3 Résultat des simulations

❖ Le délai

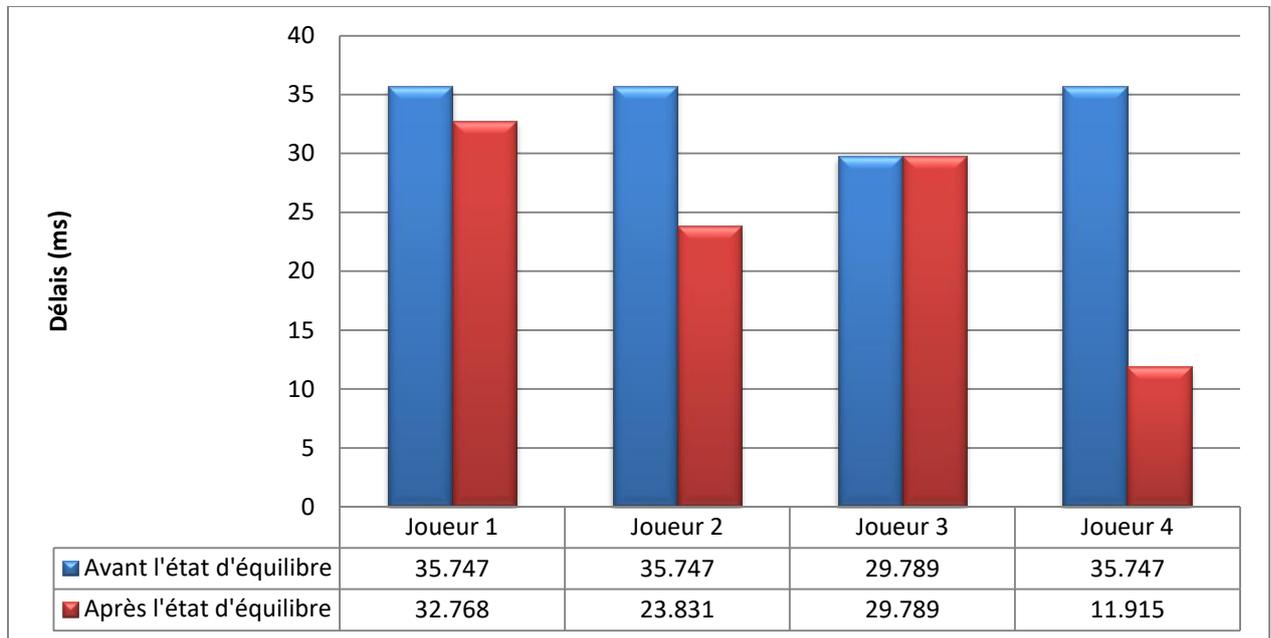


Figure III.12 Evaluation de délai dans le 3ème scenario.

❖ Le débit

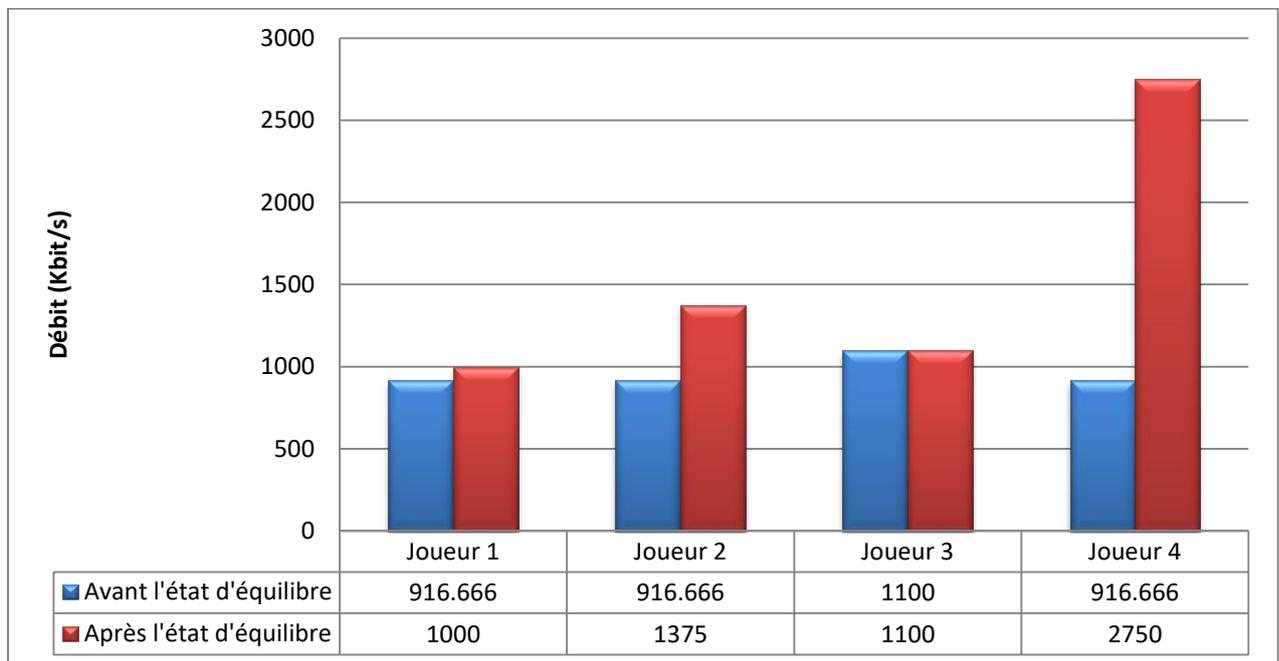


Figure III.13 Evaluation du débit dans le 3ème scenario.

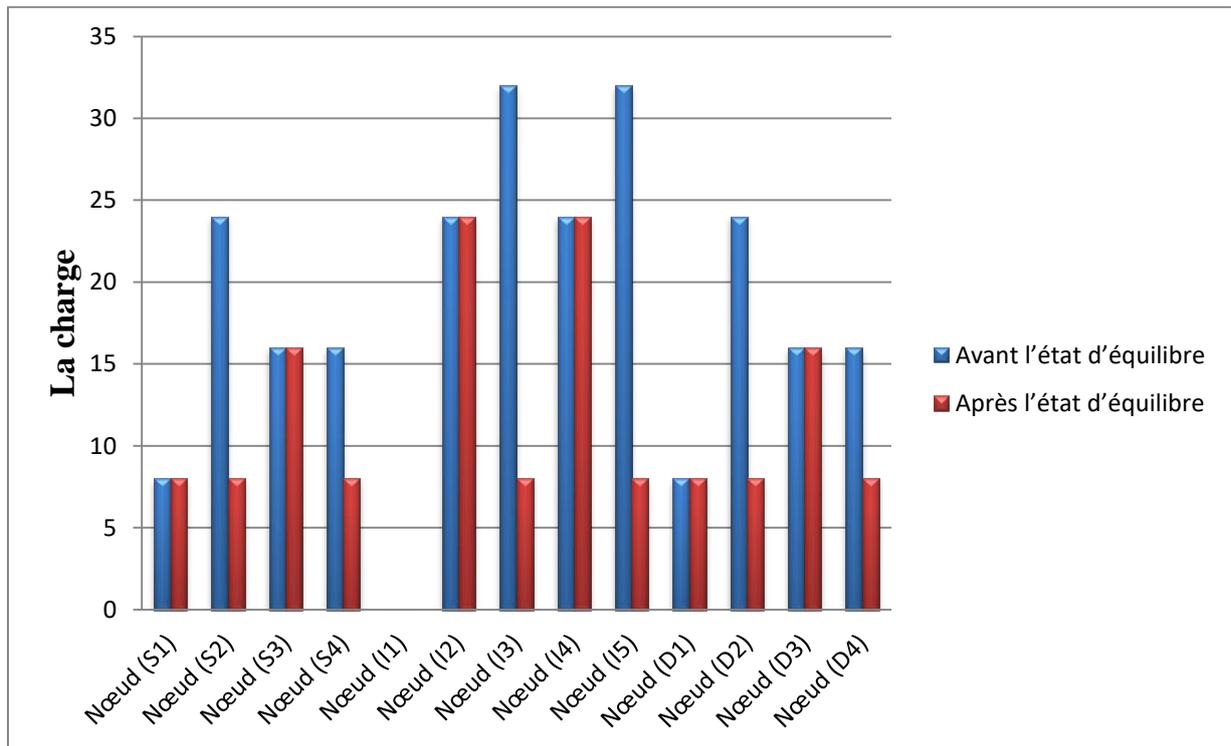
❖ La charge sur chaque nœud

Figure III.14 Evaluation de la charge sur chaque nœud dans le 3^{ème} scénario.

A travers les figures (III.10) et(III.11), nous observons que deux joueurs ont améliorés leurs performances en termes de délai et de débit et deux autres joueurs ont gardés leurs performances. A travers la figure (III.12), nous observons que la charge est distribuée équitablement sur chaque nœud intermédiaire dans le réseau après l'équilibre.

Analyse et Interprétation des résultats

D'après les résultats des simulations présentées ci-dessus, nous constatons que les nœuds émetteurs essaient toujours d'éviter les chemins encombrés en choisissant le meilleur chemin à base de la charge dans la file d'attente au niveau des interfaces des nœuds constituant ce chemin. Tel que, dans le premier scénario deux joueurs ont pu améliorer leurs performances après l'équilibre alors que les deux autres ont gardé les mêmes performances qu'avant l'équilibre, malgré qu'ils peuvent avoir un gain supérieur en changeant leurs chemin par un autre moins chargé, et cela est justifié par l'impact de l'emploi de l'équilibre de Nash dans le réseau suivant le dite scénario qui pousse les joueurs (émetteurs) de garder les mêmes chemins qu'avant l'équilibre sans tenir compte aux stratégies des autres joueurs, pour but d'améliorer tout le réseau après l'équilibre(principe de l'équilibre de Nash).

Dans le deuxième scénario, tous les joueurs ont pu améliorer leurs performances car chaque joueur avait la possibilité de changer son chemin sans nuire au réseau.

Dans le troisième scénario nous avons supposés qu'il y avait un nœud désactivé qui bloquerait toutes les routes qui passent par lui ; de ce fait le nombre de chemins des nœuds est diminué, dans ce cas on n'attend pas à une amélioration considérable dans les performances du système, où seulement trois joueurs ont pu améliorer leurs performances en termes de débit et délais de transmission.

En fait, l'analyse des résultats des scénarios étudiés nous amènent à constater que la modification que nous avons proposée pour améliorer les performances du réseau (délais et débit) par une méthode basée sur la théorie des jeux a montré son avantage sur le protocole AODV classique.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé l'application de la théorie des jeux dans les réseaux ad hoc. Nous avons concentré notre étude sur le routage dans les réseaux ad hoc pour résoudre le problème de la congestion des routes relative à la charge du trafic dans la file d'attente des interfaces des nœuds, afin d'améliorer leurs performances (délais et débit de transmission). Pour cela nous avons suggéré une méthode qui est basée sur la théorie des jeux pour améliorer le protocole AODV qui est de type réactif et il utilise comme métrique de choix du meilleur chemin le « nombre de sauts ». Alors, nous avons proposé une autre technique (processus) qui se base sur l'utilisation du coût du chemin comme métrique de choix du meilleur chemin.

Plusieurs simulations sont exécutées en réponse à divers scénarios, dont chacun représente une circonstance probable dans les réseaux ad hoc, afin d'expliquer et démontrer l'avantage de cette méthode.

Conclusion générale

La tâche de construire une architecture de protocole pour les réseaux mobiles ad hoc (MANET) est de s'assurer que les données sont transmises efficacement. Le fonctionnement du réseau est basé sur la coopération en l'absence d'infrastructure fixe, chaque nœud transférant le trafic des autres; En fait, la théorie des jeux fournit une base solide pour analyser les réseaux ad hoc.

Nous avons utilisé des techniques de la théorie des jeux pour étudier les réseaux ad hoc dans ce mémoire. Notre contribution est d'apporter des modifications au fonctionnement général d'un protocole de routage ad hoc (AODV) pour réduire le problème de congestion dans le routage ad hoc, où la charge sur les nœuds peut entraîner une augmentation du délai de transmission de bout en bout et donc une baisse du débit de transmission.

Ces modifications dans le processus de construction des chemins ont été apportées en modifiant le critère de sélection du meilleur chemin et en introduisant la notion de coût, qui représente la charge de trafic dans la file d'attente d'un nœud. Enfin, nous avons proposé différents scénarios (situations) pour argumenter et justifier l'intérêt de l'emploi de la théorie des jeux dans les réseaux ad-hoc, en concluant des résultats qui confirment les avantages de notre méthode.

Bibliographie

- [1] Lemainque Fabrice. Tout sur les réseaux sans fil, volume 1. DUNOD, 2009.
- [2] D. MABELE MONDONGA. Etude sur les protocoles de routage d'un réseau sans fil en mode Ad Hoc et leurs impacts. "cas de protocoles OLSR et AODV". Thèse Master, Informatique et Telecommunication, Institut supérieur d'informatique, programmation et analyse, Kinshasa, République du Congo, 2010
- [3] Rabah Meraihi. Quality of service support and topology control in mobile ad hoc networks. PhD thesis, Ecole nationale supérieure des télécommunications paris, 2010.
- [4] R. Meraihi, Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux ad hoc, thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des télécommunications, Paris, 2005
- [5] S.L. Wu, Y.C. Tseng; "*Wireless Ad Hoc Networking: Personal-Area, Local-Area, and the Sensory-Area Networks*"; USA, Auerbach publications, 2007.
- [6] S. Basagni, M. Conti, and S. Giordano, "Mobile Ad Hoc Networking", Wiley-IEEE Press, August 2004.
- [7] Mahmood Ali et Ravula Sai Kumar. Real-time support and energy efficiency in wireless sensor networks, 2008.
- [8] M. Azza, S. H. Boukli et K. M. Faraoun. "A Cross Layer for Detection and Ignoring Black Hole Attack in MANET". *International Journal of Computer Network and Information Security*, vol.7, no.10, p. 42, 2015.
- [9] Azzedine Boukerche, Begumhan Turgut, Nevin Aydin, Mohammad Z. Ahmad, Ladislau Blni, Damla Turgut, Routing protocols in ad hoc networks: A survey, *Computer Network* 55 (2011), pp 3032_3080, 2011
- [10] C. Perkins, P. Bhagwat, Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers, in: ACM SIGCOMM, pp. 234-244, September 1994
- [11] N. A. Tabbane : "*Modèles stochastiques pour la prévision de la qualité de service dans les réseaux ad hoc multimédia*", Thèse de Doctorat en Informatique, Ecole Supérieure des Communications Tunis, 2006.
- [12] M. Elias, M. Campista, G. Rubinstein, "Advanced Routing Protocols for Wireless Networks", Wiley- ISTE, London, pp. 23-28, 2014.
- [13] M. Sedrati, L. Aouragh, L. Guettala, A. Bilami, "Etude des Performances des Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad-hoc", 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing, November 2007, Batna, Algeria

- [14] B.DIOUM. Effets de la mobilité sur les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc. TheseMaster, Informatique et Telecommunication, Université MOULOUD MAMMERRI , TIZI OUZOU, Algerie. 2007
- [15] C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, RFC 3561, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”, July 2003.
- [16] M. Elias, M. Campista, G. Rubinstein, “Advanced Routing Protocols for Wireless Networks”, Wiley- ISTE, London, pp. 23-28, 2014.
- [17] S. Naimi, “Gestion de la mobilité dans les réseaux Ad Hoc par anticipation des métriques de routage“, thèse de doctorat, Université Paris-Sud, Paris, 2015.
- [18] N. Beijar, “Zone routing protocol (ZRP)”. *Networking Laboratory, Helsinki University of Technology, Finland*, pp 1-12. 2002.
- [19] J.P. Chanet : "*Algorithme de routage coopératif à qualité de service pour des réseaux ad hoc agri-environnementaux*", Thèse de Doctorat en informatique, Université Blaise Pascal - Clermont II, 2007.
- [20] J. V. Neumann, O. Morgenstern: "*Theory of games and economic behavior*", Princeton University Press, USA, 1944.
- [21] O. Boussaton, "Application de la théorie des jeux à l'optimisation du routage réseau : solutions algorithmiques", Université Henri Poincaré-Nancy 1, 2010.
- [22] Y. Zhang, M. Guizani, "Game Theory for Wireless Communications and Net working", CRC press, Florida, United State, P. 6, 2011.
- [23] M. Cavagnac , “Théorie des jeux” . Gualino éditeur, Paris, p.5, 2006. P. Gonzalez, J. Crete, “Jeux de société: une initiation à la théorie des jeux en sciences sociales ”, Presses université Laval, Québec, P.9, 2006.
- [24] Z. Han, D. Niyato, W. Saad, T. Başar, A. Hjørungnes: "*Game theory in wireless and communication networks: theory, models, and applications* ", Cambridge university press, 2012.
- [25] Eric Rasmussen: “Jeux et informations : Introduction à la théorie des jeux”. Blackwell.2001
- [26] N. Abeer . “Théorie des jeux” .3eme edition, DUNOD, Paris, P.14, 2013.
- [27] M. Benslama, H. Batatia, M. L. Boucenna : "Coopération dans les réseaux ad hoc par application de la théorie des jeux", ISTE, Londres, 2015.
- [28] S. Konieczny , “Introduction à la théorie des jeux”, Centre National de Recherche Scientifique, Université d’Artois- Lens, France.

- [29] M. L. Boucenna : "*Coopération dans les réseaux ad hoc par application de la théorie des jeux*", Thèse de Doctorat en Electronique, Université Constantine1, 2014.
- [30] J. Von Neuman, O.Morgenstern, "*theory of games and economic behavior* ", 2nd edition, Princeton University Press 1953.
- [31] F. Carmichael, "A guide to game theory", Prentice Hall, New Jersey, USA, pp16-17, 2004.
- [32] R. Angelo : "*Sécurité dans les réseaux mobiles de nouvelle génération*", Thèse de doctorat, Ecole polytechnique de Montréal, 2011.
- [33] M. Yildizoglu, "Introduction à la théorie des jeux : Manuel et exercices corrigés", 2eme edition, DUNOD, Paris, p.6, 2011.
- [34] J. Leino, "Applications of Game Theory in Ad Hoc Networks", These de master, Department of Engineering Physics and Mathematics, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland, 2003.
- [35] I. Ekeland, "La théorie des jeux et ses applications à l'économie mathématique", Presses Universitaires de France, Paris, France, P. 8, 1974.
- [36] J.N. Webb: "*Game theory decisions, interaction and evolution*", Springer Science & Business Media, 2007.
- [37] W. Etienne : "*Principes de microéconomie*", Pearson Education France, pp.360-380, 2010.
- [38] N. Abeer . "Théorie des jeux" . 3eme edition, DUNOD, Paris, P.14, 2013 .
- [39] M. J. Osborne, A. Rubinstein, "A Course in Game Theory", MIT-Press, London, P.14, 1994.
- [40] Zhu Han. "*Game theory in wireless and communication networks: theory, models and applications*". Cambridge UniversityPress, 2012.
- [41] V. Srivastava, J. Allen, B. Mackenzie. "*Using game theory to analyze wireless ad hoc networks*".IEEE Communications Surveys & Tutorials Fourth Quarter, 2005.
- [42] N. Christin, J. Grossklags and J. Chuang, "*Near Rationality and Competitive Equilibria in Networked Systems*", ACM SigcommWksp. Practice and Theory of Incentives and Game Theory in Networked Systems (PINS), Sept. 2004.
- [43] C. liang, K. R. Dandekar:"*Power management in mimo ad hoc networks: a game-theoretic approach* ", IEEE Transactions on Wireless Communications vol. 6, pp. 2839-2848, 2007.

- [44] R. Menon, R., A. B. MacKenzie, R. M. Buehrer, J. H. Reed: "A *Game-Theoretic Framework for Interference Avoidance in Ad hoc Networks*", In GLOBECOM, pp.1-6, 2006.
- [45] J.E. Suris, L.A. DaSilva, Z. Han, A.B. MacKenzie : "Cooperative game theory for distributed spectrum sharing", in: IEEE International Conference on Communications, 2007.
- [46] M. Naserian, K. Tepe: "*Game theoretic approach in routing protocols for wireless mobile ad hoc networks*", Vol. 7, No. 3, pp. 569-578, 2009.
- [47] R. W. Rosenthal, "A class of games possessing pure-strategy Nash Equilibria", International journal of Game Theory, pp. 65-67, 1973.
- [48] D. Moderer, L. S. Shapley, "Potential games", *Games and Economic Behavior*, pp.124-143, 1996.
- [49] J. Wardrop, "Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Part II, pp. 352-362, 1952.
- [50] O. Boussaton, Application de la théorie des jeux à l'optimisation du routage réseau – solutions algorithmiques, thèse doctorat, informatique, université Henri Poincaré, France, 02/2010.
- [51] H. Badji, N. Badji, Etude des réseaux ad hoc par la théorie des jeux, mémoire de master, systèmes des télécommunications, université Aklimohandoulhadj, bouira, 2019/2020.

Résumé

Notre travail dans cette thèse se place dans le contexte de réseaux Ad hoc caractérisés par une architecture distribuée, dynamique et auto-organisatrice. Chaque nœud du réseau a la capacité d'adapter indépendamment son fonctionnement à l'environnement actuel selon des algorithmes et des protocoles prédéterminés. Le routage présente une fonction essentielle dans un réseau Ad Hoc et le problème de routage est le défi le plus difficile à relever, Il existe de nombreuses méthodes d'optimisation du routage, dans cette thèse nous proposons une nouvelle méthode basée sur la théorie des jeux pour résoudre le problème de congestion du réseau, en utilisant le concept de L'équilibre de Nash nous permet de créer un mécanisme d'équilibrage de charge pour choisir les chemins les moins encombrés.

Mots clés : Réseaux Ad hoc, Routage, Théorie des jeux, Equilibre de Nash.

Abstract

In this brief, we place our work in the context of ad hoc networks, which have a distributed, dynamic, and self-organized architecture. Special algorithms and protocols enable each node in the network to independently alter its behavior in response to the current environment. Routing is a critical function in an Ad Hoc network, and it provides a significant difficulty for Scientifics. There are numerous ways to improve the routing function. We offer a new strategy based on game theory to handle the problem of congestion in this dissertation. Using the Nash equilibrium principle, a charge distribution system was created to select the least congested pathways.

Keywords: Ad hoc network, Routing, game theory, Nash equilibrium.

ملخص

يتموضع عملنا في هذه المذكرة حول الشبكات المخصصة التي تتسم بالبنية الموزعة، الديناميكية و التنظيم الذاتي. كل عقدة شبكية قادرة على تكيف عملها بشكل مستقل مع البيئة الحالية وفقا للخوارزميات والبروتوكولات المحددة سلفا. يعتبر التوجيه وظيفة أساسية في الشبكة المخصصة و مشكلة التوجيه هي أصعب التحديات التي يجب تحقيقه . هناك العديد من الطرق لتحسين التوجيه، في هذه الأطروحة نقترح طريقة جديدة تستند إلى نظرية الألعاب لحل مشكل الازدحام، واستخدام مفهوم توازن ناش الذي يمكن من إنشاء آلية توزيع الحمل من أجل اختيار المسارات الأقل ازدحامًا.

كلمات مفتاحية : الشبكات المخصصة، التوجيه، نظرية الألعاب، توازن ناش.