

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/2021

المرجع : .....م / م / 2021

## Mémoire de Master

Présenté au

**Département:** Génie Électrique.

**Domaine:** Sciences et Technologies.

**Filière:** Télécommunications.

**Spécialité:** Systèmes des Télécommunications.

Réalisé par :

SADOUNI Nassim

Et

BETRAOUI Mohamed

## Thème

**La gestion du protocole AODV dans les réseaux  
ad hoc par théorie des jeux**

Soutenu le: .11/11/2021

Devant la commission composée de :

SAOUD BILLAL	M.C.A.	Univ. Bouira	Président
BOUCENNA MOUHAMED LAMINE	M.C.B	Univ. Bouira	Rapporteur
LATRECHE .SA	M.A.A	Univ. Bouira	Examineur

## **Remerciements**

Tous d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné force et patience pour mener à bien ce travail humble.

Nous remercions également notre promoteur Dr BOUCENNA Mohamed Lamine qui a proposé ce travail et qui nous a orienté et nous a conseillé le long de l'élaboration de ce travail

Et merci aux membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé directement ou indirectement à développer ce travail.

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la fleur de ma vie, ma très chère mère en témoignage de ma profonde reconnaissance pour sa tendresse, sa patience et ses sacrifices tout au long de ma vie.*

*Mon honorable et très cher père, qui a sacrifié sa vie pour qu'on puisse se retrouver à ce niveau et qui m'a été source de réussite.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis intimes.*

*Nassim*

---

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*à mes très chers parents qui m'ont encouragé et qui m'ont donnée tous les moyens disponibles. Pour que je puisse arriver à ce niveau.*

*A mes frères et sœurs.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes collègues et amies.*

*A tous ceux qui m'aiment.*

*Mohamed*

---

# Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>I. Chapitre I : Les réseaux mobiles Ad Hoc</b> .....	3
I.1 Introduction : .....	3
I.2 Les réseaux Ad hoc : .....	3
I.2.1 Définition d'un réseau mobile Ad Hoc : .....	3
I.2.2 Modélisation d'un réseau ad-hoc : .....	4
I.2.3 Les caractéristiques des réseaux Ad hoc : .....	5
I.2.4 Les contraintes liées aux réseaux MANET : .....	6
I.2.5 Domaines d'application des réseaux ad hoc : .....	7
I.3 Le routage dans les réseaux ad hoc : .....	8
I.3.1 Définition : .....	8
I.3.2 Classification des protocoles de routage : .....	8
I.3.2.1 Les protocoles de routage proactifs : .....	8
I.3.2.2 Les protocoles de routage réactifs : .....	10
I.3.2.3 Les protocoles de routage hybrides : .....	15
I.3.3 Tableaux récapitulatifs : .....	15
I.4 Conclusion : .....	16
<b>II. Chapitre II : Introduction à la théorie des jeux</b> .....	17
II.1 Introduction : .....	17
II.2 Domaine d'application de la théorie des jeux : .....	17
II.3 Définitions élémentaires : .....	17
II.3.1 la théorie des jeux : .....	17
II.3.2 Un joueur : .....	17
II.3.3 Un jeu : .....	18
II.3.4 Une stratégie : .....	18
II.3.5 L'utilité : .....	19
II.4 Classification générale des jeux : .....	19
II.4.1 Jeux coopératifs ou non coopératifs : .....	20
II.4.2 Jeu normal ou extensif : .....	20
II.4.3 Jeu avec information parfaite ou imparfaite : .....	21

II.4.4 Jeux avec décisions simultanées / séquentielles :.....	21
II.4.5. Jeu avec somme nulle ou somme non nulle : .....	22
II.4.6 Jeu symétrique ou asymétrique : .....	23
II.4.7 Jeux répétés :.....	23
II.5 L'équilibre : .....	23
II.5.1 Résolution des jeux par élimination des stratégies dominées :.....	23
II.5.2 L'équilibre de Nash :.....	24
II.6 Conclusion : .....	25
<b>III. Chapitre III : Application de la théorie des jeux dans les réseaux Ad hoc .....</b>	<b>26</b>
III.1 Introduction :.....	26
III.2 La théorie des jeux et les réseaux ad hoc.....	26
III.2.1 Avantages de l'application de la théorie des jeux dans les réseaux ad hoc.....	26
III.2.2 Les défis de l'application de la théorie du jeu aux réseaux ad hoc .....	27
III.2.3 Quelques applications de la théorie des jeux dans les réseaux Ad Hoc.....	28
III.2.3.1 Jeu de contrôle de puissance : .....	28
III.2.3.2 Le jeu d'adaptation de la forme d'onde .....	30
III.2.3.3 Le jeu de partage du spectre radio.....	31
III.2.3.4 Le jeu du contrôle d'accès au médium.....	31
III.2.3.5 Le jeu d'expédition des paquets.....	33
III.3 Etude du routage dans les réseaux Adhoc par la théorie de jeu :.....	33
III.3.1 Problématique : .....	34
III.3.2 Les objectifs : .....	34
III.3.3 Modèle de jeu de routage : .....	34
III.3.4 Utilité associée à un chemin :.....	36
III.3.5 Equilibre de Nash du jeu de routage : .....	37
III.3.6 Déroulement d'une partie du jeu :.....	37
III.4 Développement du protocole de routage AODV : .....	38
III.4.1 Déroulement de l'algorithme : .....	39
III.4.2 Organigramme de l'AODV amélioré.....	41
III.5 Etude des scénarios de simulation .....	42
III.5.1 Les paramètres évalués : .....	42
III.5.2 Les scénarios réalisés : .....	43

III.5.2.1 Résultat des simulations 1 <sup>er</sup> scénario : .....	46
III.5.2.2 Résultat des simulations 2 <sup>eme</sup> scénario : .....	51
III.5.2.3 Résultat des simulations 3 <sup>eme</sup> scénario : .....	55
III.5.3 Discussion des résultats : .....	56
III.6 conclusion : .....	57
<b>Conclusion générale</b> : .....	<b>58</b>
<b>Bibliographies</b> .....	<b>59</b>

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Le mode Ad hoc .....	3
<b>Figure I.2</b> : Le principe de transmission dans un réseau Ad hoc .....	4
<b>Figure I.3</b> : La modélisation d'un réseau Ad hoc .....	4
<b>Figure I.4</b> : Transfert du poquet du nœud 9 ou nœud 5 .....	11
<b>Figure I.5</b> : Format du paquet RREQ .....	13
<b>Figure I.6</b> : Format du paquet RREP .....	13
<b>Figure I.7</b> : Organigramme de nœud source et de nœud intermédiaire .....	14
<b>Figure II.1</b> : La forme extensive d'un jeu stratégique .....	20
<b>Figure II.2</b> : forme normale de jeu stratégique .....	21
<b>Figure II.3</b> : Equilibre de Nash .....	24
<b>Figure III.1</b> : Organigramme de l'AODV amélioré .....	41
<b>Figure III.2</b> : La topologie du réseau dans le 1 <sup>er</sup> scénario .....	44
<b>Figure III.3</b> : Présentation des meilleurs chemins avec l'AODV classique et l'AODV après l'équilibre suivant le 1 <sup>er</sup> scénario .....	45
<b>Figure III.4</b> : Délai AODV (classique-avant et après l'équilibre) dans 1 <sup>er</sup> scénario .....	46
<b>Figure III.5</b> : Débit AODV (classique-avant et après l'équilibre) dans 1 <sup>er</sup> scénario .....	47
<b>Figure III.6</b> : La topologie des nœuds dans le 2 <sup>ème</sup> scénario .....	48
<b>Figure III.7</b> : Présentation des meilleurs chemins avec l'AODV classique et l'AODV après l'équilibre suivant le 2 <sup>ème</sup> scénario .....	49
<b>Figure III.8</b> : Délai AODV (classique-avant et après l'équilibre) 2 <sup>ème</sup> scénario .....	51
<b>Figure III.9</b> : Débit AODV (classique-avant et après l'équilibre) 2 <sup>ème</sup> scénario .....	51
<b>Figure III.10</b> : La topologie des nœuds dans le 3 <sup>ème</sup> scénario .....	52
<b>Figure III.11</b> : Présentation des meilleurs chemins avec l'AODV classique et l'AODV après l'équilibre suivant le 3 <sup>ème</sup> scénario .....	53
<b>Figure III.12</b> : Délai AODV (classique-avant et après l'équilibre) 3 <sup>ème</sup> scénario .....	55
<b>Figure III.13</b> : Débit AODV (classique-avant et après l'équilibre) 3 <sup>ème</sup> scénario .....	55

## La liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> Les classes des protocoles de routage pour les réseaux ad hoc.....	15
<b>Tableau III.1</b> Modélisation du jeu de routage dans un réseau ad hoc .....	35
<b>Tableau III.2</b> Les paramètres de simulations. ....	43
<b>Tableau III.3</b> les différents chemins et leurs performances dans le 1 <sup>er</sup> scénario .....	46
<b>Tableau III.4</b> les différents chemins et leurs performances dans le 2 <sup>eme</sup> scénario .....	50
<b>Tableau III.5</b> les différents chemins et leurs performances dans le 3 <sup>eme</sup> scénario .....	54

## 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

L'utilisation de terminaux mobiles nécessite l'utilisation d'infrastructures (points d'accès) parfois coûteuses ou difficiles à construire. En fait, cette solution n'est pas toujours possible. Par conséquent, des réseaux mobiles sans infrastructure ont été déployés et qui sont connus sous le nom de réseaux mobiles auto-organisés ou MANET (Mobile Ad-hoc Network). Ces derniers fonctionnent sans infrastructure fixe. Ils permettent un déploiement de réseau rapide et facile là où autrement est impossible. Un réseau mobile ad hoc est un système autonome de nœuds mobiles reliés par des liaisons sans fil ; chaque nœud agit comme un système terminal et un routeur pour tous les autres nœuds du réseau. Les nœuds du réseau ad hoc peuvent se déplacer librement et s'organiser rapidement.

Par ailleurs, plusieurs difficultés sont rencontrées dans les réseaux Ad-hoc tel que le partage du support de transmission, le taux d'erreur élevé, la capacité des liens variables, le faible débit, la variation de la qualité du signal, la durée d'utilisation restreinte, le changement de la topologie du réseau avec le temps, Altération des signaux et la faible sécurité de l'information transmise. La gestion d'acheminement de données dans le réseau ad hoc, ou routage, est l'un de ses grands défis qui implique l'établissement d'une certaine architecture globale ou l'on doit tenir compte de la mobilité des terminaux pour assurer l'échange des messages d'une manière continue.

La théorie des jeux est une discipline proposée pour évaluer les performances des réseaux ad hoc, qui offre une suite d'outils pouvant être employés efficacement pour la modélisation de ce réseau. Elle s'intéresse à des situations où des "joueurs" ou "agents" prennent des décisions, chacun étant conscient que ses gains dépendent non seulement de sa propre décision, mais aussi des décisions prises par les autres joueurs. Un joueur peut prendre plusieurs décisions et il en choisit une qui sera la meilleure pour lui. En termes mathématiques, on traduit la phrase "la meilleure pour lui" par l'introduction d'une fonction pour chacun des joueurs qui reflète ses préférences, appelée "utilité". L'utilité d'un joueur peut dépendre non seulement de ses décisions mais aussi de celles de tous les autres joueurs. La solution d'un jeu est souvent l'équilibre de Nash, qui mène à un choix

de décision de tous les joueurs tel qu'aucun d'eux ne soit satisfait en dehors de ces décisions. Nous pouvons constater l'emploi divers de la théorie des jeux dans les réseaux de télécommunication et en particulier dans les réseaux ad hoc et cela au niveau du routage, le contrôle de la congestion, le partage des ressources, la sécurité des réseaux, le contrôle d'accès au médium, etc.

Notre travail dans ce mémoire se focalise sur l'étude et le développement des réseaux ad hoc par l'intégration des concepts de la théorie des jeux sur le domaine du routage. Pour cela, nous organisons ce mémoire comme suit :

Le premier chapitre présente les réseaux mobiles dans un contexte général et les réseaux Ad hoc (MANET) en particulier, en se basant sur ses caractéristiques et ses domaines d'application et les différents protocoles de routage utilisés.

Ensuite le deuxième chapitre est dédié à la définition de la théorie des jeux et la notion d'équilibre.

Dans le 3<sup>ème</sup> chapitre et après la présentation de certains exemples de l'utilisation de la théorie des jeux dans les systèmes de communication en général et dans les réseaux ad hoc particulièrement, nous entamerons la partie de modélisation où nous discutons des algorithmes distribués basés sur la théorie des jeux et nous rajoutons quelques nouvelles idées afin d'arriver à améliorer le routage dans le réseau ad hoc en le conduisant à fonctionner dans son état d'équilibre avec une qualité de transmission satisfaisante et durable à tous les utilisateurs.

# I. Chapitre I : Les réseaux mobiles Ad Hoc

## I.1 Introduction :

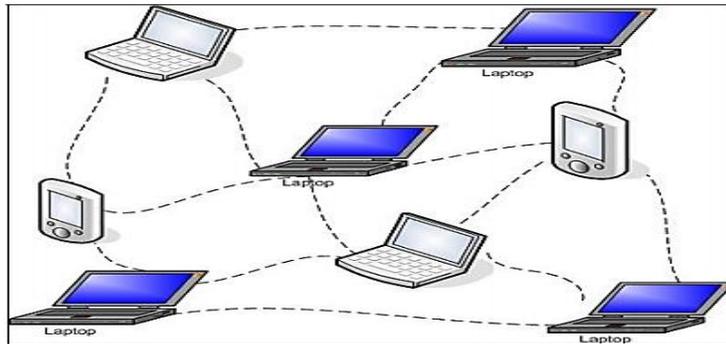
Les réseaux mobiles Ad-hoc présente un nouveau moyen de communication sans fil, permet l'interconnexion entre différentes unités mobile inconnus, indépendamment de leurs emplacements et sans infrastructure fixe, les nœuds mobiles forment eux-mêmes une infrastructure du réseau d'une manière Ad-hoc.

Au cours de ce chapitre nous allons définir les réseaux sans infrastructure en se basant sur le contexte de nos travaux est celui des réseaux sans fil Ad-hoc ainsi que leurs avantages et inconvénients, et nous terminerons par introduire la fonction du routage dans les réseaux Ad-hoc.

## I.2 Les réseaux Ad hoc:

### I.2.1 Définition d'un réseau mobile Ad Hoc [1] :

Un réseau mobile Ad hoc (MANET) est constitué d'un groupe de nœuds mobiles sans fil, qui peuvent former un réseau dynamique pour échanger des données sans aucune infrastructure antérieure. Ces nœuds peuvent être dans des avions, des bateaux, des camions, des voitures, et même sur des personnes ou sur des très petits éléments. La figure I.3 montre un exemple du mode Ad hoc.



**Figure I.1 :** Le mode Ad hoc.

Les nœuds de MANET sont constitués des émetteurs et des récepteurs sans fil munis des antennes qui peuvent être omnidirectionnelles (diffusion), strictement directionnelles (point à-point), possiblement orientables, ou une combinaison de tout ça. À un moment donné, dépendamment de la position des nœuds, de la configuration de leur émetteur-récepteur, des niveaux de la puissance de transmission et de l'interférence entre les

canaux, une connectivité sans fil existe entre les nœuds sous forme de graphe multi-sauts aléatoire ou de réseau Ad hoc.

La figure I.4 montre le principe de la transmission dans un contexte des réseaux Ad hoc où les informations passent du nœud N1 à N3 à travers le nœud intermédiaire N2. Le cercle est la zone de la couverture du nœud.

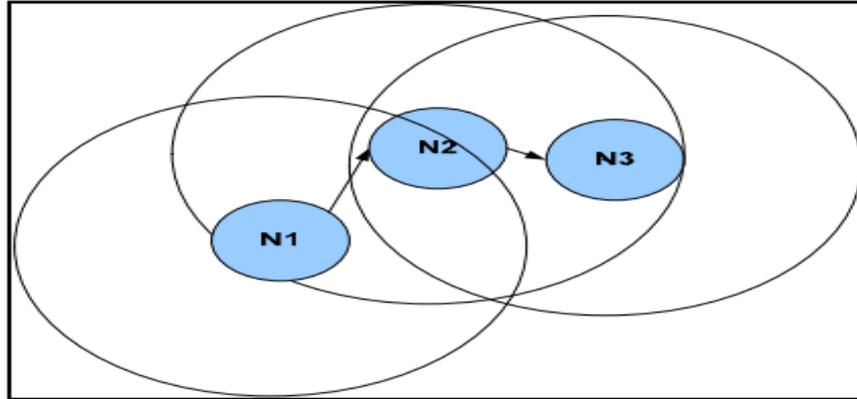


Figure I.2 : Le principe de transmission dans un réseau Ad hoc.

**I.2.2 Modélisation d'un réseau ad-hoc [2] :**

Un réseau ad hoc peut être modéliser par un graphe  $G_t = (V_t, E_t)$  où  $(V_t)$  représente l'ensemble des nœuds (i.e. les unités ou les hôtes mobile) du réseau et  $(E_t)$  modélise l'ensemble des connexions qui existent entre ces nœuds (figure 5). Si  $e = (u, v)$  appartient à  $(E_t)$ , cela veut dire que les nœuds  $u$  et  $v$  sont en mesure de communiquer directement à l'instant  $t$ . La figure I.5 représente un réseau Ad hoc de 7 unités mobiles sous forme d'un graphe :

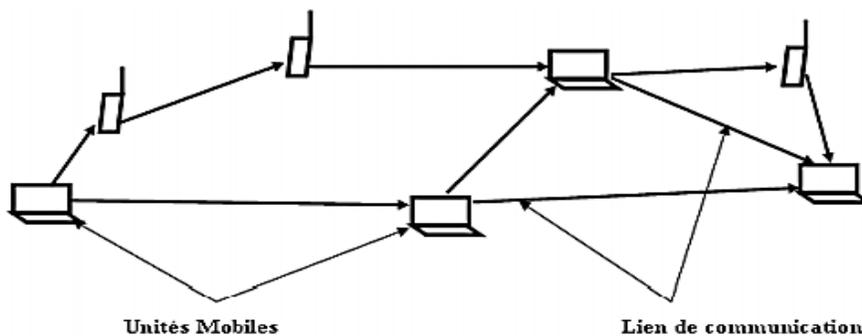


Figure I.3 : La modélisation d'un réseau Ad hoc.

La topologie du réseau peut être changée à tout moment. Elle est donc dynamique et imprévisible ce qui fait que la déconnexion des unités soit très fréquente.

### I.2.3 Les caractéristiques des réseaux Ad hoc :

Un réseau mobile ad hoc possède des caractéristiques particulières comparé aux autres réseaux sans fil [3] :

- Mobile : Les stations ne sont pas fixes dans les réseaux MANETs. Elles peuvent se déplacer et sont entièrement indépendantes. A tout moment, de nouvelles stations peuvent rejoindre le réseau ou le quitter. Le changement de la topologie d'un réseau MANET dans le temps est un élément primordial.
- Sans fil : Les stations d'un réseau Ad hoc utilisent un support sans fil pour communiquer entre elles. Elles partagent le même média lors des échanges d'informations.
- Sans infrastructure : Par nature, les réseaux MANETs ne dépendent pas d'une architecture fixe.
- Auto-organisé et distribué : Les réseaux MANETs ne disposent pas de point central pour coordonner ou centraliser les échanges. De fait, ces réseaux doivent s'auto-organiser afin d'opérer. De plus, l'absence de centralisation demande à chaque site du réseau de participer au bon fonctionnement du réseau.
- Multi-saut : Comme la portée des stations est limitée, il peut s'avérer nécessaire que des stations agissent en tant que pont intermédiaire pour transmettre l'information d'une source vers une destination. Par conséquent, les nœuds d'un réseau MANET agissent en tant que routeur et relayent les paquets qu'ils reçoivent pour participer au routage multi-saut.
- Ressources limitées : Les ressources limitées touchent toute la chaîne de communication d'un réseau MANET en commençant par les nœuds jusqu'aux liens de communication. Les terminaux étant mobiles, ils fonctionnent principalement sur batterie. La mobilité contraint également la puissance embarquée. La capacité des liens sans fil s'avère aussi limitée comparativement aux réseaux filaires. De même, le taux d'erreur est bien plus élevé que dans un réseau filaire.

- Temporaire et rapidement déployable: Ce type de réseau est intrinsèquement temporaire et rapidement déployable. Il n'a pas pour but de remplacer un réseau à infrastructure mais de le compléter ou de le remplacer lorsque nécessaire.

#### **I.2.4 Les contraintes liées aux réseaux MANET :**

D'après [4], les principaux problèmes susceptibles d'être rencontrés dans un environnement mobile et ad-hoc peuvent être regroupés en deux catégories selon la source du problème :

##### **1) Limitations dues au support de transmission :**

- Partage du support de transmission : Les stations mobiles opèrent sur la même bande de fréquence. Le partage du support de transmission peut engendrer des collisions. Ce problème est lié également à la diffusion des signaux.
- Taux d'erreur élevé : Les réseaux sans fil utilisent des ondes radio pour communiquer. Ces ondes ne peuvent pour autant s'affranchir des contraintes liées à leur médium de transmission, l'air. Les perturbations électromagnétiques, solaires ou les obstacles affectent les signaux transmis et sont de fait source de taux d'erreur en bit particulièrement élevés.
- Capacité des liens variables : Les réseaux sans fil doivent aussi faire face à la variabilité de leur support de transmission. De fait, les caractéristiques et performances des liens entre deux stations varient constamment. Ainsi, certains liens bidirectionnels, peuvent voir leurs performances chuter et devenir des liens unidirectionnels.
- Faible débit : La modestie des débits des réseaux sans fil est un élément souvent mis en avant. Comparés à certains réseaux filaires, les débits peuvent paraître faibles. Et dans le cadre de transferts multimédia nécessitant des échanges de données soutenus, ces débits peuvent ainsi poser problème.
- Variation de la qualité du signal : Le canal ne cesse de changer avec le temps. En effet, les conditions extérieures peuvent modifier les caractéristiques de ce canal, par exemple la pluie peut accroître le taux d'affaiblissement de la liaison sans fil. De même, l'apparition d'obstacles peut modifier le canal augmentant le nombre de trajets entre une source et une destination.

- Sécurité : Les signaux étant diffusés, ils peuvent être écoutés par toute station mobile se trouvant dans la même zone de couverture. La confidentialité de certaines informations nécessite l'utilisation de mécanismes de sécurité adéquats.

## 2) *Limitations dues aux stations mobiles* :

- Faible puissance : Les stations mobiles sont la plupart du temps conçues pour une utilisation mobile. De fait, elles se doivent d'être légères, de petite taille et surtout doivent être capables de fonctionner de manière autonome (sur batterie). La prise en compte de tous ces éléments participe à la faible puissance de l'électronique embarquée.

- Durée d'utilisation restreinte : Les batteries ont une durée de vie limitée. De fait, le temps d'utilisation nomade d'une station est contraint par la capacité de sa batterie mais aussi par la puissance demandée (ressources processeur ou transmissions sans fil). Il est nécessaire de trouver un juste milieu entre ces composantes.

- Rayon d'action : La zone de couverture est une fonction de la puissance d'émission que peut fournir une station. Le standard IEEE 802.11 définit la puissance maximale à 100mW. Réduire la puissance d'émission, pour notamment économiser de l'énergie, peut engendrer des liens unidirectionnels.

- Modification de la topologie du réseau avec le temps : Les stations pouvant être en déplacement, la topologie du réseau évolue également. Le voisinage d'un nœud peut varier continuellement : à tout moment des stations peuvent joindre ou quitter le réseau. La modification de la topologie est directement une fonction de la vitesse de déplacement des stations et du rayon d'action du réseau. Avec un déplacement rapide et soutenu de l'ensemble des stations, la topologie ne cesse d'évoluer.

- Altération des signaux: Le déplacement des stations modifie la fréquence des signaux reçus par effet Doppler. Ainsi, à haute vitesse les signaux peuvent s'avérer incompréhensibles.

### **I.2.5 Domaines d'application des réseaux ad hoc :**

D'une manière générale, les MANET sont utilisés dans toutes applications où le déploiement d'une infrastructure réseau filaire est trop contraignant. Les applications dédiées aux MANET couvrent un très large spectre. Nous pouvons trouver les réseaux ad hoc dans les environnements militaires ou les champs de bataille, le partage des applications des équipements mobiles et des objets domestiques tels que les smartphones,

et les laptops, les interventions d'urgence dans les opérations de recherche de secourisme ou de sauvetage en urgence durant les catastrophes naturelles comme lors du tremblement de terre et autres et les environnements civils pour permettre le travail collaboratif et les communications au sein d'une salle de conférence, d'un campus universitaire, des stades, des bateaux, etc. Pour les applications en télécommunication, on trouve les réseaux de capteurs, les réseaux de véhicules autonomes et d'autres.[5]

### **I.3 Le routage dans les réseaux ad hoc :**

#### **I.3.1 Définition :**

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau donné. Le rôle de routage est de déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau selon un certain critère de performance. La zone de couverture radio est limitée, par conséquent les informations dans les réseaux Ad hoc peuvent exiger plusieurs sauts pour être transportées. Alors, le routage devient un mécanisme indispensable pour supporter la transmission radio multi-sauts. Les nœuds des réseaux Ad hoc changent fréquemment de position d'une façon aléatoire et imprévisible, ce qui aboutit à des interruptions et des ruptures brusques des liaisons. En effet, les changements rapides de la topologie dans les réseaux Ad hoc demandent des protocoles de routage spéciaux qui s'adaptent facilement. [1]

#### **I.3.2 Classification des protocoles de routage :**

En général, les protocoles de routage ad hoc se sont divisés en trois catégories : les protocoles de routage dits « proactifs », qui prédisent les requêtes de routage de paquets, et les protocoles de routage « réactifs », qui répondent à la demande. Entre ces deux familles, une autre méthode qui mélange les deux méthodes précédentes est le protocole « hybride ».

##### **I.3.2.1 Les protocoles de routage proactifs :**

Les protocoles de routage proactifs pour les réseaux mobiles ad-hoc, sont basés sur la même philosophie des protocoles de routage utilisés dans les réseaux filaires conventionnels. Les deux principales méthodes utilisées dans le routage des réseaux filaires : la méthode Etat de Lien (**Link State**) et la méthode du Vecteur de Distance (**Distance Vector**). Les deux méthodes exigent une mise à jour périodique des données de routage qui doit être diffusée par les différents nœuds de routage du réseau. [6]

○ Le protocole DSDV (Dynamic destination Sequenced Distance Vector) : Chaque nœud dans le DSDV garde une table de routage qui donne pour chaque destination accessible dans le réseau : - Le nœud voisin à utiliser pour atteindre cette destination, - un numéro de séquence qui est envoyé par le nœud destinataire et qui permet de distinguer les nouvelles routes des anciennes et - le nombre de sauts (nœuds intermédiaires) pour atteindre cette destination.

Périodiquement chaque nœud dans le réseau diffuse par inondation un paquet de mise à jour des tables de routage qui inclue les destinations accessibles et le nombre de sauts exigés pour atteindre chaque destination avec le numéro de séquence lié à chaque route. Des paquets de mise à jour sont aussi diffusés immédiatement s'il y a un changement dans la topologie du réseau afin de propager les informations de routage aussi rapidement que possible. A la réception d'un paquet de mise à jour, chaque nœud le compare avec les informations existantes dans sa table de routage. Les routes les plus récentes (qui ont le plus grand numéro de séquence) avec la distance la plus courte sont gardées, les autres sont simplement ignorées. Le DSDV fournit à tout moment des routes valables vers toutes les destinations du réseau, mais l'inondation des paquets de mise à jour (périodique et en cas de changement de topologie) cause une charge de contrôle importante au réseau [7].

○ Le protocole OLSR (Optimized Link State Routing) : Le concept de base utilisé dans ce protocole est l'utilisation du relais multipoints (**MultiPoint Relays (MPR)**). Chaque nœud sélectionne un ensemble de nœuds MPR dans son voisinage. Tous les nœuds MPR sélectionnés afin qu'il couvre tous les nœuds à deux sauts. Les MPR envoient des messages de diffusion pendant le processus d'inondation, et ils sont les seuls à signaler leurs liens. Par rapport au mécanisme d'inondation traditionnel (chaque nœud retransmet chaque message), cette technique réduit considérablement la surcharge du réseau.

Le protocole de routage OLSR est conçu pour calculer et recalculer des routes. Ce protocole fournit la meilleure route avec le moins de sauts. Au cours du processus de calcul de route, il est indispensable de comprendre les éléments suivants :

- La topologie du réseau : à la faveur de messages de contrôle de topologie (**topology control (TC)**) OLSR utilise une table topologique du réseau.
- La liste des voisins : les relations de voisinage à un et deux sauts, ces relations sont définies par l'échange des messages HELLO.

- Leurs types de liens : lien symétrique (si la communication bidirectionnelle est possible), Lien asymétrique (si la communication est unidirectionnelle), perdu (si le lien a été perdu) ou non spécifié.

Chaque nœud du réseau maintient une table de routage, lui permettant de router les paquets de données, à destination des autres nœuds du réseau.

Le calcul de la table de routage est basé sur les informations locales de chaque nœud et les informations de l'ensemble de la topologie. Par conséquent, la modification de l'une de ces informations entraîne le recalcul de la table de routage pour mettre à jour les informations de route pour chaque destination du réseau. Chaque entrée de la table de routage se compose de l'adresse du nœud destinataire ( $R\_dest\_addr$ ), l'adresse de premier saut à suivre ( $R\_next\_addr$ ), le nombre de sauts qui sépare les deux nœuds ( $R\_dist$ ), ainsi que l'interface de nœud local ( $R\_iface\_addr$ ). Cette entrée indique que le nœud destination identifié par  $R\_dest\_addr$  est estimé à  $R\_dist$  sauts du nœud local.  $R\_next\_addr$  est l'adresse du nœud suivant à un saut dans la route vers la destination  $R\_dest\_addr$ . Ce nœud voisin symétrique est accessible à travers l'interface locale avec l'adresse  $R\_iface\_addr$ . La table de routage contient des entrées pour chaque destination dans le réseau pour lequel il existe une route. Les destinations pour lequel une route est rompue ou partiellement connue, ne sont pas enregistrées dans la table de routage.

Chaque nœud accumule des informations sur le réseau, grâce à l'échange de messages de contrôle OLSR. Ces informations sont stockées dans différentes bases de données. Les deux principales fonctionnalités sont : la découverte des voisins (découverte de lien), et la diffusion des informations topologiques [8].

### **I.3.2.2 Les protocoles de routage réactifs :**

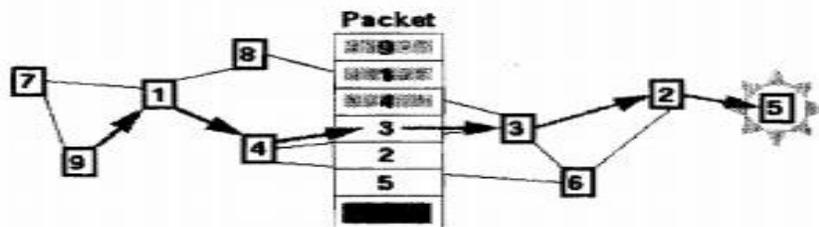
Les protocoles de routage réactifs (dits aussi: protocoles de routage à la demande), représentent les protocoles les plus récents proposés dans le but d'assurer le service du routage dans les réseaux sans fil. La majorité des solutions proposées pour résoudre le problème de routage dans les réseaux ad hoc, et qui sont évaluées actuellement par le groupe de travail MANET (Mobile Ad Hoc Networking Working group) de l'**IETF** [**I**nternet **E**ngineering **T**ask **F**orce), appartiennent à cette classe de protocoles de routage. Les protocoles de routage appartenant à cette catégorie, créent et maintiennent les routes selon les besoins. Lorsque le réseau a besoin d'une route, une procédure de découverte

globale de routes est lancée, et cela dans le but d'obtenir une information spécifiée, inconnue au préalable [8]. Parmi ces protocoles on cite :

- Le protocole de routage DSR (Dynamic Source Routing) [6,9] :

DSR est basé sur le routage de source, où la source indique le chemin complet à la destination dans l'en-tête du paquet et chaque nœud le long de ce chemin expédie simplement le paquet au prochain saut indiqué dans le chemin (voir figure I.6). Il utilise un cache de routes. Par conséquent, la source contrôle d'abord son cache de routes pour déterminer la route à la destination. Si une route est trouvée, la source utilise cette route. Autrement, la source emploie un protocole de découverte de route pour construire une route. Dans la découverte de route, la source diffuse par inondation un paquet de requête dans le réseau, et la réponse est retournée par la destination ou un autre nœud qui peut accomplir la requête de son cache de routes. Chaque paquet de requête a une identification unique ID et une liste initialement vide. En recevant un paquet de requête, si un nœud a déjà vu cette identification (duplication) ou il trouve sa propre adresse déjà enregistrée dans la liste, il ignore la copie et arrête l'inondation, autrement, il appose sa propre adresse dans la liste et envoie la requête à ses voisins, ceci dans le cas où il n'a pas de chemin caché vers la destination. Si un nœud peut accomplir la requête de son cache de routes, il peut envoyer un paquet de réponse à la source sans propager le paquet de requête plus loin.

Un échec de route peut se produire puisque les nœuds mobiles se déplacent d'un endroit à l'autre. Un échec de route peut être détecté par le protocole de la couche liaison, ou il peut être implicite quand aucune émission n'a été reçue pendant un moment d'un ancien voisin. Quand un échec de route est détecté, le nœud détectant l'échec envoie un paquet d'erreur à la source, qui emploie alors le protocole de découverte de route encore pour découvrir une nouvelle route.



**Figure I.4:** Le transfert du paquet du nœud 9 au nœud 5.

- Le protocole de routage **AODV** (**Ad-hoc On-demand Distance Vector**) [3,10] :

Le protocole AODV permet le maintien des routes utilisées. En fait, si le changement de statut d'un lien n'affecte pas une communication, aucun échange entre les nœuds n'est donc nécessaire. Les effets des changements de topologie sont ainsi localisés seulement aux routes rencontrant ces modifications et non à la globalité du réseau. 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 :

- *La gestion de la connectivité locale :*

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 :*

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** (**R**oute **R**equ<sup>e</sup>st). 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** (**R**oute **R**eply), 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.

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

**Figure I.5 :** Le format du paquet RREQ.

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

**Figure I.6 :** Le format du paquet RREP.

○ **La phase de maintenance des chemins :**

Cette phase 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.

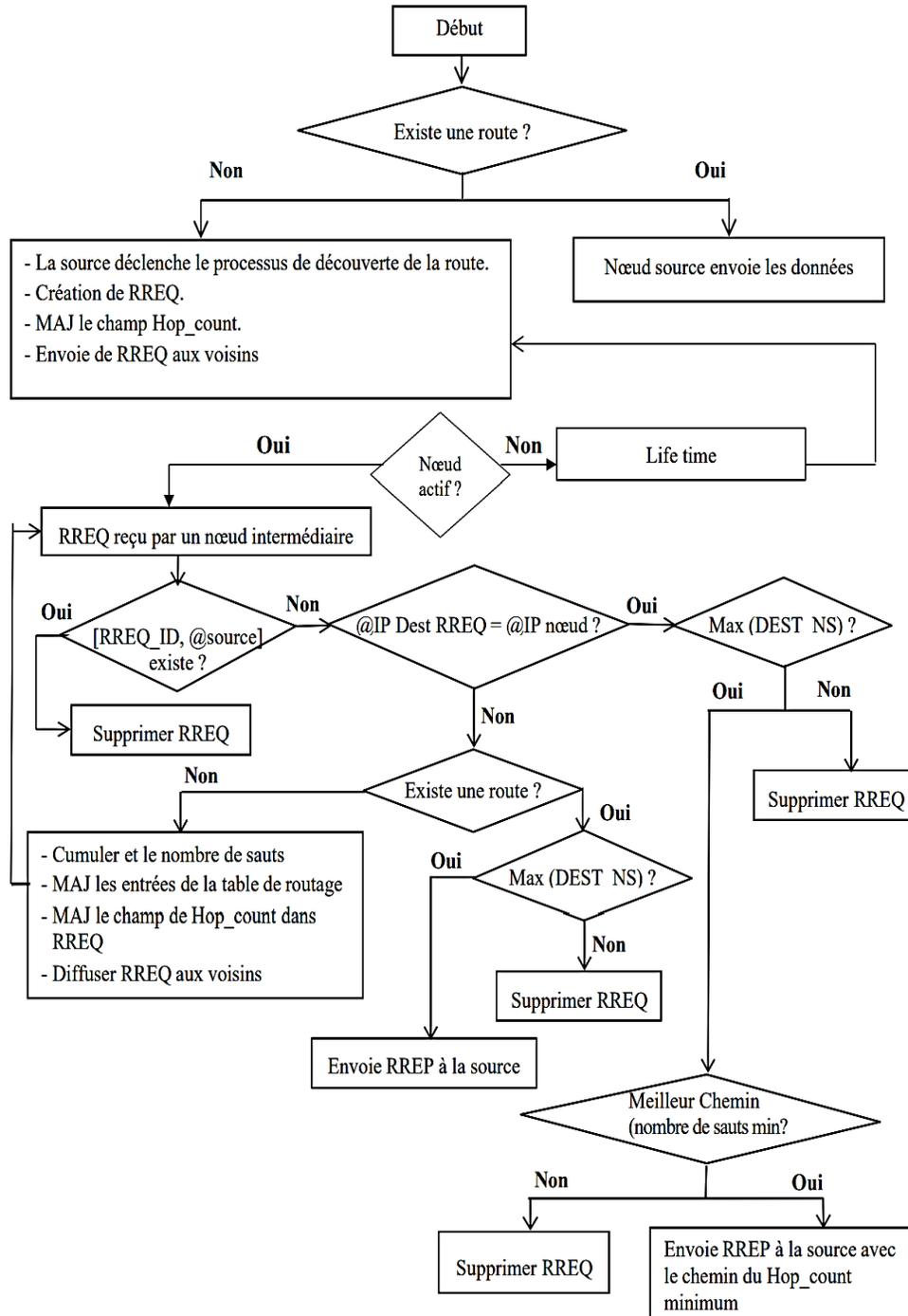


Figure I.7 : Organigramme de l’AODV classique.

### I.3.2.3 Les protocoles de routage hybrides :

Ces protocoles utilisent l'approche proactive pour déterminer le voisinage à deux sauts ou trois sauts. De cette manière, les routes dans le voisinage sont définies. Au-delà de cette zone prédéfinie, les protocoles hybrides utilisent l'approche réactive pour la recherche de route. De ce fait, le réseau est découpé en plusieurs zones. À la réception d'une requête de recherche de route réactive, le nœud peut signaler si la destination est dans son voisinage ou non pour renvoyer la requête vers les autres zones. Le protocole de routage **Zone Routing Protocol (ZRP)** présente un exemple de cette catégorie.

Les protocoles hybrides s'adaptent bien aux grands réseaux, cependant, ils comportent aussi les inconvénients des protocoles réactifs tels que : les messages de contrôle périodiques, plus le coût de recherche d'une nouvelle route. [5]

### I.3.3 Tableau récapitulatif :

Nous décrivons dans le tableau suivant les différentes classes de protocoles de routage pour les réseaux ad hoc ainsi que les protocoles de routage présentés dans ce chapitre.

Classes	Protocoles	Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
<b>Proactifs</b> (Table-Driven)	- DSDV - OLSR	Calculer les routes à l'avance.	Transmission immédiate des données.	Utiliser beaucoup de paquets de contrôles.
<b>Réactifs</b> (On-Demand)	- DSR - AODV	Calculer les routes à la demande.	Utiliser moins de paquets de contrôles	Délai initial avant de commencer la transmission des données.
<b>Hybride</b>	- ZRP	Combinaison des deux approches précédentes.	Bénéficier des avantages des deux approches précédentes.	Cumuler les inconvénients des deux approches précédentes.

**Tableau 1** : Les classes des protocoles de routage pour les réseaux ad hoc. [7]

**I.4 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux mobiles ad hoc, leurs principales caractéristiques, et leurs applications. Ensuite, nous avons exposé les différentes fonctions de routage des réseaux mobiles Ad hoc et quelques protocoles de routage qui leur sont dédiés. Nous avons commencé par présenter les trois classes de protocoles de routage : proactifs, réactifs et hybrides, où on a expliqué les méthodes d'acheminement sur lesquelles ils reposent, ainsi que quelques exemples de protocoles existants. Le routage AODV a pris un espace important dans ce chapitre afin de détailler plus son principe de fonctionnement.

## II. Chapitre II : La théorie des jeux.

### II.1 Introduction :

La théorie des jeux est un outil d'analyse des comportements humains qui a connu un essor considérable depuis l'apparition de l'ouvrage de Von Neumann et Morgenstern « The Theory of Games and Economic Behavior » en 1944. Et elle peut être aussi définie comme une approche mathématique, qui se compose des modèles et techniques utilisées pour analyser le comportement décisif des individus rationnels. [11]

Dans ce chapitre nous allons présenter la théorie des jeux dont nous commençons par la présentée dans le cadre général. C'est-à-dire dans le domaine de l'économie qui est le domaine de base de cette technique, Et les autres domaines d'application. Nous donnerons une claire et simple définition de cette dernière, la définition d'un jeu stratégique, les types des jeux existants, une brève définition de l'équilibre qui est une approche très importante, car c'est l'état où chaque joueur ne souhaite pas changer sa stratégie.

### II.2 Domaines d'application de la théorie des jeux :

La théorie des jeux est utilisée dans la modélisation de plusieurs situations déroulées dans le domaine des sciences politiques, en économie, en biologie, en sciences sociales, en informatique théorique et logiques et aussi dans le domaine des télécommunications et les réseaux sans fil.[16]

### II.3 Définitions élémentaires :

#### II.3.1 la théorie des jeux :

La théorie des jeux est la théorie qui explique le comportement des individus lorsqu'ils sont en interactions, et leurs actions sont interdépendantes. La théorie recourt à des outils mathématiques pour modéliser ces comportements, c'est pour cela qu'elle suppose que les individus sont rationnels [12].

#### II.3.2 Un joueur :

Un joueur est un acteur qui devra au cours du jeu prendre une ou plusieurs décisions. Chaque joueur est caractérisé par les possibilités de suites d'actions qui s'offrent à lui, on appelle ces actions les stratégies, ainsi que par ses motivations (ses préférences) [13].

### II.3.3 Un jeu :

Un jeu est une situation où des individus (les joueurs) sont conduits à faire des choix parmi un certain nombre d'actions possibles, et dans un cadre défini à l'avance (les règles du jeu), qui permet de déterminer qui peut faire quoi et quand. Les résultats de ces choix constituent une issue du jeu à laquelle est associé un gain pour chacun des participants. Ces résultats ne dépendent pas de la décision d'un seul joueur et ne dépendent pas non plus uniquement du hasard, bien que celui-ci puisse intervenir.

Un jeu se réfère à un ensemble d'interactions entre des individus, appelés joueurs ou agents. Chaque individu est rationnel, autrement dit, les décisions, ou stratégies qu'il prend ont pour but la réalisation de ses propres objectifs.[13]

### II.3.4 Une stratégie : [14,15]

Une stratégie est la spécification complète du comportement d'un joueur dans n'importe quelle situation. Le concept de stratégie est utile, car l'action qu'un joueur souhaite choisir dépend souvent des actions passées des autres joueurs.

- **Une stratégie pure :**

Une stratégie pure du joueur  $i$  est l'action qu'il choisit à chaque fois qu'il est susceptible de jouer, c'est-à-dire, toutes les options possibles qu'a le joueur. On note par  $X_i$ , l'ensemble de toutes les stratégies pures du joueur  $i$  avec  $i \in 1, \dots, N$ , et  $x_i$  un élément de  $X_i$  tel que :  $|X_i| = n$ .

- **Une stratégie mixte :**

Une stratégie mixte du joueur  $i$  est une distribution de probabilité sur l'ensemble de ses stratégies pures [15]. Formellement le joueur  $i$  considéré dispose d'un ensemble  $S_i$  de stratégies pures  $\{s_1^i, \dots, s_j^i\}$ . Ce joueur décide de tirer au sort la stratégie qu'il va jouer. Une stratégie mixte est alors un vecteur  $\sigma^i$  de probabilités  $(\sigma^i(s_1^i), \dots, \sigma^i(s_j^i))$  que choisit de respecter le joueur lorsqu'il effectue son tirage aléatoire. Puisque  $\sigma^i$  est un vecteur de probabilités, nous avons:

$$0 \leq \sigma^i(s_1^i) \leq 1, \dots, 0 \leq \sigma^i(s_j^i) \leq 1 \text{ et } \sigma^i(s_1^i) + \dots + \sigma^i(s_j^i) = 1 \quad (\text{II.1})$$

### II.3.5 L'utilité : [16]

Par définition, un joueur, ou un agent, est une entité qui n'est pas indifférente à son avenir, elle a donc des préférences. Les théoriciens des jeux qui veulent étudier des processus de décision rationnels ont besoin d'ordonner ces préférences, c'est de là que vient le concept de l'utilité.

L'utilité traduit le bien-être relatif - ou la satisfaction - d'un joueur dans une situation donnée. Comme il faut pouvoir discerner différents degrés d'utilité, nous nous référons souvent à une valeur chiffrée sur un intervalle. Par exemple, il est possible d'évaluer le bien-être relatif d'un ensemble de pays en comparant leurs P.I.B. ou le bien-être d'un animal par sa propension à répondre à certains stimuli (se nourrir, chasser, etc.). Dans le cas des individus, nous évaluons le bien-être relatif par leur propre perception de la situation qui, sans introduire de psychologie comportementale, doit rester subjective. Un agent vise à maximiser son utilité d'un point de vue purement technique et clairement défini.

La fonction d'utilité est l'outil mathématique servant à ordonner les préférences des joueurs, elle associe une série de choix préférentiels à des valeurs numériques. Par exemple si Tetsuo préfère les pommes aux poires et les poires aux bananes, nous pouvons associer respectivement les valeurs 3, 2, et 1 à ces trois fruits pour spécifier ses préférences. Certains auteurs s'intéressent strictement à l'ordre des préférences en négligeant la magnitude des valeurs (c'est-à-dire, sur cet exemple, qu'une seule pomme serait préférable à quatre bananes).

Cette notion d'utilité a été longuement débattue dans "l'histoire des jeux" mais pour ce qui nous intéresse ici, il suffit de comprendre que l'utilité est directement liée au "gain", c'est simplement une mise à l'échelle (du joueur) ou une normalisation de celui-ci sur un intervalle.

### II.4 Classification générale des jeux [14] :

Il existe plusieurs classifications des jeux selon les critères suivants : Nombre de joueurs, nombre de stratégies, type de relation entre les joueurs, type de gain, la forme des fonctions des gains, le nombre de pas dans le jeu et l'état d'information échangée entre les joueurs.

### II.4.1 Jeux coopératifs ou non coopératifs [14] :

- **Jeux coopératifs :**

Lorsque les joueurs peuvent conclure entre eux un accord qui les lie de manière contraignante (par exemple, sous la forme d'un contrat prévoyant des sanctions légales en cas de non-respect de l'accord), le jeu est coopératif. On dit qu'ils ont alors formé une coalition et que ses membres ont agi de concert.

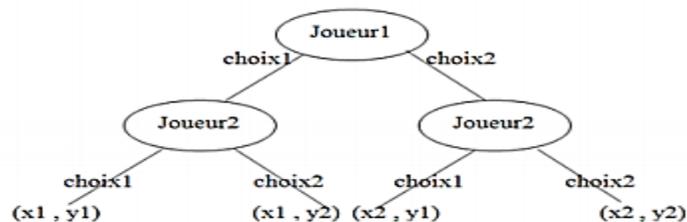
- **Jeux compétitifs (non coopératif) :**

Par définition, dans un jeu compétitif, on précise toutes les options stratégiques dont dispose le joueur sans décrire le contrat qui soutient l'alliance dans le jeu coopératif. Chaque joueur veut posséder sa propre propriété, indépendamment des autres joueurs.

### II.4.2 Jeu normal ou extensif [14] :

- **Forme extensif :**

Dans cette forme le jeu est représenté sous forme d'un arbre ou les joueurs sont représentés par les nœuds de l'arbre, les décisions de joueurs sont les arcs descendus du nœud qui présente le joueur, la racine de l'arbre représente le joueurs qui initialise le jeu (le premier joueur qui commence), les feuille de l'arbre représente le gain de chaque joueur représentés sous format de vecteur qui a comme dimension le nombre clairement la notion de forme extensive du jeu stratégique, le joueurs 1 a deux choix de décision le choix 1 et le choix 2, le joueur 2 a aussi également deux choix choix1 et choix2 , le joueur 1 est celui qui joue le premier et le joueur 2 c'est le deuxième qui joue , si le joueur 1 décide de prendre le choix 1 comme décision alors la récompense est de  $x_1$  , et s'il décide choix2 alors la récompense est de  $x_2$  , pour le joueur 2 si son choix est le choix 1 il aura  $y_1$  comme récompense et s'il choisit le choix 2 la récompense est de  $y_2$  , si le joueurs 1 choisit choix1 et le joueurs 2 choisit choix 1 la récompense des deux joueurs est  $x_1 y_1$  respectivement ce qui est montrer dans la feuille gauche de l'arbre.



**Figure II.1 :** La forme extensive d'un jeu stratégique.

- **Forme normale :**

Cette représentation de jeu est spéciale aux jeux à deux joueurs, elle consiste à représenter le jeu avec une matrice où les lignes et les colonnes représentent les gains des combinaisons de stratégies des deux joueurs, nous allons reprendre l'exemple précédent, sa représentation sous forme normale est comme suit :

		Joueur2	
		Choix1	Choix2
Joueur1	Choix1	(x1,y1)	(x2,y1)
	Choix2	(x1,y2)	(x2,y2)

**Figure II.2 :** forme normale de jeu stratégique.

### II.4.3 Jeu avec information parfaite ou imparfaite [14] :

Lorsque les joueurs au moment de prendre leurs décisions seront au courant de tout ce qui est passé auparavant, on appelle ce type de jeu ; un jeu à information parfaite. Dans ce cas, chaque nœud de l'arbre est visible par les joueurs. Cependant, lorsqu'un joueur atteint son point de décision où il ne connaît pas tous les choix des autres joueurs qui l'ont précédé, on dit que c'est un jeu à information imparfaite. Pour représenter l'information d'un joueur dans ce cas, nous devons introduire la notion d'ensemble d'information d'un arbre. Ces ensembles indiquent ce qu'un joueur connaît au moment de se déplacer.

### II.4.4 Jeux avec décisions simultanées / séquentielles [14] :

Les jeux sont typés selon l'ordre de décision des joueurs, les décisions des joueurs sont prises soit simultanées ou séquentielles.

- **Jeux avec décisions simultanées :**

Dans ce type de jeu, les joueurs prennent des décisions en même temps sans le savoir. Décisions d'autres joueurs, nous pouvons donner quelques exemples : Dilemme de prisonnier, pierre-papier-ciseaux.

- **Jeux avec décisions séquentielles :**

Ici, les décisions du joueur sont prises dans l'ordre (pas en même temps), En d'autres termes, il y a un décalage dans la décision du joueur).

Les décisions des joueurs seront affectées par les décisions que d'autres joueurs ont déjà prises. Exemples de jeux de décision séquentielle, le plus populaire est les échecs.

#### **II.4.5. Jeu avec somme nulle ou somme non nulle [17] :**

- **Les jeux à somme nulle :**

Les jeux à somme nulle sont tous les jeux où la somme « algébrique » des gains des joueurs est constante. Ce que gagne l'un est nécessairement perdu par un autre, l'enjeu est la répartition du total fixé, qu'on peut supposer réparti à l'avance, ce qui ramène au cas où les gains sont vraiment nuls (d'où la dénomination). Les échecs ou le poker sont des jeux à somme nulle car les gains de l'un sont très exactement les pertes de l'autre.

- **Les jeux à somme non nulle :**

Les jeux à somme nulle ignorent le concept d'intérêt personnel ou collectif (exemple : choix d'une solidarité basée sur l'intérêt collectif) ce qui revient alors à faire intervenir un troisième joueur qui transforme alors le jeu à somme nulle en jeu à somme non nulle. Lorsque les agents peuvent avoir des gains positifs simultanément.

Les situations d'affaires, la vie politique ou le dilemme du prisonnier sont des jeux à somme non nulle car certaines issues sont globalement plus profitables pour tous, ou plus dommageables pour tous. On a commencé historiquement par étudier les jeux à somme nulle, plus simples. Au-delà de la matière-énergie avec la loi de la conservation de la somme algébrique nulle, le jeu à somme non nulle est concevable, dans lequel le gain de l'un peut profiter à l'autre. Tel est le cas avec l'information, la communication et l'apprentissage.

On pourrait croire qu'il suffirait pour ramener un jeu à somme non nulle à un jeu à somme nulle d'y ajouter un joueur simple, qui compenserait les pertes nettes des joueurs. Ce n'est pas le cas : un joueur est censé défendre rationnellement ses intérêts dans la mesure de ses possibilités; cet ajout formel, introduisant une dissymétrie entre les « vrais » joueurs et le « joueur ajouté » complique l'analyse et celle-ci y perd plus qu'elle n'y gagne. Donc, le résultat d'un tel jeu peut être positif-positif ou bien négatif-négatif.

#### II.4.6 Jeu symétrique ou asymétrique [18] :

Lorsque les gains ou les pertes d'une stratégie particulière ne sont pas les mêmes, le jeu est symétrique. Cela ne dépend que des actions des autres et non de l'identité des autres joueurs. Par conséquent, si le joueur effectue la même opération, le premier joueur obtient le bénéfice. Contrairement au second, le jeu est asymétrique.

#### II.4.7 Jeux répétés [14] :

Un jeu ordinaire étant un jeu unique dans lequel les joueurs décident simultanément d'effectuer une certaine action. Un jeu répété est tout simplement un jeu ordinaire joué plusieurs fois de suite (nombre fini de répétitions). Les conditions de jeu sont les mêmes pour toutes répétitions du jeu constituant : même nombre de joueurs, même ensemble de stratégies pour chacun, mêmes fonctions de gain et d'utilité et mêmes méthodes de mise à jour des stratégies. Les joueurs déterminent leurs stratégies optimales en fonction de l'histoire du jeu. La répétition de plusieurs parties du jeu permet aux joueurs de conditionner leurs choix présents et ceux à venir sur ceux passés, ce qui fait apparaître de nouvelles solutions et des nouveaux équilibres (théorème de Folk).

#### II.5 L'équilibre [19,20] :

L'analyse d'un jeu permet de prédire l'équilibre qui émergera si les joueurs sont rationnels. Un équilibre est un état ou une situation dans laquelle aucun joueur ne souhaite modifier son comportement une fois connu le comportement des autres joueurs. De façon plus précise, un équilibre est une combinaison de stratégies telle qu'aucun des joueurs n'a d'incitation à changer sa stratégie une fois connues les stratégies des autres joueurs. Une fois que l'équilibre est atteint dans un jeu, il n'y a aucune raison de quitter.

##### II.5.1 Résolution des jeux par élimination des stratégies dominées [21] :

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.

**Définition 1 :** On dit que la stratégie  $s_i \in S_i$  est une stratégie dominante, si :

$$\forall s_i \in S_i, \forall s_{-i} \in S_{-i}, \text{ on a :}$$

$$u_i(s_i, s_{-i}) \geq u_i(s'_i, s_{-i}) \quad (\text{II.2})$$

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

**Définition 2 :** 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

$$u_i(s_i^*, s_{-i}) \geq u_i(s'_i, s_{-i}) \quad (\text{II.3})$$

**Définition 3 :** 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 L'équilibre de Nash [22] :**

Si le jeu nous fournit une unique solution, alors on dit que c'est un équilibre de Nash, chaque joueur prévoit la stratégie de l'autre joueur et constituera de ce fait une réaction de cette stratégie, ce qui est de même pour l'autre joueur. Donc chacun des joueurs n'a intérêt de dévier de cette stratégie. Dans un jeu normal à n joueur  $G = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$  les stratégies  $(s_1^*, \dots, s_n^*)$  sont un équilibre de Nash si pour chaque joueur (i),  $s_i^*$  représente la meilleure réponse à la stratégie des autres joueurs n-1.

$$u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \geq u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$$

$$\max_{s_i \in S_i} u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*). \quad (\text{II.4})$$

Un équilibre de Nash est une convention sur l'issue du jeu entre les joueurs. On considère le jeu suivant décrit dans la figure II.3 :

	L	C	R
T	0, <u>4</u>	<u>4</u> , 0	5, 3
M	<u>4</u> , 0	0, <u>4</u>	5, 3
B	3, 5	3, 5	<u>6</u> , <u>6</u>

**Figure II.3 :** 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.

$$\forall i, \pi (S_i^*, S_{-i}^*) \geq \pi (S_i', S_{-i}^*) \forall S_i' \quad (\text{II.5})$$

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 existence 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 :

Le chapitre est consacré entièrement à la présentation de la théorie des jeux et ses différentes notions élémentaires. La notion d'équilibre est l'élément axial de cette théorie, sur laquelle le raisonnement et le développement convergent. 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.

### III. Chapitre III : Application de la théorie des jeux dans les réseaux Ad hoc

#### III.1 Introduction :

La théorie des jeux développe des outils mathématiques nécessaires pour l'étude les interactions des agents autonomes. À ce niveau, il devrait être clair comment la théorie des jeux peut être utile pour l'analyse des réseaux ad hoc. Dans ce type de réseau, chaque nœud (nœud) doit prendre des décisions. Ces décisions peuvent être conditionnées par les règles ou les algorithmes d'un protocole, mais finalement chaque nœud aura une certaine marge de performance en plaçant des paramètres ou en changeant le mode de fonctionnement. Ces nœuds qui sont des agents autonomes peuvent prendre de différentes décisions comme par exemple des décisions sur la puissance de transmission, l'expédition de paquets, le partage des ressources, etc., afin de réaliser un objectif commun qui est le bien-être du système dans son ensemble dans certains cas. Et dans d'autres cas, les nœuds peuvent se comporter d'une manière égoïste et donc chacun cherche à maximiser son propre intérêt qui peut être le débit de transmission, la fonction d'efficacité énergétique ou autre.[23]

Dans ce chapitre nous allons présenter les avantages et les défis de l'application de la théorie des jeux pour résoudre certains problèmes liés aux réseaux Ad Hoc, en donnant quelques exemples de l'utilisation de cette théorie dans les réseaux Ad Hoc, en suite nous allons citer les différentes applications de la théorie des jeux dans les réseaux Ad hoc 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.[24]

#### III.2 La théorie des jeux et les réseaux ad hoc

##### III.2.1 Avantages de l'application de la théorie des jeux dans les réseaux ad hoc

La théorie des jeux offre certains avantages en tant qu'outil d'analyse des algorithmes et protocoles pour les réseaux ad hoc. Nous donnons ci-après quelques exemples [25] :

- **Analyse des systèmes distribués :**

La théorie des jeux nous permet d'étudier l'existence, l'unicité et la convergence à un point de fonctionnement à l'état stable lorsque les nœuds du réseau effectuent des

adaptations indépendantes. Il sert donc d'outil fort pour une analyse rigoureuse des protocoles distribués.

- **Optimisation par couche croisée :**

Souvent, dans les jeux de réseau ad hoc, les décisions relatives aux nœuds d'une couche particulière sont prises dans le but d'optimiser les performances de certaines des autres couches. Avec une formulation appropriée de l'espace d'action, l'analyse théorique du jeu peut fournir un aperçu des approches pour l'optimisation des couches croisées.

- **Conception de mécanismes d'incitation :**

La conception de mécanismes est un domaine de la théorie des jeux qui porte sur l'ingénierie de mécanismes d'incitation qui mèneront des participants indépendants et intéressés vers des résultats souhaitables d'un point de vue systémique. Cela peut s'avérer particulièrement utile dans la conception de régimes d'incitation pour les réseaux ad hoc.

### III.2.2 Les défis de l'application de la théorie du jeu aux réseaux ad hoc

L'utilisation de la théorie des jeux pour analyser la performance des réseaux ad hoc n'est pas sans difficultés. Nous soulignons 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. [25]

L'hypothèse de la rationalité parfaite, dans certains cas pratiques, ne reflète pas fidèlement le comportement empiriquement observé (par exemple, l'existence généralisée de réseaux de partage de fichiers entre pairs en l'absence de tout système de punition/récompense). Le travail de [26] est considéré comme une extension du concept d'équilibre de Nash afin de modéliser avec précision les nœuds qui dévient légèrement de

leur comportement optimal attendu. Cette forme de rationalité affaiblie est connue comme quasi-rationalité.

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

La nature dynamique des réseaux ad hoc conduit à l'imperfection ou au bruit des actions observées par un nœud. Ces imperfections doivent être modélisées avec des jeux assez complexes d'information imparfaite et/ou des jeux de surveillance imparfaite. De plus, la modélisation des modèles de canaux sans fil et des interactions entre les protocoles des différentes couches implique une analyse mathématique complexe et parfois non linéaire.

- **Choix des fonctions d'utilité :**

Il est difficile d'évaluer comment un nœud valorisera les différents niveaux de performance et quels compromis il est prêt à faire. Le problème est exacerbé par l'absence de modèles analytiques qui associent les actions disponibles de chaque nœud à des mesures de niveau supérieur telles que le débit.

## II.2.3 Quelques applications de la théorie des jeux dans les réseaux Ad hoc

### III.2.3.1 Jeu de contrôle de puissance :

Le choix optimal de la puissance de transmission dans un canal de transmission dans les réseaux cellulaires est en général déterminé par la station de base (ou point d'accès au réseau) et transmis comme un message de contrôle à tous les utilisateurs (mobiles) du réseau, ce problème est connu sous le nom contrôle centralisé de puissance. Dans le cas des réseaux ad hoc, comme ce type de réseau est décentralisé (pas de station de base), chaque mobile joue le rôle de la station de base et donc détermine sa puissance optimale de transmission, et dans ce cas, le problème est connu sous le nom contrôle de puissance distribuée. Les algorithmes contrôlent de l'alimentation dans les réseaux ad hoc, contrairement aux réseaux avec infrastructure. Lors du choix d'un algorithme distribué pour un réseau, plusieurs facteurs doivent être pris en compte, notamment les performances en régime permanent, la convergence, la complexité, la stabilité et l'interaction avec le comportement des autres couches. Celles-ci constituent certains des domaines de recherche actifs dans le domaine du contrôle de puissance distribué et de la théorie des jeux.

- Cas des liens simples Dans [26], le problème de contrôle de puissance est modélisé par un jeu de forme normale. En présentant un algorithme permettant de réaliser une commande de puissance distribuée dans les réseaux 802.11. Les auteurs autorisent l'utilisation de quelques niveaux de puissance différents et intègrent la signalisation nécessaire à l'échange de trames RTS-CTS-DATA-ACK. Ce modèle est défini comme suit:
  - L'ensemble des joueurs sont les nœuds mobiles, chaque nœud maintient un lien simple (un lien est dit simple s'il ne peut transporter qu'un seul paquet à la fois) avec sa destination  $v_i$ ;
  - Les niveaux de puissance représentent l'ensemble des stratégies. Chaque nœud communique avec ses nœuds voisins et choisit un niveau de transmission pour chaque voisin de manière à obtenir la puissance de signal minimale requise pour des performances acceptables.
  - La fonction d'utilité donnée est la qualité de la transmission d'un nœud  $i$  vers un nœud  $v_i$ . Elle est mesurée par le rapport signal sur interférence plus bruit (SINR). À la fin les auteurs montrent l'existence de l'équilibre de Nash par la résolution du système linéaire.

➤ **Cas des liens MIMO**

Liang et Dandekar considèrent dans [27] la caractérisation et la gestion de l'interférence dans les réseaux ad-hoc sans fil en utilisant des techniques d'accès multiples MIMO (un mobile peut transmettre et recevoir plusieurs paquets de données en même temps sur un canal MIMO). En raison de mauvaises conditions de canal, certaines liaisons ont des débits de transmission de données très faibles, même si leurs puissances de transmission sont élevées. Par conséquent, un mécanisme d'arrêt (de fermeture) des liaisons est proposé afin de réduire les interférences du canal double et améliorer l'efficacité énergétique. Cette approche est modélisée sous forme d'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  $\tau$ .

- 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.

En fait, pour éviter une transmission inutile de l'énergie dans des conditions médiocres de canal ; un mécanisme de fermeture des liaisons inefficaces a été intégré par la théorie des jeux. Il est montré que l'utilisation de la méthode avec le mécanisme d'arrêt de la liaison permet au réseau ad hoc MIMO d'obtenir un meilleur rendement énergétique et une capacité meilleure du système.

### III.2.3.2 Le jeu d'adaptation de la forme d'onde

L'adaptation de la forme d'onde dans les réseaux ad hoc comporte le choix d'une forme d'onde par un nœud de façon que l'interférence au niveau du récepteur soit réduite. Les interférences au niveau du récepteur sont fonction de la corrélation de la forme d'onde d'un mobile avec les formes d'onde des autres mobiles du réseau.

Ce problème a été modélisé sous forme d'un jeu dans [28] En outre, généralement, les différents nœuds impliqués dans la transmission n'ont pas ou ont très peu d'informations sur l'environnement d'interférence du récepteur. Le jeu se forme comme suit :

- L'ensemble des joueurs est constitué des utilisateurs (les nœuds mobiles),
- L'ensemble des stratégies représentent les formes d'ondes de chaque jeu ( $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N$ ),
- La fonction d'utilité est la fonction d'interférence qui est définie comme suit :

L'auteur dans ce jeu proposait un algorithme d'adaptation de forme d'onde et démontrait qu'il existe un certain nombre de jeux potentiels qui mène à la convergence : les joueurs du jeu sont assurés de converger vers un NE en jouant leur meilleure réponse. Il prouvait ensuite que cet algorithme conduit à une réduction des interférences dans le réseau et assure aussi l'équité dans l'allocation des ressources.

### III.2.3.3 Le jeu de partage du spectre radio

Le problème de partage du spectre radio réside dans la façon dont il faut suivre pour partager le spectre disponible limité entre les dispositifs sans fil. Sa modélisation est faite sous forme d'un jeu coopératif. Selon cette approche, la largeur de la bande disponible est divisée équitablement en plusieurs canaux. Chaque nœud peut transmettre dans n'importe quelle combinaison des canaux à tout moment et peut placer sa puissance de transmission sur chaque canal [29]. Soit  $x = \{1, 2, \dots, \}$  l'ensemble des canaux disponibles et  $B$  la largeur de la bande de fréquence. Alors la largeur de chaque canal est donnée 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  $i^{ème}$  mobile sur le  $k^{ème}$  canal.
- La fonction objective d'un joueur représente la capacité de transmission de Shannon (taux de transmission) du joueur sur tous les canaux disponibles.

L'auteur ici montre que dans les environnements fortement perturbés, l'utilité du jeu n'est pas convexe, ce qui peut rendre certaines attributions optimales irréalisables avec des stratégies pures et montre que plus le nombre de chaînes disponibles augmente, l'espace utilitaire devient presque convexe et que des stratégies optimales permettent donc d'obtenir des allocations optimales. Ensuite il propose l'utilisation de la solution de négociation de Nash et prouve qu'elle réalise un bon compromis entre équité et efficacité, en utilisant un nombre réduit de canaux. Enfin, l'auteur propose un algorithme distribué pour le partage du spectre, qui peut réaliser des attributions raisonnablement proches de la solution de l'équilibre de Nash.

### III.2.3.4 Le jeu du contrôle d'accès au médium

Le médium (support) de communication dans les réseaux sans fils est un spectre radio (une bande de fréquences). Cette ressource est organisée en canaux physiques et chaque canal est affecté à une seule communication. Comme le nombre de canaux est très inférieur au nombre de communications potentielles, alors plusieurs mobiles tentent d'accéder au même canal radio et, dans ce cas, on aura collision et, donc, perte de tous les paquets. La gestion de cette ressource constitue un problème connu sous le nom de contrôle d'accès au médium.

Plusieurs études ont traité ce problème avec les outils de la théorie des jeux. À titre d'exemple, nous allons illustrer les travaux de Mackenzie et Wicker [30] qui ont modélisé le problème d'accès aléatoire au slotted Aloha par un jeu répété d'informations parfaites à utilisateurs égoïstes. Dans cette étude, les utilisateurs souhaitent effectuer des transmissions autant que possible. Cependant, si plusieurs utilisateurs essaient de transmettre simultanément, alors tous les accès échoueront. En plus, les tentatives de transmissions qui ont échoué peuvent être coûteuses en termes d'énergie. Dans le protocole SALOHA, le temps est divisé en petits intervalles du temps, appelés slots. Soit  $(N)$  le jeu qui se forme de  $N$  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  $u_{i,N}$  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  $u_{i,N}$  en fonction de l'action du joueur.

MacKenzie et Wicker montrent qu'il est garanti qu'une stratégie d'équilibre pour ce jeu existe. Ils montrent également qu'il existe une valeur de  $c$  pour laquelle le débit global obtenu dans ce jeu, les utilisateurs étant supposés être égoïstes et prenant des décisions de manière indépendante, peut égaler le débit global maximal d'un système slotted Aloha dans lequel la décision de savoir qui transmet sur un créneau donné est faite de manière centralisée. Cette caractérisation du contrôle d'accès au support fournit des informations sur le prix des décisions distribuées (par rapport à celles contrôlées par une station de base ou un point d'accès), ainsi que sur l'impact de différents modèles de canal sur le débit global attendu pour un accès aléatoire.

### III.2.3.6 Le jeu d'expédition des paquets

La théorie des jeux peut être appliquée pour aider un nœud à décider s'il devrait expédier un paquet reçu ou pas. Dans un réseau ad hoc, un nœud source communique avec sa destination d'une manière directe si elle est à sa portée de communication ou d'une manière indirecte en utilisant des chemins multi-sauts (à l'aide des nœuds intermédiaires) si elle n'est pas à sa portée de communication. L'établissement des itinéraires de multi-sauts dans un réseau ad-hoc se fonde sur l'expédition des paquets des autres nœuds. M. Naserian et al. Proposent une approche de l'expédition des paquets appelée FDG (Forwarding Dilemma Game) [31] pour réduire le nombre des messages diffusés en appliquant le mécanisme de la théorie des jeux. Ce mécanisme conduit à éliminer les nœuds égoïstes et à coordonner entre les nœuds dans le 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.

### III.3 Etude du routage dans les réseaux Ad hoc par la théorie de jeu :

Un réseau mobile Ad hoc est formé d'équipements sans-fil et mobiles qui s'auto-organisent sans l'aide d'une infrastructure préexistante et qui peuvent communiquer directement entre eux s'ils sont situés à la portée radio d'un à l'autre. La mobilité des nœuds génère une topologie dynamique, ce qui implique la modification et l'apparition et la disparition des routes. Ainsi l'absence d'une infrastructure chargée de routage augmente sa complexité. Le problème qui se pose dans ce contexte est l'adaptation de la méthode d'acheminement des données (routage) entre les composants du réseau. Le routage est une fonction importante dans les MANETS où chaque entité mobile joue le rôle d'un routeur et participe activement dans la transmission des paquets de données et pour faire la communication entre les nœuds directement si un nœud dans sa portée radio.

Sinon elle utilise la collaboration entre les voisins. Les recherches actuelles dans les réseaux Ad Hoc sont dirigées vers les algorithmes de routage. En effet plusieurs articles ont étudié le routage dans les réseaux ad hoc en introduisant des concepts de la théorie des jeux dans le but de comprendre comment améliorer le réseau Adhoc.

### III.3.1 Problématique :

L'acheminement d'un paquet d'une source vers une destination nécessite un protocole de routage qui transmet les paquets par le meilleur chemin, le meilleur chemin selon la conception d'AODV original est le plus court chemin (nombre de sauts).

La problématique de ce travail est comment changer la métrique de plus court chemin pour améliorer les performances du l'AODV et éviter les situations de saturation et de surcharge au niveau des nœuds et des routes également. Pour cela, nous suggérons une nouvelle métrique qui se base sur l'emploi d'autres paramètres intervenant dans la sélection des routes afin d'assurer une durée de fonctionnement robuste et plus prolongée avec de meilleures performances.

### III.3.2 Les objectifs :

- Concevoir et réaliser une version modifiée d'AODV où la métrique de déterminer le meilleur chemin devient la charge au lieu de nombre de saut.
- Evaluation des performances de notre protocole en équilibre à travers 3 scénarios où on change la topologie et les quantités de trafic dans le réseau.
- Comparaison des résultats de protocole AODV classique et le protocole AODV en équilibre.
- Notre objectif est de spécifier une méthode d'apprentissage à information minimale.

### III.3.3 Modèle de jeu de routage : [32,33]

Nous représentons notre jeu de routage à l'aide d'un un graphe  $G = (V, E)$  avec  $V$  l'ensemble des nœuds ou sommets et  $E$  l'ensemble des arcs. Le nombre de joueurs est représenté par  $N$ , avec  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ . Et tout joueur  $i \in \{1, \dots, n\}$  est caractérisé par :

- Son poids  $W_i$ , un entier quelconque qui représente la taille du message à transmettre.

- Un couple de sommets  $(S_i, D_i) \in V \times V$  respectivement sa source et sa destination.
- Un ensemble  $P_i$  des plus courts chemins allant de  $S_i$  à  $D_i$  de cardinalité  $m_i$ .
- Un vecteur de stratégies  $q_i$  indexé sur les chemins de  $P_i$ . Pour tout  $j \in \{1, \dots, m_i\}$ ,  $q_{i,p}$  la probabilité pour  $i$  de choisir le chemin  $p$  dans  $P_i$ .

Par définition d'un vecteur de stratégies  $\sum_{p=1}^{m_i} q_{i,p} = 1$ . L'espace de stratégies du joueur  $i$ , qui à chaque partie choisit un chemin unique parmi  $m_i$ , est noté :

$S_i = [0,1]^{m_i}$ . L'espace de stratégies du jeu est défini par l'ensemble des vecteurs stochastiques des joueurs, il est noté  $\prod_{i=1}^n S_i = [0,1]^{m_1+m_2+\dots+m_n}$ .

Nous notons  $p_i(t)$  le chemin que choisit le joueur  $i$  à la partie  $t$ .

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 $P_i$ . 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. $\prod_{i=1}^n S_i = [0,1]^{m_1+m_2+\dots+m_n}$

**Tableau III.1 :** Modélisation du jeu de routage dans le réseau ad hoc.[24]

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 :

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

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 :

$$C_p = \sum_{j \in p} C_j \quad (III.2)$$

### III.3.4 Utilité associée à un chemin :[33]

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

$$U_p = 1 - C_p \quad (\text{III.3})$$

**Remarque** : Sans l'hypothèse selon laquelle les prix sont toujours positifs ou nuls et inférieurs ou égaux à 1, nous poserions une relation de la forme :

$$U_p = 1 - \frac{C_p}{X} \quad (\text{III.4})$$

Avec  $X$  une valeur de normalisation dans tous les cas supérieurs au prix du plus cher chemin possible. Nous pouvons considérer la valeur  $X$  de deux manières : soit une connaissance commune à tous les joueurs soit une valeur propre à chaque joueur.

Le jeu est joué de façon répétée (mais nous n'en faisons pas ici une étude en tant que jeu répété au sens strict du terme puisque notre objectif est d'atteindre un état final stable). Les joueurs font une partie, puis une autre etc. en adaptant leurs stratégies au cours du temps. Ce qui nous intéresse est l'état final des stratégies des joueurs, si ceux-ci se stabilisent. A 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  $(t)$ . 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 :

$$d_i(a_1, a_2, \dots, a_n) = d_i, \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (\text{III.5})$$

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 précisé.

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 :

$$\begin{aligned} g_i(q_1, \dots, q_n) &= E [d_i \mid \text{le joueur } i \text{ a pour stratégie } q_i] \\ &= \sum_{a_1, a_2, \dots, a_n} d_i(a_1, a_2, \dots, a_n) \times \prod_{k=1}^n q_k(a_k) \quad (\text{III.6}) \end{aligned}$$

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  $d(Q)$  les coins de  $S$  et nous le notons  $S^*$ .

### III.3.5 Equilibre de Nash du jeu de routage :[33]

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  $\forall q_i \in S_i$  :

$$g_i(q^*_1, \dots, q^*_{i-1}, q^*_i, q_{i+1}, \dots, q^*_n) \geq g_i(q^*_1, \dots, q^*_{i-1}, q_i, q^*_{i+1}, \dots, q^*_n) \quad (\text{III.7})$$

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 :

$$h_{i,p}(q_1, \dots, q_{i-1}, p, q_{i+1}, \dots, q_n) = E[d_i | (Q-i, p)]. \quad (\text{III.8})$$

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

$$g_i(Q) = \sum_{p \in P_i} q_{i,p} h_{i,p}(Q) \quad (\text{III.9})$$

### III.3.6 Déroulement d'une partie du jeu :[33]

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  $a_i(t)$  qui détermine son chemin  $p_i(t)$ .
- 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 :

$$U_i(t) = U_{p_i(t)} \quad (\text{III.10})$$

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

$$q_i(t+1) = q_i(t) + b \times U_i(t) \times (v_{p_i(t)} - q_i(t)) \quad (\text{III.11})$$

Où  $b \in [0,1]$  est un paramètre d'ajustement,  $v_p(t)$  est un vecteur unitaire de dimension  $m_i$  dont la  $p_i(t)$ <sup>ieme</sup> 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 :

$$\begin{aligned} q_{i,p}(t+1) &= (q_{i,p}(t) + b(t) \times (1 - q_{i,p}(t))) && \text{si } a_i(t) \in p \\ &= q_{i,p}(t) \times (1 - b(t) U_i(t)) && \text{si } a_i(t) \notin p \end{aligned} \quad (\text{III.12})$$

### III.4 Développement du protocole de routage AODV [24] :

Parmi Les inconvénients majeurs de protocole AODV est qu'il choisit le meilleur chemin à base de nombre de saut. L'objectif principal de ce chapitre est de présenter notre contribution qui consiste de modifier le protocole de routage AODV de sorte que les routes sont choisies à base de coût (routage avec coût minimum) qui est en fonction de la charge dans la file d'attente de l'interface de chaque nœud du chemin  $p$  pour éviter les chemins congestionnés et cela nous permettrait d'avoir un équilibre de charge au niveau de tout le réseau et par conséquent moins de congestion et plus de stabilité et robustesse. Comme nous avons détaillé le protocole de routage dans le 1<sup>er</sup> chapitre qui repose sur le mécanisme de découverte de route à la demande, dans notre travail des modifications ont été apportés, pour améliorer le délai et le débit des chemins. On propose la modification suivante :

- ❖ Le calcul du coût de chaque interface dans les nœuds de réseau en fonction de sa charge dans la file d'attente.
- ❖ Périodiquement les nœuds mis à jour leur table de routage par le coût de ses interfaces au lieu de nombre de sauts.
- ❖ Modifier la métrique de l'algorithme de sélection de route, par le changement de nombre de sauts avec le coût, ce dernier nous ramène à stabiliser le réseau.
- ❖ De ce fait le fonctionnement de processus de découverte de route du protocole AODV devient de la manière suivante :
  - La source diffuse le paquet RREQ quand il n'a pas une route pour transmettre des données à une destination.
  - Réserve un champ dans la structure de RREQ pour ajouter la valeur de coût d'un nœud, chaque nœud calcule le coût de l'interface par la formule de coût
  - Le nœud intermédiaire qui a reçu la requête de la source qui contient un identifiant (RREQ\_ID) associé à l'adresse de la source, vérifie l'identité de RREQ envoyer par la source , s'il a déjà reçu le paquet de la même source (même identifiant) 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 où il n'a pas de route valide vers la destination, 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 :

$$C_p = \sum_{j=1}^n C(j) \quad (\text{III.13})$$

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

- La destination choisi la voie qui a le coût moins (le chemin le moins congestionné) en répondant par un paquet RREP en cas d'égalité des coûts il choisit le plus court chemin.

### III.4.1 Déroulement de l'algorithme :

#### a) La source :

La source  $S$  veut atteindre la destination  $D$ , si :

- ✓ La route existe : début de transmission de données.
- ✓ La route n'existe pas :
  - La source lance le processus de découverte de route.
  - Créer le message de demande de route RREQ.
  - Initier le coût ( $C_p = C_s$ ).
  - Initier le nombre de saut (0)
  - Diffuser RREQ aux voisins :
    - Chemin prêt ( $S$  reçoit RREP) : début de transmission.
    - Chemin n'est pas prêt : ( $S$  ne reçoit pas RREP après une durée de temps) ou ( $S$  reçoit une RERR) :
      - Processus de découverte de route.

#### b) Nœud intermédiaire (I) :

Réception d'une RREQ :

- ✓ Identifiant de la source (RREQ\_ID) s'il existe : supprime RREQ.
- ✓ Identifiant de la source (RREQ\_ID) s'il n'existe pas, si :
  - La route existe :
    - Max (NS) : (I envoie RREP à S).
    - Sinon : supprime RREQ.
  - La route n'existe pas :

- Additionner le coût  $C_p = C_s + C_I$ .
- Cumuler le nombre de saut.
- MAJ  $C_p$  et nombre de saut dans RREQ.
- Diffusion de RREQ aux voisins.

**c) Destinataire D :**

Réception d'une RREQ (@IP\_Dest\_RREQ=@IP\_D) :

- ✓ Max (NS) :
  - Chemin avec un coût minimum : envoie RREP à S.
    - Chemins avec coûts égaux : Chemin moins de saut (plus court) :  
RREQ envoyer à S.  
Sinon : RREQ supprimer.
  - Sinon : RREQ supprimer.
- ✓ (NS) inférieur : RREQ supprimer.

III.4.2 Organigramme résumant les algorithmes modifiés :

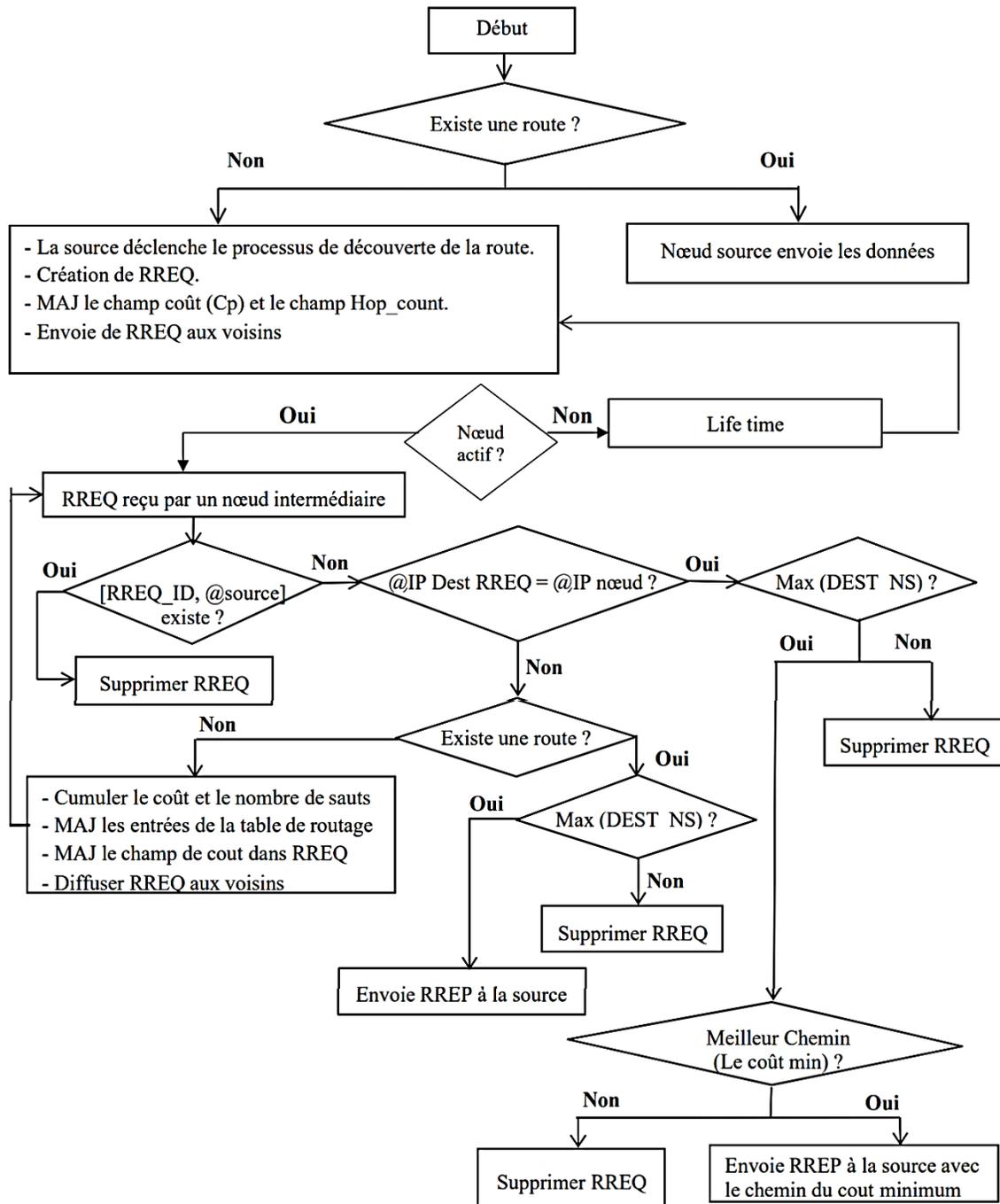


Figure III.1 : Organigramme de l’AODV amélioré.

### III.5 Etude des scénarios de simulation :

Pour tester les performances du réseau après l'application de la contribution apportée au travail fait dans [24] 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.5.1 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 :

$$T_{\text{trans}} = T_{\text{prop}} + T_{\text{attente}} = \frac{d_p}{V} + \frac{1}{R} \sum_{j=1}^n (C_j * L) \quad (\text{III.14})$$

Avec :

$T_{\text{trans}}$  : temps de transmission.

$T_{\text{prop}}$  : temps de propagation.

$T_{\text{attente}}$  (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 :

$$\text{débit} = \frac{W_i * L}{T_{\text{trans}}} * 8 \quad (\text{III.15})$$

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

**III.5.2 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	$W_i = 4$ 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 de simulations [24].

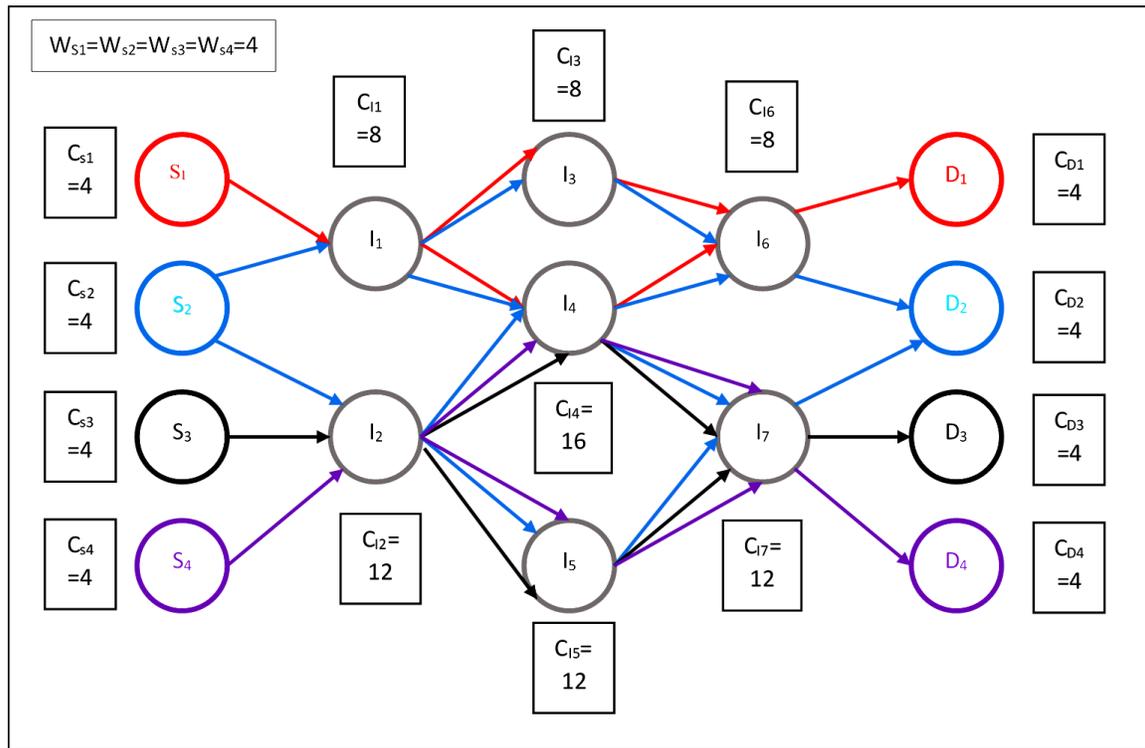
Par la considération des paramètres mentionnés ci-dessous, nous allons proposer des scénarios différents, en précisant à chaque fois les coordonnées des nœuds en services ainsi que le type des nœuds (source, intermédiaire, destinataire) et aussi l'état du nœud (actif ou éteint). Ensuite, nous traçons 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.

**1<sup>er</sup> scenario**

Nous faisons cette expérience en utilisant quinze (15) nœuds avec quatre (4) sources (S) voulant transmettre des paquets à 4 destinations (D) à travers les 7 nœuds intermédiaires (I) simultanément. Les nœuds se disposent comme le montre la figure (III.2), avec les coordonnées suivantes (échelles cartésienne, l'unité est mètre) et (C en paquet).

$S1(0,800)$ ,  $S2(0,600)$ ,  $S3(0,400)$ ,  $S4(0,200)$ ,  $I1(200,700)$ ,  $I2(200,400)$ ,  $I3(400,800)$ ,  $I4(400,600)$ ,  $I5(400,200)$ ,  $I6(600,700)$ ,  $I7(600,400)$ ,  $D1(800,800)$ ,  $D2(800,600)$ ,  $D3(800,400)$ ,  $D4(800,200)$ .

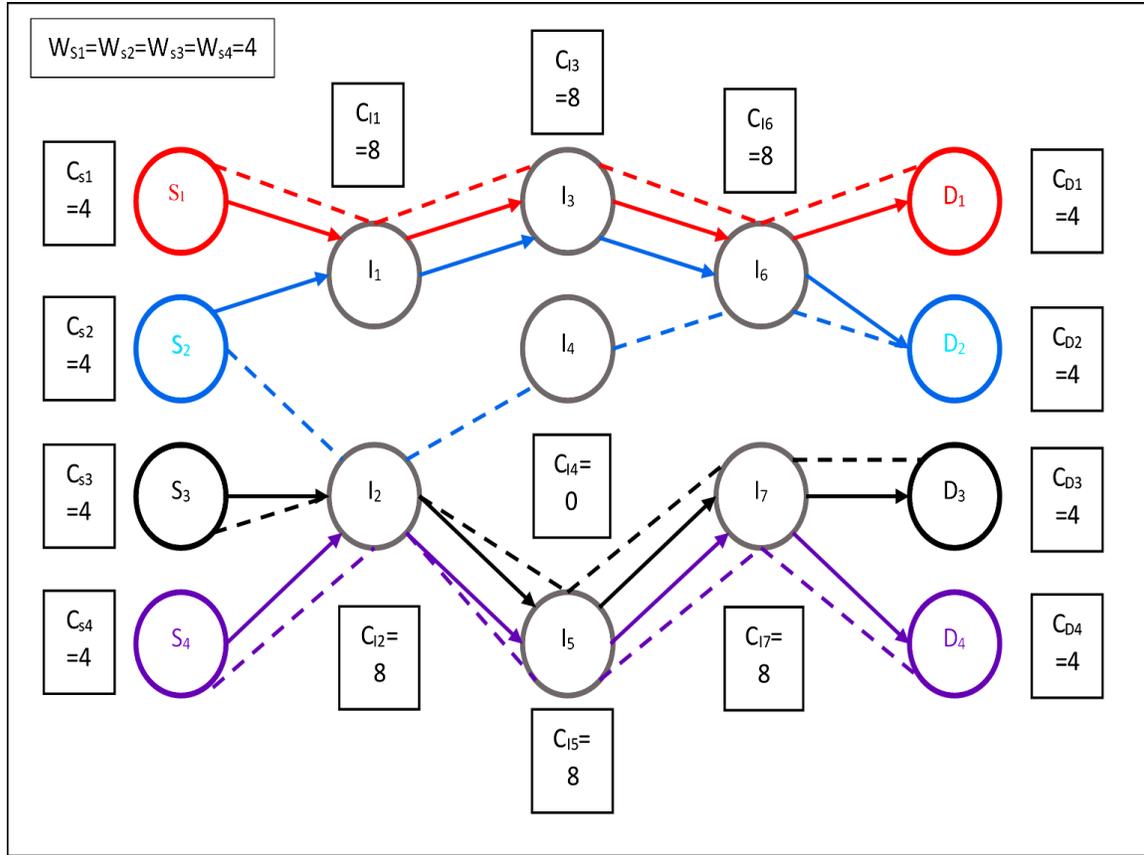


**Figure III.2 :** La topologie du réseau dans le 1<sup>er</sup> scénario.

❖ Dans le schéma suivant (figure III.3) nous représentons :

- La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre leurs paquets à la destination en utilisant l'AODV après l'équilibre (*les arcs continus*).

- La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre leurs paquets à la destination en utilisant L'AODV classique (*les arcs discontinus*).



**Figure III.3 :** Présentation des meilleurs chemins avec l'AODV classique et l'AODV après l'équilibre suivant le 1<sup>er</sup> scénario.

- ❖ Dans le tableau ci-après (Tableau III.3) nous allons représenter les différents chemins et leurs paramètres et :
  - La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant l'AODV après l'équilibre est indiquée par la couleur *gras vert*.
  - La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant L'AODV classique est indiquée par la couleur *gras bleu*.

J	Chemin	$q_{i,p(t)}$	$C_p$	$U_p$	$q_{i,p(t)}$	dp(m)	Avant L'équilibre		Après l'équilibre	
							$T_{trans}$ (ms)	Débit (Kbit/s)	$T_{trans}$ (ms)	Débit (Kbit/s)
S <sub>1</sub>	<b>S<sub>1</sub>,I<sub>1</sub>,I<sub>3</sub>,I<sub>6</sub>,D<sub>1</sub></b>	<b>0.50</b>	<b>32</b>	<b>0.20</b>	<b>0.51</b>	<b>894.427</b>	<b>11.919</b>	<b>1374.612</b>	<b>11.919</b>	<b>1374.612</b>
	S <sub>1</sub> ,I <sub>3</sub> ,I <sub>4</sub> ,I <sub>6</sub> ,D <sub>1</sub>	0.50	40	0	0.48	894.427	14.898	1099.745	10.429	1570.979
S <sub>2</sub>	<b>S<sub>2</sub>,I<sub>1</sub>,I<sub>3</sub>,I<sub>6</sub>,D<sub>2</sub></b>	<b>0.166</b>	<b>32</b>	<b>0.333</b>	<b>0.194</b>	<b>894.427</b>	<b>11.919</b>	<b>1374.612</b>	<b>11.919</b>	<b>1374.612</b>
	S <sub>2</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,I <sub>6</sub> ,D <sub>2</sub>	0.166	40	0.166	0.163	894.427	14.898	1099.745	10.429	1570.979
	S <sub>2</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,I <sub>7</sub> ,D <sub>2</sub>	0.166	44	0.083	0.165	789.292	16.387	999.840	11.918	1374.696
	S <sub>2</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,I <sub>6</sub> ,D <sub>2</sub>	0.166	44	0.083	0.165	789.292	16.387	999.840	11.918	1374.696
	S <sub>2</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,I <sub>7</sub> ,D <sub>2</sub>	0.166	48	0	0.166	1131.370	17.877	916.473	13.409	1221.878
	S <sub>2</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>5</sub> ,I <sub>7</sub> ,D <sub>2</sub>	0.166	44	0.083	0.165	1131.370	16.387	999.840	16.387	999.840
S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,I <sub>7</sub> ,D <sub>3</sub>	0.50	48	0	0.50	682.843	17.876	916.550	10.428	1571.086
	<b>S<sub>3</sub>,I<sub>2</sub>,I<sub>5</sub>,I<sub>7</sub>,D<sub>3</sub></b>	<b>0.50</b>	<b>44</b>	<b>0.083</b>	<b>0.50</b>	<b>682.843</b>	<b>16.386</b>	<b>999.861</b>	<b>11.918</b>	<b>1374.737</b>
S <sub>4</sub>	S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,I <sub>7</sub> ,D <sub>4</sub>	0.50	48	0	0.50	1131.37	17.877	916.473	10.430	1570.860
	<b>S<sub>4</sub>,I<sub>2</sub>,I<sub>5</sub>,I<sub>7</sub>,D<sub>4</sub></b>	<b>0.50</b>	<b>44</b>	<b>0.083</b>	<b>0.50</b>	<b>1131.37</b>	<b>16.387</b>	<b>999.840</b>	<b>11.919</b>	<b>1374.565</b>

Tableau III.3 : Les différents chemins et leurs performances dans le 1<sup>er</sup> scénario.

III.5.2.1 Résultat des simulations 1<sup>er</sup> scénario :

❖ Le délai

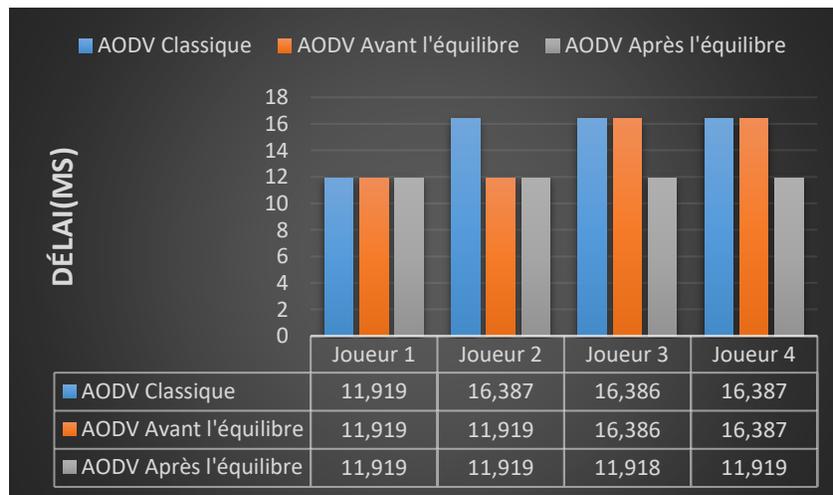
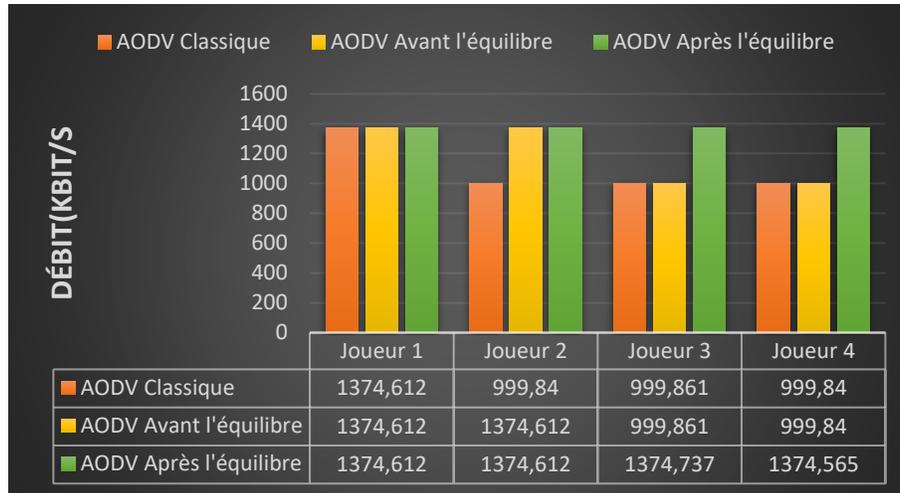


Figure III.4 : Délai de l'AODV avant et après l'équilibre dans le 1<sup>er</sup> scénario.

❖ Le débit :

**Figure III.5 :** Débit AODV avant et après l'équilibre dans 1<sup>er</sup> scénario.

D'après les deux histogrammes des deux figures (III.4 et III.5) on observe que :

- Le 1<sup>er</sup> joueur a gardé les mêmes performances en termes de délai et débit de transmission.
- Le 2<sup>ème</sup> joueur a gardé les mêmes performances avant et après l'équilibre, par contre il est moins performant à l'AODV classique (en dehors de l'équilibre).
- Le 3<sup>ème</sup> et le 4<sup>ème</sup> joueur ont amélioré leurs performances en utilisant l'AODV après l'équilibre par rapport à l'AODV (classique et avant l'équilibre).

**2<sup>ème</sup> Scénario**

Maintenant, on utilise treize (13) nœuds avec quatre (4) sources (S) voulant transmettre des paquets à (4) destinations (D) à travers cinq (5) nœuds intermédiaires (I) simultanément. Les nœuds se disposent comme le montre la figure (III.6), avec les coordonnées suivantes (échelles cartésienne, l'unité est mètre) et (C en paquet).

$S1(0,600)$ ,  $S2(0,400)$ ,  $S3(200,600)$ ,  $S4(200,400)$ ,  $I1(400,800)$ ,  $I2(400,500)$ ,  $I3(400,200)$ ,  $I4(600,600)$ ,  $I5(600,400)$ ,  $D1(800,500)$ ,  $D2(1000,500)$ ,  $D3(800,800)$ ,  $D4(800,200)$ .

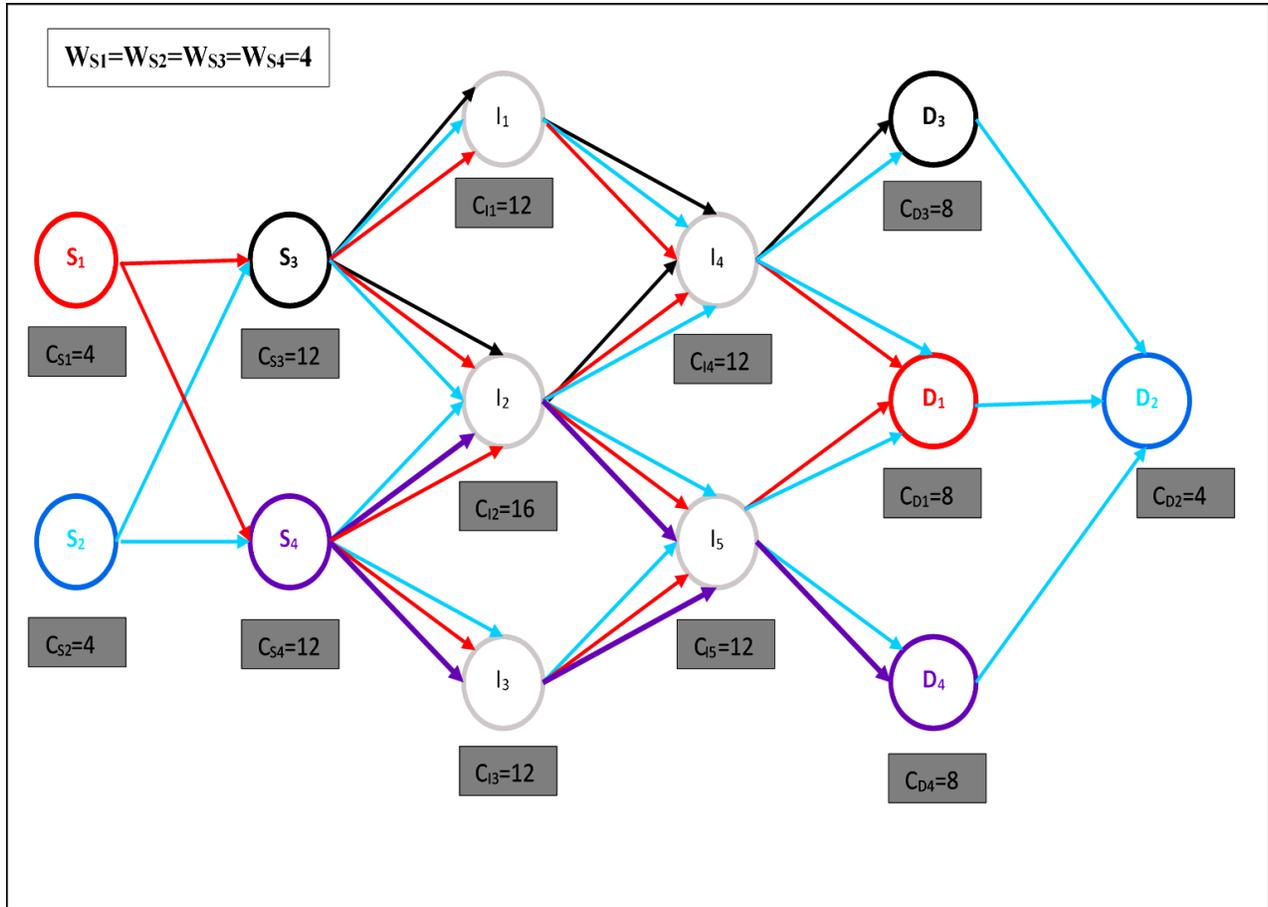
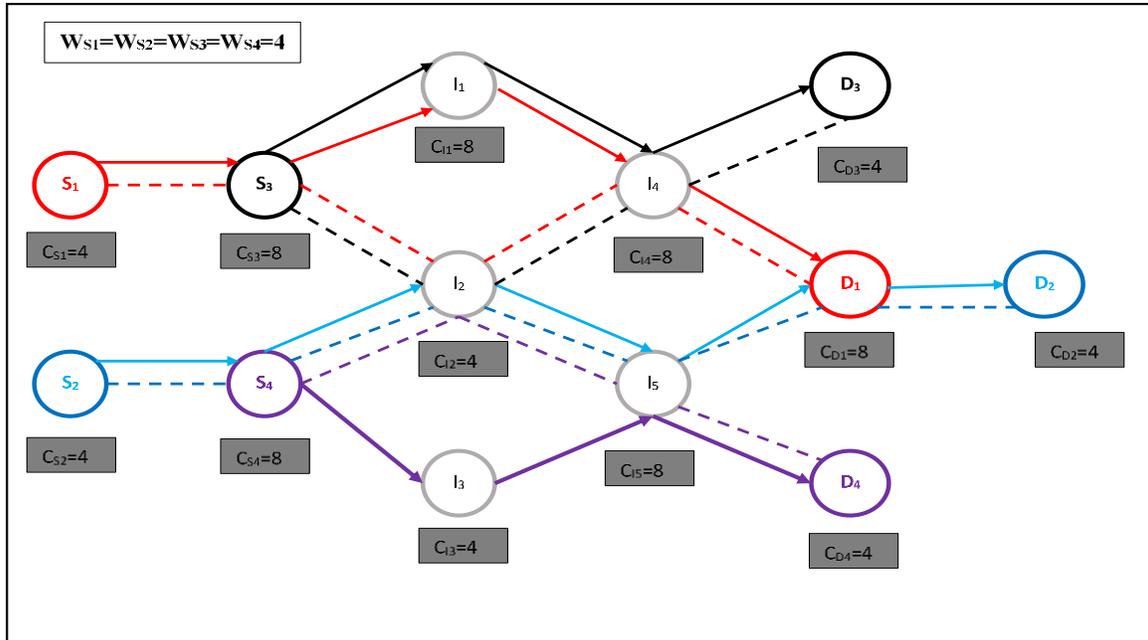


Figure III.6 : La topologie du réseau dans le 2<sup>ème</sup> scénario.

- ❖ Dans le schéma suivant (figure III.7) nous allons représenter :
  - La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre leurs paquets à la destination en utilisant l'AODV après l'équilibre est indiquée en *arcs continus*.
  - La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre leurs paquets à la destination en utilisant L'AODV classique est indiquée en *arcs discontinus*



**Figure III.7 :** Présentation des meilleurs chemins avec l’AODV classique et l’AODV après l’équilibre suivant le 2<sup>ème</sup> scénario.

- ❖ Dans le tableau suivant (Tableau III.4) nous allons présenter les différents chemins et leurs paramètres et :
  - La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant l’AODV après l’équilibre est indiquée en *gras vert*.
  - La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant L’AODV classique est indiquée en *gras bleu*.

J	Chemin	q <sub>i,p(t0)</sub>	C <sub>p</sub>	U <sub>p</sub>	q <sub>i,p(t1)</sub>	dp(m)	Avant L'équilibre		Après l'équilibre	
							T <sub>trans</sub> (ms)	Débit (Kbit/s)	T <sub>trans</sub> (ms)	Débit (Kbit/s)
S <sub>1</sub>	<b>S<sub>1</sub>,S<sub>3</sub>,I<sub>1</sub>,I<sub>4</sub>,D<sub>1</sub></b>	<b>0.166</b>	<b>48</b>	<b>0.769</b>	<b>0.230</b>	<b>989.29</b>	<b>17.88</b>	<b>916.50</b>	<b>13.41</b>	<b>1221.92</b>
	S <sub>1</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub>	0.166	52	0	0.166	870.82	19.37	846.03	13.41	1221.96
	S <sub>1</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>1</sub>	0.166	52	0	0.166	870.82	19.37	846.03	14.90	1099.79
	S <sub>1</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub>	0.166	52	0	0.166	953.66	19.37	846.03	14.90	1099.77
	S <sub>1</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>1</sub>	0.166	52	0	0.166	953.66	19.37	846.03	16.39	999.806
	S <sub>1</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>3</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>1</sub>	0.166	48	0.769	0.153	1072.13	17.88	916.50	16.39	999.782
S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>3</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	52	0.071	0.082	1491.92	19.37	846.03	19.37	845.94
	S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	52	0.071	0.082	1272.14	19.37	846.03	19.37	845.97
	S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>3</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	56	0	0.083	1373.45	20.86	785.54	16.39	999.72
	S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	56	0	0.083	1153.66	20.86	785.54	16.39	999.77
	S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>1</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	56	0	0.083	1153.66	20.86	785.54	14.90	1099.72
	S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>4</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	56	0	0.083	1373.45	20.86	785.54	14.90	1099.66
	S <sub>2</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>3</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	56	0	0.083	1290.61	20.86	785.54	14.90	1099.68
	S <sub>2</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	56	0	0.083	1070.82	20.86	785.54	14.90	1099.74
	<b>S<sub>2</sub>,S<sub>4</sub>,I<sub>2</sub>,I<sub>5</sub>,D<sub>1</sub>,D<sub>2</sub></b>	<b>0.083</b>	<b>52</b>	<b>0.071</b>	<b>0.089</b>	<b>1070.82</b>	<b>19.73</b>	<b>846.03</b>	<b>13.41</b>	<b>1221.89</b>
	S <sub>2</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>4</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	56	0	0.083	1290.61	20.86	785.54	13.41	1221.83
	S <sub>2</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>3</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>1</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	52	0.071	0.082	1272.13	19.37	846.03	14.90	1099.69
S <sub>2</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>3</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>4</sub> ,D <sub>2</sub>	0.083	52	0.071	0.082	1491.93	19.37	846.03	14.90	1099.63	
S <sub>3</sub>	<b>S<sub>3</sub>,I<sub>1</sub>,I<sub>4</sub>,D<sub>3</sub></b>	<b>0.50</b>	<b>44</b>	<b>0.083</b>	<b>0.504</b>	<b>848.53</b>	<b>16.39</b>	<b>999.83</b>	<b>10.43</b>	<b>1571.06</b>
	S <sub>3</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>3</sub>	0.50	48	0	0.5	730.06	17.88	916.54	10.43	1571.06
S <sub>4</sub>	S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,I <sub>5</sub> ,D <sub>4</sub>	0.50	48	0	0.5	730.06	17.88	916.54	10.43	1571.06
	<b>S<sub>4</sub>,I<sub>3</sub>,I<sub>5</sub>,D<sub>4</sub></b>	<b>0.50</b>	<b>44</b>	<b>0.083</b>	<b>0.504</b>	<b>848.53</b>	<b>16.39</b>	<b>999.83</b>	<b>8.94</b>	<b>1832.75</b>

Tableau III.4 : Les différents chemins et leurs performances dans le 2<sup>ème</sup> scénario.

III.5.2.2 Résultat des simulations 2<sup>ème</sup> scénario :

❖ Le Délai :

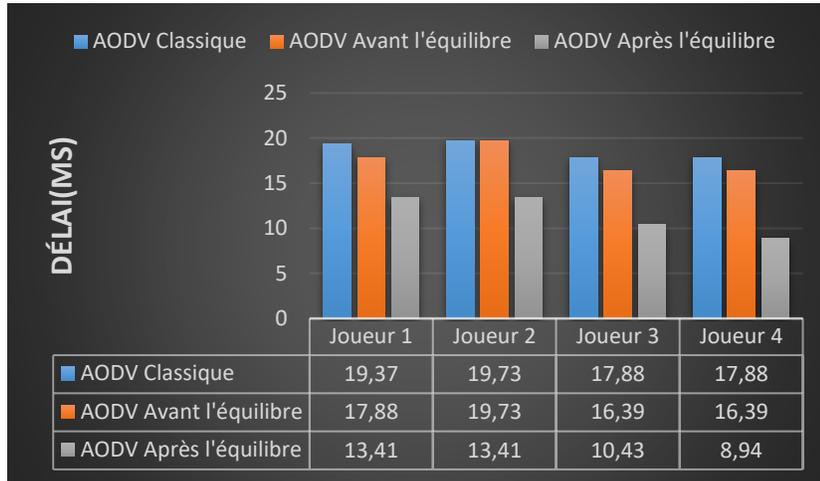


Figure III.8 : Délai AODV avant et après l'équilibre (2<sup>ème</sup> scénario).

❖ Le débit :

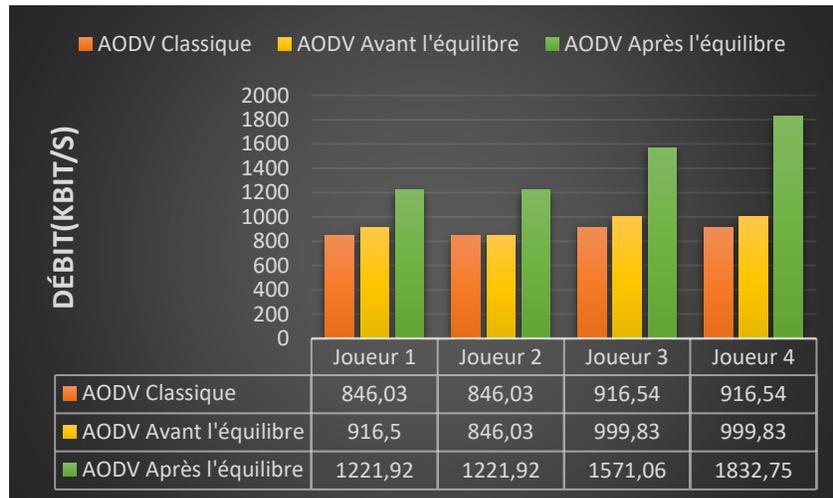


Figure III.9 : Débit AODV avant et après l'équilibre (2<sup>ème</sup> scénario).

D'après les deux histogrammes des deux figures (III.8 et III.9) on observe que tous les joueurs ont amélioré leurs performances en termes de délai et débit de transmission après l'équilibre par rapport à l'AODV classique et avant l'équilibre.

3<sup>ème</sup> scénario

Nous faisons cette expérience en utilisant douze (12) nœuds avec quatre (4) sources (S) voulant transmettre des paquets à quatre (4) destinations (D) à travers quatre (4) nœuds intermédiaires (I) simultanément.

Dans ce scénario nous avons le nœud (I<sub>1</sub>) est désactivé, on donne à tous les chemins qui traverse ce nœud un coût maximal.

Les nœuds se disposent comme le montre la figure (III.10), avec les coordonnées suivantes (échelles cartésienne, l'unité est mètre) et (C en paquet).

$S1(100,800)$ ,  $S2(100,500)$ ,  $S3(300,300)$ ,  $S4(300,1000)$ ,  $I1(400,650)$ ,  $I2(600,1000)$ ,  $I3(600,200)$ ,  $I4(700,650)$ ,  $D1(800,800)$ ,  $D2(800,500)$ ,  $D3(1000,300)$ ,  $D4(1000,1000)$ .

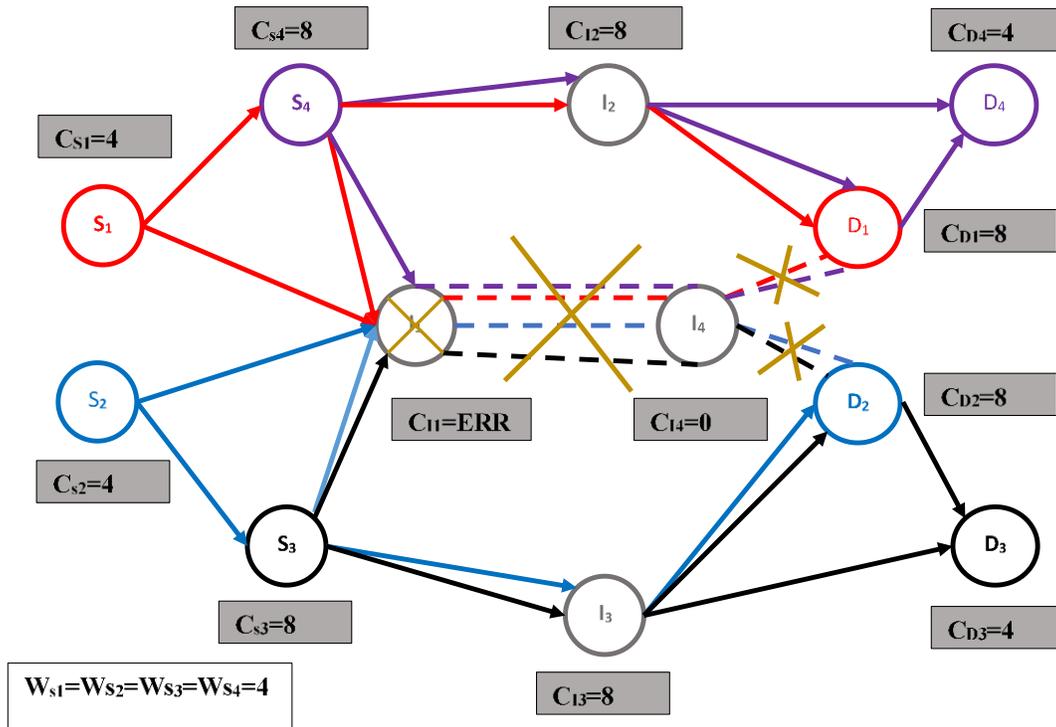
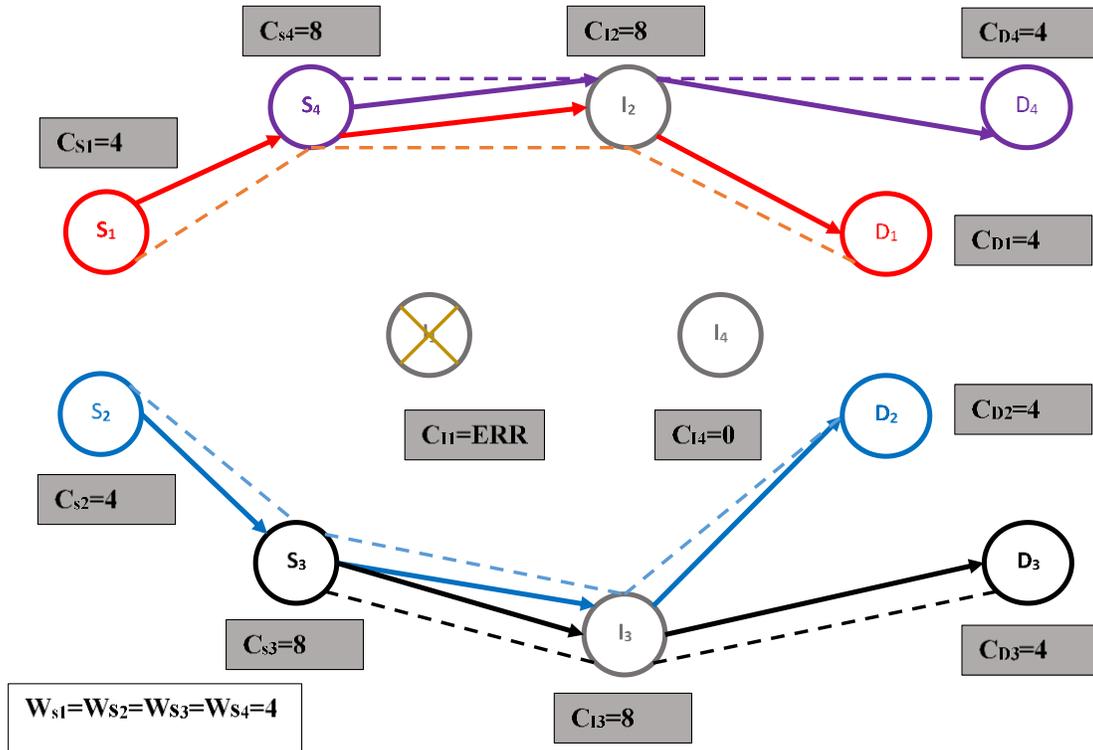


Figure III.10 : La topologie du réseau dans le 3<sup>ème</sup> scénario.

❖ Dans le schéma suivant (figure III.11) nous allons représenter :

- La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant l'AODV après l'équilibre (*les arcs continus*).
- La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant L'AODV classique (*les arcs discontinus*).



**Figure III.11** : Présentation des meilleurs chemins avec l'AODV classique et l'AODV après l'équilibre suivant le 3<sup>ème</sup> scénario.

❖ Dans le tableau suivant (Tableau III.5) nous allons présenter les différents chemins et leurs paramètres et :

- La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant l'AODV après l'équilibre (*gras vert*).
- La meilleure route choisie par chaque source pour transmettre les paquets à la destination en utilisant L'AODV classique (*gras bleu*).

J	Chemin	q <sub>i.p(t0)</sub>	C <sub>p</sub>	U <sub>p</sub>	q <sub>i.p(t1)</sub>	dp(m)	Avant L'équilibre		Après l'équilibre	
							T <sub>trans</sub> (ms)	Débit (Kbit/s)	T <sub>trans</sub> (ms)	Débit (Kbit/s)
S <sub>1</sub>	<b><u>S<sub>1</sub>,S<sub>4</sub>,I<sub>2</sub>,D<sub>1</sub></u></b>	<b>0.333</b>	<b>28</b>	<b>0.345</b>	<b>0.34</b>	<b>865.69</b>	<b>10.426</b>	<b>1571.428</b>	<b>8.937</b>	<b>1833.333</b>
	S <sub>1</sub> ,S <sub>4</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub>	0.333	29	0	0.33	1127.13	ERR	ERR	ERR	ERR
	S <sub>1</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub>	0.333	29	0	0.33	815.69	ERR	ERR	ERR	ERR
S <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>2</sub>	0.333	29	0	0.33	815.69	ERR	ERR	ERR	ERR
	S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>2</sub>	0.333	29	0	0.33	1127.13	ERR	ERR	ERR	ERR
	<b><u>S<sub>2</sub>,S<sub>3</sub>,I<sub>3</sub>,D<sub>2</sub></u></b>	<b>0.333</b>	<b>28</b>	<b>0.345</b>	<b>0.34</b>	<b>959.63</b>	<b>10.426</b>	<b>1571.428</b>	<b>8.937</b>	<b>1833.333</b>
S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>2</sub> ,D <sub>3</sub>	0.333	29	0	0.33	1127.13	ERR	ERR	ERR	ERR
	<b><u>S<sub>3</sub>,I<sub>3</sub>,D<sub>3</sub></u></b>	<b>0.333</b>	<b>20</b>	<b>0.310</b>	<b>0.35</b>	<b>728.54</b>	<b>7.447</b>	<b>2199.999</b>	<b>7.447</b>	<b>2199.999</b>
	S <sub>3</sub> ,I <sub>3</sub> ,D <sub>2</sub> ,D <sub>3</sub>	0.333	28	0.345	0.32	959.63	10.426	1571.428	10.42	1571.428
S <sub>4</sub>	<b><u>S<sub>4</sub>,I<sub>2</sub>,D<sub>4</sub></u></b>	<b>0.333</b>	<b>20</b>	<b>0.310</b>	<b>0.35</b>	<b>700</b>	<b>7.447</b>	<b>2199.999</b>	<b>7.447</b>	<b>2199.999</b>
	S <sub>4</sub> ,I <sub>2</sub> ,D <sub>1</sub> ,D <sub>4</sub>	0.333	28	0.345	0.32	865.69	10.426	1571.428	10.42	1571.428
	S <sub>4</sub> ,I <sub>1</sub> ,I <sub>4</sub> ,D <sub>1</sub> ,D <sub>4</sub>	0.333	29	0	0.33	1127.13	ERR	ERR	ERR	ERR

Tableau III.5 : les différents chemins et leurs performances dans le 3<sup>ème</sup> scénario.

III.5.2.3 Résultat des simulations 3<sup>ème</sup> scénario :

❖ Le Délai :

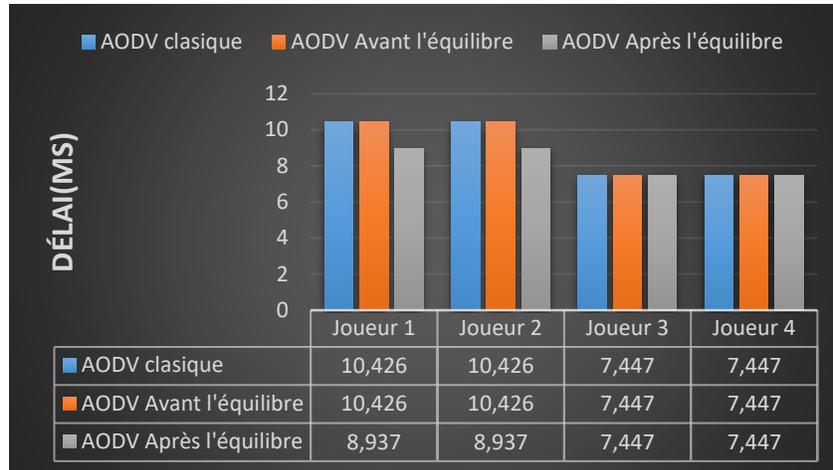


Figure III.12 : Délai AODV (classique-avant et après l'équilibre) 3<sup>ème</sup> scénario.

❖ Le débit :

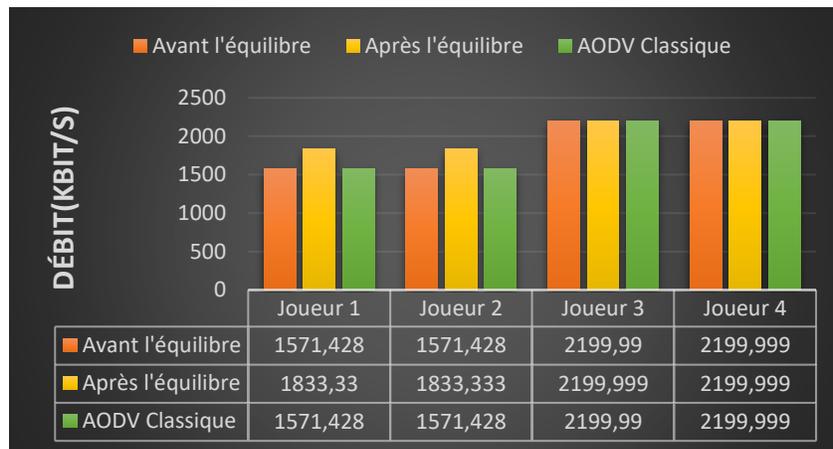


Figure III.13 : Débit AODV (classique-avant et après l'équilibre) 3<sup>ème</sup> scénario.

D'après les deux histogrammes des deux figures (III.12 et III.13) on observe que les deux joueurs après l'équilibre ont gardé les mêmes performances que L'AODV classique et avant l'équilibre, par contre les 2 autres joueurs ont amélioré leurs performances après l'équilibre.

### III.5.3 Discussion des résultats :

D'après les résultats des trois scénarios précédents nous avons constaté que chaque nœud essaye d'améliorer ses performances en termes de débit et délai de transmission après avoir établi un équilibre dans l'AODV et cela consiste à changer la métrique de l'AODV classique qui utilise le choix de la meilleur route a base du nombre de sauts de chaque chemin en choisissant le minimum de nombre de saut, par une nouvelle métrique qui évite les chemins encombrer et choisit les chemins moins chargés dans la file d'attente de l'ensemble des nœuds qui compose chaque chemin.

Dans le 1<sup>er</sup> scénario deux joueurs ont amélioré leurs performances après l'équilibre alors que les deux autres ont gardé les mêmes performances qu'avant l'équilibre, malgré leurs possibilités de l'amélioration en changeant leurs chemins par un autre moins coûteux (moins chargé), donc on peut dire que l'équilibre de Nash est établi dans ce scénario qui consiste aux joueurs 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.

Dans le 2<sup>eme</sup> scénario tous les nœuds ont amélioré leurs performances après l'équilibre (sont optimiser), lorsque chaque joueur avait la possibilité de changer sa stratégie individuelle sans nuire au réseau.

Dans le 3<sup>eme</sup> scénario nous avons un nœud intermédiaire désactivé ce qui introduit que les routes qui traverse ce nœud seront toute coupées, donc le nombre de chemins des nœuds est diminué, et cela nous ramène à une faible amélioration des performances de système après l'équilibre comme montré dans les deux histogrammes figure III.9 et III.10.

En fait, l'analyse des résultats des scénarios étudiés nous amènent à constater que l'amélioration que nous avons proposée pour augmenter les performances du réseau par l'adoption d'une méthode basée sur la théorie des jeux a prouvé son avantage sur le protocole AODV classique. Ainsi, l'impact de cette amélioration se confirme encore mieux au sein des situations plus compliquées lorsque le nombre de nœuds est plus important en formant alors un nombre de chemins plus grands et un partage multiple des arcs et des chemins entre les différents nœuds émetteurs.

**III.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons étudié et traité les problèmes de routage pour résoudre le problème de la congestion des routes relative à la charge du trafic dans la file d'attente des interfaces des nœuds pour diriger la transmission vers une route moins encombrée et atteindre un délai de transmission plus faible et un débit meilleur, et pour cela nous avons proposé une méthode qui est basée sur la théorie des jeux pour améliorer le protocole AODV. Cette amélioration consiste à modifier la métrique utilisée dans l'AODV classique (le meilleur chemin est choisi par le nombre de sauts), par une autre métrique qui est basée sur l'utilisation de coût pour choisir le meilleur chemin (le moins coûteux). Plusieurs scénarios des réseaux ad hoc sont proposés dans ce chapitre afin d'expliquer et démontrer l'avantage de cette méthode.

## **Conclusion générale**

Les réseaux ad hoc qui sont de plus en plus considérés dans les communications actuels au sein des situations spéciales et pour des services particuliers, peuvent atteindre des phases de saturation lorsqu'aucune station ne peut compléter ses transmissions, et cela peut se voir à un nombre important des stations voulant transmettre simultanément et aussi le cas des stations défectueuses qui ne peuvent pas assurer le routage des données. Dans ce cas, le réseau peut marquer des stations surchargée supportant un nombre de trafic énorme et d'autres légèrement chargée, et cela revient principalement au principe de la fonction de routage employée par ce réseau.

Nous avons essayé dans ce mémoire de traiter ces situations de non équilibre et qui mènent à une détérioration des performances du réseau, par l'implémentation de la théorie des jeux qui est le meilleur candidat en face des situations de conflits similaires. Pour cela, nous avons appliqué cette théorie sur le protocole de routage AODV spécialement utilisé dans les réseaux ad hoc.

Au cours de notre étude nous avons proposé un modèle de la théorie des jeux afin d'améliorer et d'optimiser le protocole AODV, pour but d'éviter le problème de la congestion des routes dans ce protocole, et pour cela nous avons apporté des modifications sur le fonctionnement de l'AODV, Ces modifications ont été apporté sur le processus de création de route par le changement du critère de choix de la meilleure route en introduisant la notion du coût, qui représente la charge du trafic dans la file d'attente d'un nœud. Pour démontrer l'impact de ce modèle, nous avons proposé différents scénarios des réseaux ad hoc portant chacun une situation différente de partage de chemin et des arcs. Les calculs de délai et débit de transmission ont montré l'avantage de la théorie des jeux sur les réseaux ad hoc, et l'avantage peut se voir en mieux lorsque le réseau est plus chargé des nœuds et du trafic de données en échange entre les nœuds.

## **Bibliographie**

- [1] : N. Younes, « La qualité de service des services multimédia sur les réseaux Ad hoc sans fil à multi-sauts », thèse de Maitrise, Réseaux de télécommunications, Ecole de technologie supérieure, Québec, Canada, LE 7 AOÛT 2009.
- [2] : C. Boulkamh, « Prise en compte de la QoS par les protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad hoc », mémoire pour l'obtention du diplôme du magistère en informatique, Informatique industrielle, Université El hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 2007-2008.
- [3] : D. Espès, « Protocoles de routage réactifs pour l'optimisation de bande passante et la garantie de délai dans les réseaux ad hoc mobiles », thèse de doctorat, Informatique, Université Toulouse III, Toulouse, France, 27 novembre 2008.
- [4]: S. Dhar, MANET: "Applications, Issues and Challenges for the Future, International Journal of Business Data Communications and Networking", Vol. 1, No. 2, April - June 2005, Pages 66-92.
- [5] : S. Naimi, « Gestion de la mobilité dans les réseaux Ad Hoc par anticipation des métriques de routage, thèse de doctorat », Physique, Université Paris-sud, Paris, France, le 22 juillet 2015.
- [6] : N. Badache, D. Djenouri, A. Derhab, T. Lemlouma, « Les protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad hoc », *RIST*. Vol, 12 n° 02, pp. 77-112. Année 2002.
- [7] : N. Boukhechem, « routage dans les réseaux mobiles ad hoc par une approche à base d'agents », mémoire pour l'obtention du diplôme du magistère en informatique, GL & IA, Université de Constantine, Constantine, Algérie, 25 juin 2008.
- [8]: T. Clausen and P. Jacquet. "Optimized link state routing protocol (OLSR), RFC3626", octobre 2003. URL <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>.
- [9]: David B. Johnson, David A. Maltz. "Dynamic Source Routing in Ad Hoc wireless" in Mobile Computing, edited by T. Imielinski and H. Korth, chapter 5, pp. 153-181, Kluwer, 1996.
- [10]: C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das, RFC 3561, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", July 2003.
- [11] : T. Penard. « La théorie des jeux et les outils d'analyse des comportements stratégique », université de Rennes 1, France, octobre 2004.

- [12] : O. Lakmeche, « REPLIQUE STRATEGIQUE AU SEIN D'UN OLIGOPOLE APPROCHE PAR LA THEORIE DES JEUX » thèse de magister, Université d'Oran, Algérie, 2010.
- [13] : D.S.I. Bekkar, " la segmentation des images par la théorie des jeux «, thèse de magister, Université d'Oran, Algérie, 2015.
- [14] : M. L. Boucenna : "Coopération dans les réseaux ad hoc par application de la théorie des jeux", Thèse de Doctorat en Electronique, Université Constantine1, 2014.
- [15] S. Konieczny, "Introduction à la théorie des jeux", Centre National de Recherche Scientifique, Université d'Artois- Lens, France.
- [16] : O. Boussaton, "Application de la théorie des jeux à l'optimisation du routage réseau : solutions algorithmiques", Université Henri Poincaré-Nancy 1, 2010.
- [17] : D.S.I. Bekkar, « la segmentation des images par la théorie des jeux », thèse de magister, Université d'Oran, 2015.
- [18] : R. Angelo : "Sécurité dans les réseaux mobiles de nouvelle génération", Thèse de doctorat, Ecole polytechnique de Montréal, 2011.
- [19] : T. Pénard, "La théorie des jeux et les outils d'analyse des comportements stratégiques", université de Rennes 1, vol. 38, pp.10-15, 2004
- [20] S. Ouadfel, « contribution à la segmentation d'Image Basées sur la résolution collective par Colonie de Fourmis », Thèse de Magister Université Hadj Lakhdar de Annaba, le 04/07/2006.
- [21] : D.S.I. Bekkar, « la segmentation des images par la théorie des jeux », thèse de magister, Université d'Oran, Algérie, 2015.
- [22] : O. Lakmeche, « REPLIQUE STRATEGIQUE AU SEIN D'UN OLIGOPOLE APPROCHE PAR LA THEORIE DES JEUX » thèse de magister, Université d'Oran, 2010.
- [23] : Y. Mirar, B.K. Djettou, Etude des réseaux ad hoc par la théorie des jeux, mémoire de master, systèmes des télécommunications, université Akli mohand oulhadj, bouira, 2018/2019.
- [24] : H. Badji, N. Badji, Etude des réseaux ad hoc par la théorie des jeux, mémoire de master, systèmes des télécommunications, université Akli mohand oulhadj, bouira, 2019/2020.

- [25] V. Srivastava, J. Allen, B. Mackenzie. "Using game theory to analyze wireless ad hoc networks". IEEE Communications Surveys & Tutorials Fourth Quarter, 2005.
- [26] N. Christin, J. Grossklags and J. Chuang, "Near Rationality and Competitive Equilibria in Networked Systems", ACM Sigcomm Wksp. Practice and Theory of Incentives and Game Theory in Networked Systems (PINS), Sept. 2004.
- [27] C. liang, K. R. Dandekar:"Power management in mimo ad hoc networks: a gametheoretic approach ", IEEE Transactions on Wireless Communications vol. 6, pp. 2839- 2848, 2007
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] A. MacKenzie, S. wicker: "Game theory and the design of self-conguring, adaptive wireless networks", IEEE Communications Magazine vol. 39, pp. 126-131, 2001.
- [31] M. Naserian, K. Tepe: "Game theoretic approach in routing protocols for wireless mobile ad hoc networks", Vol. 7, No. 3, pp. 569-578, 2009.
- [32] J. Wardrop. Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, 1(36) :352–362, 1952.
- [33] 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.

## Abstract

In this thesis, we have studied ad hoc networks which have become very popular in recent years, due to their importance in their application domains. The nodes in these networks communicate with each other with radio waves without any previous infrastructure, and this communication requires routing protocols. Among these protocols we have based on AODV, and to solve the problem of congestion related to routing more precisely to AODV, in this thesis we have introduced and applied a game theory method. Our goal is to improve the performance of these networks by creating a mechanism for fair load balancing based on the concept of Nash equilibrium in order to guide packets from each user to less congested routes.

**Keywords:** ad hoc networks, routing protocols, AODV, game theory, Nash equilibrium

---

## ملخص

في هذه المذكرة، قمنا بدراسة الشبكات المخصصة التي أصبحت شائعة جدًا في السنوات الأخيرة، نظرًا لأهميتها في عدة مجالات، تتواصل العقد في هذه الشبكات مع بعضها البعض باستخدام موجات الراديو دون بنية تحتية مسبقة، ويتطلب هذا الاتصال بروتوكولات التوجيه. من بين هذه البروتوكولات التي اعتمدنا عليها هي بروتوكول AODV، لحل مشكلة الازدحام المتعلقة بالتوجيه، وبشكل أكثر دقة إلى بروتوكول AODV، في هذه المذكرة قدمنا وطبقنا نظرية اللعب.

هدفنا هو تحسين أداء هذه الشبكات من خلال إنشاء آلية للتوزيع العادل للحمل باستخدام مفهوم توازن ناش لتوجيه حزم كل مستخدم إلى مسارات أقل ازدحامًا.

**كلمات مفتاحية:** الشبكات المخصصة، بروتوكولات التوجيه، AODV، نظرية اللعب، توازن ناش.

---

## Résumé

Dans ce présent mémoire, nous avons étudié les réseaux ad hoc qui sont devenus très populaires ces dernières années, à cause de leurs importances dans leurs domaines d'application. Les nœuds dans ces réseaux se communiquent entre eux avec des ondes radio sans infrastructure antérieure. Les transmissions sont gérées par des protocoles de routage qui facilitent l'acheminement des données de l'émetteur au récepteur. Parmi ces protocoles nous nous sommes basés sur l'AODV. Pour résoudre le problème de la

congestion lié au routage, plus précisément à l'AODV, dans cette thèse nous avons introduit et appliqué la théorie des jeux pour modéliser ce type de réseaux.

Notre objectif est d'améliorer les performances de ces réseaux en créant un mécanisme pour la répartition équitable des charges on se basant sur le concept de l'équilibre de Nash afin de guider les paquets de chaque utilisateur vers des routes moins congestionnés.

**Mots clés :** Les réseaux ad hoc, protocole de routage, AODV, la théorie des jeux, l'équilibre de Nash.

---