

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

Université Abderrahmane MIRA-Bejaia  
Faculté des sciences exactes  
Département informatique

## *Mémoire de fin de cycle*

En vue d'obtention du diplôme de Master Recherche en Informatique

Option : *Réseaux et Systèmes Distribués*

Thème :

*MonOpt : Monitoring Optimisé avec  
la théorie des jeux des réseaux mobiles  
ad hoc*

Réalisé par :

SADAOUI Nacéra  
HEDDAR Samira

Devant le jury composé de :

Président :	<i>M<sup>r</sup> AISSANI Sofiane</i>	U.A/Mira BEJAIA
Encadreur :	<i>M<sup>lle</sup> BATTAT Nadia</i>	U.A/Mira BEJAIA
Examinatrice :	<i>M<sup>lle</sup> BERRI Sara</i>	U.A/Mira BEJAIA
Examinatrice :	<i>M<sup>lle</sup> IDRES Lahna</i>	U.A/Mira BEJAIA
Examinatrice :	<i>M<sup>lle</sup> TIAB Amel</i>	U.A/Mira BEJAIA

Promotion : 2012/2013

# Remerciements

Nous remercions Dieu, le tout puissant, qui nous a donné la force, la volonté et surtout le courage pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier Melle BATTAT Nadia, notre promotrice, d'avoir accepté de nous encadrer. Nous aimerons l'adresser nos plus vifs remerciements pour sa gentillesse, pour le temps qu'elle nous a consacré et son suivi pour le développement et la rédaction de ce mémoire.

Nous sommes reconnaissantes envers Mr S. AISSANI de nous avoir fait l'honneur de présider le jury. Nous tenons également à remercier Melle S. BERRI, Melle L.IDRES et Melle A. TIAB d'avoir accepté d'examiner notre modeste travail.

Nous remercions aussi Mr M. ATMANI de nous avoir tellement aidé.

Nos remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe pédagogique du département Informatique et à l'ensemble du personnel administratif.

Finalement, nous remercions tous ceux qui nous ont aidé de prêt ou de loin pour mener à terme ce travail.

Un grand merci à tous.

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,  
A la meilleure femme du monde,  
à celle qui ma donné la vie et qui ne m'a pas laissé  
toute seule, à la femme que j'aime 'ma mère',  
Au meilleur homme du monde,  
mon cher père qui m'a tant aidé et soutenu,  
A cher mon frère Nassir,  
A ma sœur bien aimée Leaticia,  
A ma binôme et chère amie Samira ainsi que à toute sa famille,  
A toutes mes amies,  
et plus particulièrement mes cheres  
et meilleures amies Hayette et Randja .

*Nacéra*

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,  
A la meilleure femme du monde,  
à celle qui ma donné la vie et qui ne m'a pas laissé toute seule,  
à la femme que j'aime 'ma mère',  
Au meilleur homme du monde,  
mon cher père qui m'a tant aidé et soutenu,  
A ma sœur sabrina,  
A mes frères massinissa et mokrane,  
A la mémoire de mon frère massinissa,  
A la mémoire de mes grands parents côté paternel,  
A mes grands parents côté maternel,  
A mes cousins et cousines,  
A mes tantes et oncles  
A ma binôme et chère amie Nacera ainsi que à toute sa famille,  
A toutes mes amies,  
et plus particulièrement mes cheres  
et meilleures amies Hayette et Randja .

*Samira*

# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>I</b>
<b>Dédicaces</b>	<b>II</b>
<b>Dédicaces</b>	<b>III</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>IX</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>X</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Généralités sur les réseaux mobiles ad hoc</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	5
1.2 Les réseaux sans fil . . . . .	5
1.2.1 Technologies . . . . .	5
1.2.2 Classification des réseaux sans fil . . . . .	7
1.2.2.1 Le mode avec infrastructure . . . . .	7
1.2.2.2 Le mode sans infrastructure . . . . .	8
1.3 Réseaux mobiles ad hoc . . . . .	9
1.3.1 Historique . . . . .	9
1.3.2 Caractéristiques . . . . .	10
1.3.3 Applications . . . . .	10
1.4 Le routage dans les réseaux mobiles ad hoc . . . . .	11
1.4.1 Protocoles de routage . . . . .	12

1.4.1.1	Protocoles proactifs . . . . .	12
1.4.1.2	Protocoles réactifs . . . . .	12
1.4.1.3	Protocoles hybrides . . . . .	13
1.5	Conclusion . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Monitoring des réseaux mobiles ad hoc</b>	<b>14</b>
2.1	Introduction . . . . .	15
2.2	La supervision des réseaux mobiles ad hoc . . . . .	15
2.3	Objectifs de la supervision des réseaux mobiles ad hoc . . . . .	17
2.4	Monitoring des réseaux mobiles ad hoc . . . . .	18
2.4.1	Types de monitoring des réseaux mobiles ad hoc . . . . .	18
2.4.2	Modèles de monitoring des réseaux mobiles ad hoc . . . . .	18
2.4.2.1	Modèle de l'information . . . . .	18
2.4.2.2	Modèle de communication . . . . .	18
2.4.2.3	Modèle fonctionnel . . . . .	19
2.4.2.4	Modèle organisationnel . . . . .	19
2.4.3	Difficultés du monitoring des réseaux mobiles ad hoc . . . . .	23
2.4.4	Le clustering . . . . .	23
2.4.5	Classification des approches de monitoring des réseaux mobiles ad hoc . . . . .	23
2.4.5.1	Approches de monitoring centralisées plats . . . . .	24
2.4.5.2	Approches de monitoring centralisées hiérarchiques . . . . .	25
2.4.5.3	Approches de monitoring distribuées plats . . . . .	27
2.4.5.4	Approches de monitoring distribuées hiérarchiques . . . . .	32
2.4.5.5	Etude comparative . . . . .	34
2.5	Conclusion . . . . .	35
<b>3</b>	<b>Approche proposée (MonOpt : Monitoring Optimisé)</b>	<b>36</b>
3.1	Introduction . . . . .	37
3.2	Motivation . . . . .	37
3.3	Concepts de base de la théorie des jeux . . . . .	38
3.3.1	Historique de la théorie des jeux . . . . .	38
3.3.2	Définition d'un jeu . . . . .	38
3.3.3	Les principaux éléments d'un jeu . . . . .	38

---

3.3.4	Types de jeux . . . . .	39
3.4	L'approche de monitoring optimisée basée sur la théorie des jeux . . . . .	40
3.4.1	Description de l'approche proposée ( <b>MonOpt : Monitoring Optimisé</b> )	40
3.4.1.1	Le partitionnement du réseau en cluster et la désignation des joueurs . . . . .	40
3.4.1.2	Le monitoring . . . . .	45
3.4.1.3	Maintenance . . . . .	46
3.4.2	Exemple illustratif : . . . . .	48
3.5	Conclusion . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Simulation et résultats</b>	<b>55</b>
4.1	Introduction . . . . .	56
4.2	Le choix de MATLAB . . . . .	56
4.3	Simulation . . . . .	56
4.4	Etapas de réalisation de la simulation . . . . .	58
4.4.1	Initialisation des variables de simulation . . . . .	58
4.4.2	Déploiement du réseau . . . . .	59
4.4.3	Clustérisation . . . . .	59
4.5	Evaluation de performance de l'approche proposée . . . . .	60
4.6	Interprétation des résultats . . . . .	61
4.6.1	Energie . . . . .	62
4.6.2	Nombre de collectes effectués . . . . .	62
4.6.3	Nombre de messages échangés . . . . .	63
4.7	Conclusion . . . . .	64
	<b>Conclusion générale</b>	<b>65</b>
	<b>Résumé</b>	<b>71</b>

# Table des figures

1.1	Mode avec infrastructure . . . . .	8
1.2	Mode sans infrastructure . . . . .	9
1.3	Exemple d'un chemin utilisé pour un routage entre une source et une destination . . . . .	12
2.1	Le processus de monitoring . . . . .	16
2.2	Le modèle centralisé . . . . .	20
2.3	Le modèle centralisé hiérarchique . . . . .	21
2.4	Le modèle distribué . . . . .	22
2.5	Le modèle distribué hiérarchique . . . . .	22
2.6	Classification des approches de monitoring . . . . .	24
2.7	Architecture d'ANMP . . . . .	26
2.8	Architecture de DRAMA . . . . .	27
2.9	Architecture de MMAN . . . . .	30
2.10	Architecture d'un nœud d'ADMA [31] . . . . .	32
3.1	Déploiement du réseau . . . . .	48
3.2	Construction des clusters . . . . .	49
3.3	Désignation des joueurs . . . . .	49
3.4	Envoi des listes au cluster head . . . . .	50
3.5	Envoi des listes des voisins aux joueurs . . . . .	52
3.6	Envoi des confirmations au cluster head . . . . .	53
3.7	Le processus de monitoring . . . . .	54
4.1	Les étapes de la simulation . . . . .	58
4.2	Déploiement du réseau . . . . .	59



---

4.3	Clustérisation . . . . .	60
4.4	Energie moyenne consommée . . . . .	62
4.5	Energie moyenne restante . . . . .	62
4.6	Nombre de collecte effectué . . . . .	63
4.7	Nombre de messages échangés . . . . .	64

# LISTE DES TABLEAUX

2.1	Etude comparative . . . . .	35
3.1	Affectation des voisins obligatoires et des voisins communs . . . . .	51
3.2	Affectation des voisins au joueurs . . . . .	52
4.1	Les paramètres de simulation . . . . .	57

# Liste d'abréviations

**ADMA** : Autonomous Decentralized Management Architecture for MANETs

**AES** : Advanced Encryption Standard

**ANMP** : Ad hoc Network Management Protocol

**AODV** : Ad hoc On demand Distance Vector routing

**CDS** : Connected Dominating Set

**CPU** : Central Processing Unit

**DAMON** : A Distributed Architecture for Monitoring Multi hop Mobile Network

**DARPA** : Defence Advanced Research Agency

**DHT** : Distributed Hash Table

**DPA** : Domain Policy Agent

**DRAMA** : Dynamic Readdressing And Management for the Army

**DSDV** : Dynamic destination Sequenced Distance Vector

**DSR** : Dynamic Routing Source

---

**EAP** : Extensible Authentication Protocol

**EDGE** : Enhanced Data for GSM Evolution

**GloMo** : Global Mobile Information System

**GMIB** : Guerrilla Management Information Base

**GPA** : Global Policy Agent

**GPRS** : Global Packet Radio Service

**GSM** : Global System for Mobile communications

**GUI** : Graphical User Interface

**IETF** : Internet Engineering Task Force

**IP** : Internet Protocol

**ISO** : International Organization for Standardization

**LPA** : Local Policy Agent

**LPDP** : Local Policy Decision Point

**MANET** : Mobile Ad hoc Network

**MIB** : Management Information Base

**MMAN** : Monitor for Mobile Ad hoc Network

**MonOpt** : Monitoring Optimisé

---

**MPR** : MultiPoint Relays

**MU** : Monitoring Unit

**OLSR** : Optimized Link State Routing

**OLSRM** : Optimized Link State Routing Protocol Monitoring

**PDA** : Personal Digital Assistant

**PEP** : Policy Enforcement Point

**PRNet** : Packet Radio Network

**QoS** : Quality of Service

**QoSMI** : Quality of Service Monitoring Infrastructure

**SURAN** : SURvivable Radio Network

**TC** : Topology Control

**TDD** : Time Dependent Digests

**TID** : Time Independent Digests

**VBB** : Virtual Backbone

**WANMON** : Wireless Ad hoc Network Monitoring

**WiFi** : Wireless Fidelity

**ZRP** : Zone Routing Protocol

# Introduction générale

## 1. Contexte scientifique et technique

Un environnement mobile est un système composé de nœuds mobiles et qui permet à ses utilisateurs d'avoir l'information n'importe où et n'importe quand.

On distingue deux grandes familles de réseaux sans fil : à savoir les réseaux sans fil avec infrastructure qui utilisent le modèle de la communication cellulaire (communication via une station de base fixe) et les réseaux sans fil sans infrastructure dits ad hoc.

Un réseau mobile ad hoc est un ensemble de nœuds mobiles qui peuvent communiquer entre eux sans aucune administration centralisée, en utilisant une technologie de communication sans fil comme Wifi, Bluetooth, etc [3]. Les nœuds mobiles peuvent être des ordinateurs portables, des téléphones mobiles, etc, ils peuvent se déplacer de manière aléatoire et de s'organiser arbitrairement. Ce type de réseau est caractérisé par leur facilité de déploiement et leur faible coût de maintenance. Il est utilisé dans les applications militaires, les opérations de secours, la communication inter-véhiculaires et les réseaux de capteurs.

Les caractéristiques spécifiques des réseaux mobiles ad hoc, nécessite d'avoir un mécanisme de monitoring permettant de surveiller les nœuds et les services du réseau, afin d'avoir une vue de fonctionnement et des problèmes pouvant survenir sur celui-ci.

---

## 2. Problématique

Le monitoring des réseaux mobiles ad hoc est un ensemble d'activités qui permet de surveiller ces réseaux et leurs services. Il représente une tâche difficile à cause de la topologie dynamique de ce type de réseau et ces contraintes de ressources limitées (bande passante et énergie).

Les approches dédiées aux infrastructures fixes sont inadaptées à ces réseaux en raison de leurs caractéristiques. Donc, des nouvelles recherches doivent être entreprises pour intégrer les réseaux mobiles ad hoc dans une démarche de monitoring.

La problématique de notre travail de recherche porte sur une nouvelle approche de monitoring optimisée des réseaux mobiles ad hoc. Cette approche doit être adaptable aux changements dynamiques et aux ressources limitées de ces réseaux.

## 3. Organisation de mémoire

Le mémoire est composé de quatre chapitres. Les quatre chapitres correspondent respectivement aux généralités sur les réseaux mobiles ad hoc, monitoring des réseaux mobiles ad hoc, approche proposée (**MonOpt : Monitoring Optimisé**) et l'évaluation de performance de l'approche proposée.

Le premier chapitre présente les réseaux sans fil en générale et les réseaux mobiles ad hoc en particulier, il sera concentré sur les caractéristiques et le domaine d'application, ainsi que le routage et les protocoles de routage de ces réseaux.

Le deuxième chapitre est consacré à définir le concept de monitoring des réseaux mobiles ad hoc. On s'intéresse à définir le processus de monitoring, la difficulté de surveillance des réseaux mobiles ad hoc et à présenter quelques approches existantes ainsi que une étude comparative de ces dernières.

Le troisième chapitre est dédié à décrire notre proposition basée sur la théorie des jeux. Il décrit des notions de base de la théorie des jeux, il explique notre approche à l'aide d'un exemple illustratif.

Le quatrième chapitre présente une évaluation de performance de notre approche

---

avec une simulation réalisée sous MATLAB. L'évaluation de la solution est faite par sa comparaison avec l'approche Journalisation Dynamique.



# 1

Généralités sur les réseaux mobiles ad hoc

## 1.1 Introduction

Un réseau mobile ad hoc est un cas particulier des réseaux sans fil, il est caractérisé par l'absence totale d'infrastructure. Les nœuds mobiles constituent ce réseau s'interconnectent par une technologie sans fil. Ce type de réseau offre une grande flexibilité d'emploi, il permet aux utilisateurs de se déplacer librement tout en continuant normalement leurs communications [1].

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier lieu, les réseaux sans fil, leurs technologies et leurs modes (avec et sans infrastructure). Après, nous allons donner une présentation des réseaux mobiles ad hoc, leurs caractéristiques et leurs applications. Nous allons terminer par la notion de routage dans les réseaux mobiles ad hoc et la classification des protocoles de routage utilisés dans ce dernier.

## 1.2 Les réseaux sans fil

Un réseau sans fil est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux périphériques (ordinateur, imprimante, routeur, etc.) peuvent communiquer sans liaison filaire [2].

### 1.2.1 Technologies

Différentes technologies sont utilisées pour la communication sans fil dont on cite [3] :

- **Infrarouge** : ce mode de communication est simple, peu réglementé et peu coûteux. En utilisant un faisceau de lumière, ce mode est basé sur l'utilisation des mêmes fréquences que celles utilisées sur les fibres optiques. Malgré que la lumière infrarouge possède une large bande passante offrant des débits relativement importants qui peuvent atteindre 16 Mbit/s, la portée de ce type reste faible. En revanche, les infrarouges peuvent pénétrer à travers le verre, mais pas à travers des obstacles opaques.
- **Bluetooth** : c'est une spécification de l'industrie des télécommunications. Elle utilise une technique radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. Elle a été conçue dans le but de remplacer les câbles entre les ordinateurs et les imprimantes, les scanners, les claviers, les

souris, les PDAs (Personal Digital Assistant), les systèmes et kits mains libres. Elle permet l'utilisation de 79 fréquences distinctes, donc 79 réseaux différents dans la même pièce. Le débit maximum est de 1 Mbit/s sur une distance de 4 mètre et de 75 Kbit/s pour des distances supérieures.

- **GSM/GPRS/EDGE** : GSM (Global System for Mobile communications) est une norme numérique de deuxième génération (2G) pour la téléphonie mobile qui permet un débit maximal de 9.6 Kbits/s. Tel qu'il a été conçu, le réseau GSM est idéal pour les communications de type 'voix'. Le réseau étant commuté, les ressources ne sont allouées que pour la durée de la conversation. La norme GSM a ensuite été étendue pour supporter de plus hauts débits et le transport de données en mode " paquet " par les extensions GPRS (Global Packet Radio Service) qui permet d'obtenir des débits pouvant aller jusqu'à 170 Kbits/s, puis EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) qui permet un débit théorique de 384 Kbits/s. Ces 2 modes peuvent cohabiter avec le mode 'voix commutée' du GSM et utilisent les mêmes antennes et les mêmes bandes de fréquence.
- **La norme IEEE802.11(WiFi)** : la norme IEEE802.11 est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau sans fil. Un réseau WiFi (Wireless Fidelity) est en réalité un réseau répondant à la norme 802.11, il permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels PDA ou même des périphériques à une liaison haut débit sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur. Les différentes extensions de la norme 802.11 sont définies comme suit [4] :
  1. **802.11a** : cette norme permet d'obtenir du haut débit théorique à 54Mbit/s, soit du haut débit effectif à 30 Mbit/s sur la bande de fréquence des 5 GHz.
  2. **802.11b** : cette norme propose un haut débit théorique de 11 Mbit/s, soit un haut débit effectif de 6 Mbit/s sur la bande de fréquence des 2.4 GHz. La portée d'action peut aller jusqu'à 300 m dans un environnement dégagé.
  3. **802.11c** : il s'agit d'une modification de la norme 802.1d afin de permettre l'établissement de ponts avec les trames 802.11 au niveau de la couche de liaison de données.
  4. **802.11d** : le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Elle consiste à permettre aux différents équipements d'échanger des informations sur les plages de fréquence et les puissances autorisées dans

le pays d'origine du matériel.

5. **802.11e** : des travaux sur la QoS (quality of service) dans les normes existantes.
6. **802.11f** : il s'agit de recommandations à l'intention des vendeurs de points d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits.
7. **802.11g** : elle propose un haut débit théorique de 54 Mbit/s, soit 30 Mbit/s de débit effectif sur la bande de fréquence des 2.4 GHz.
8. **802.11h** : elle vise à rapprocher la norme 802.11 du standard européen (Hiper LAN2, d'où le 'h' de 802.11h) et être conforme à législation européenne en matière de fréquence et d'économie d'énergie.
9. **802.11i** : il s'agit ici d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion des clés, chiffrement et authentification). Cette norme s'appuie sur AES (Advanced Encryption Standard) [5] et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g.
10. **802.11j** : cette norme est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne.
11. **802.11IR** : cette norme a été élaborée de manière à utiliser des signaux infrarouges.
12. **802.11x** : cette norme permet l'usage d'un serveur d'authentification de type RADIUS par le protocole EAP (Extensible Authentication Protocol) [6].

## 1.2.2 Classification des réseaux sans fil

Les réseaux sans fil peuvent être classés en deux modes : le mode avec infrastructure (mode cellulaire) et le mode sans infrastructure (MANET : Mobile Ad hoc NETWORK).

### 1.2.2.1 Le mode avec infrastructure

Dans ce mode, le réseau sans fil est composé de deux ensembles d'entités distinctes : les 'composantes fixes' d'un réseau de communication filaire classique, et les 'composants mobiles'. Les composantes fixes, appelées stations de bases (nœuds contenant le point d'accès) sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec les composants ou les nœuds mobiles localisés dans une zone géographique limitée appelée cellule (voir figure 1.1).

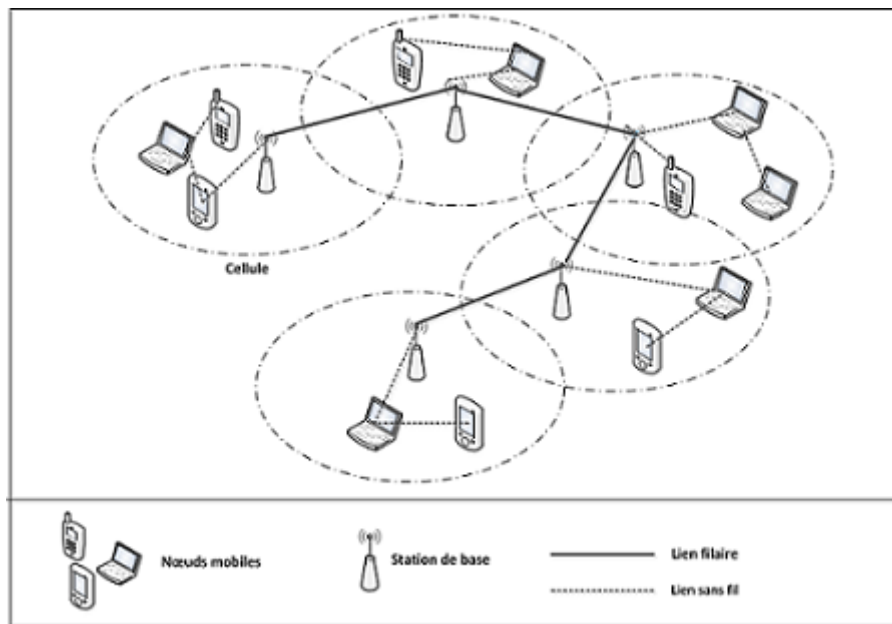


FIGURE 1.1 – Mode avec infrastructure

### 1.2.2.2 Le mode sans infrastructure

Le modèle de réseau sans infrastructure préexistante ne comporte pas de stations fixes. Toutes les composantes du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil. L'absence de l'infrastructure ou d'un réseau filaire composé des stations de base, oblige les nœuds mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres nœuds du réseau. Un nœud mobile peut donc communiquer directement avec un autre nœud s'il est dans sa portée de transmission (voir figure 1.2).

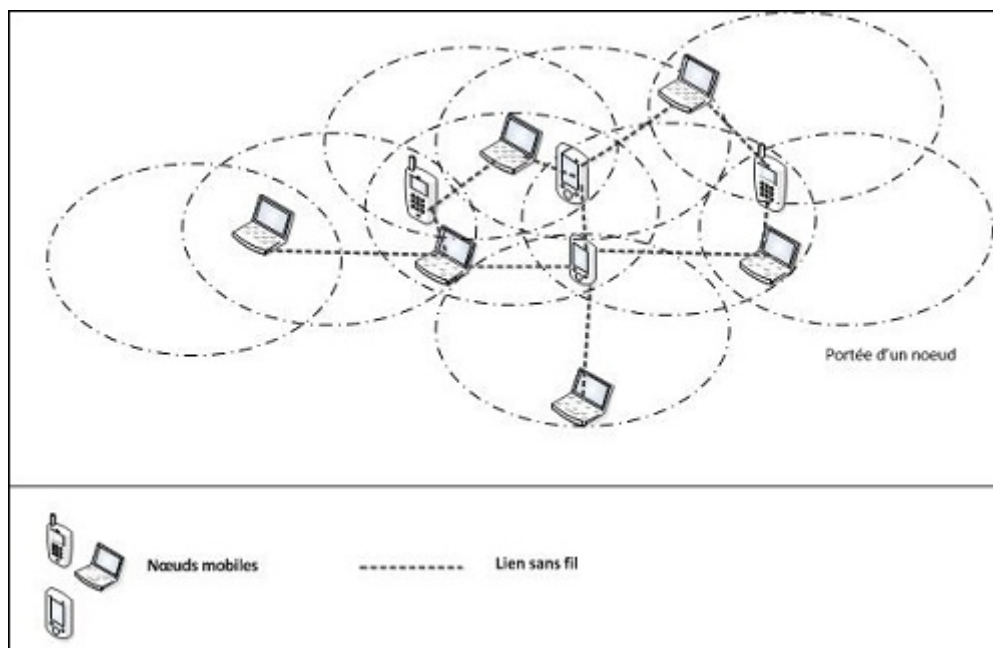


FIGURE 1.2 – Mode sans infrastructure

## 1.3 Réseaux mobiles ad hoc

### 1.3.1 Historique

Les réseaux mobiles ad hoc ont été une application militaire née dans les années soixante dix avec la création du projet de la DARPA (Defence Advanced Research Agency) du département américaine appelé PRNet.

En 1983, le PRNet est prolongé par le projet SURAN (SURvivable Radio Network) en lui donnant un champ d'application un peu plus large que le champ de bataille, ce projet cherche à résoudre les problèmes liés à la gestion des ressources radio et aux problèmes de sécurité.

En 1994, la DARPA crée le projet GloMo (Global Mobile Information SYstem) afin d'étudier la possibilité d'adapter les concepts d'Internet en pleine expansion à des utilisateurs mobiles.

En 1995, l'IETF (Internet Engineering Task Force) crée le groupe mobile ad hoc network ou MANET pour étudier les réseaux mobiles ad hoc dans le contexte de l'Internet [7].

### 1.3.2 Caractéristiques

Les réseaux mobiles ad hoc sont caractérisés par ce qui suit :

- **Une topologie dynamique** : les nœuds mobiles peuvent se déplacer librement et arbitrairement de manière rapide. Par conséquent la topologie du réseau peut changer, à des instants imprévisibles [3].
- **Une bande passante limitée** : une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé. Ce partage fait que la bande passante réservée à un nœud soit modeste [8].
- **L'absence d'infrastructure** : les réseaux mobiles ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par l'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée. Les nœuds mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue [9].
- **La vulnérabilité des nœuds** : les nœuds ne sont pas physiquement protégés, ils peuvent être capturés par des attaquants (les ennemis), ce qui pose problème au niveau des relations de confiance entre les nœuds. Ainsi, n'importe quel modèle de sécurité dédié au réseau mobile ad hoc doit prendre en compte la compromission des nœuds, ainsi que la résistance à cette attaque [10].
- **La vulnérabilité du canal** : le support de transmission est l'air. Ce dernier est très vulnérable aux écoutes clandestines. N'importe quel nœud qui dispose d'une carte sans fil adaptée à la technologie utilisée, est capable de capturer le trafic, de l'analyser et même d'injecter du nouveau trafic, soit dans le but de surcharger le réseau soit dans celui de faire circuler des fausses informations pour changer la topologie du réseau [10].
- **Les ressources limitées** : les nœuds mobiles dans les réseaux mobiles ad hoc ont des ressources très limitées, comme la capacité de calcul, de stockage et surtout d'énergie [10].

### 1.3.3 Applications

La particularité du réseau mobile ad hoc est qu'il n'a besoin d'aucune installation fixe, ceci lui permettant d'être rapide et facile à déployer. Plusieurs applications trouvent en réseaux mobiles ad hoc, le réseau idéal ; parmi ces applications on cite [11] :

- **Les applications militaires** les réseaux mobiles ad hoc ont été utilisés la

première fois par l'armée. En effet ce type de réseaux est la solution idéale pour maintenir une communication sur un champ de bataille entre les différentes troupes unités d'une armée.

- **Les opérations de secours** : dans les zones touchées par les catastrophes naturelles (cyclone, séisme, etc.), le déploiement d'un réseau mobile ad hoc est indispensable pour permettre aux unités de secours de communiquer.
- **L'utilisation à des fins éducatives** : le déploiement d'un réseau mobile ad hoc lors d'une conférence ou d'une séance de cours est très judicieux car cela permet aux chercheurs et aux étudiants de partager des ressources (fichiers, accès à internet, etc.) et de communiquer sans avoir besoin d'une infrastructure.
- **Applications industrielles** : des scénarios plus complexes dans le domaine industriel peuvent former un MANET pour s'adapter à différents environnements. Un exemple d'une telle application est la formation d'un MANET pour la surveillance médicale.
- **Mise en œuvre des réseaux véhiculaires** : sur un réseau routier les véhicules peuvent avoir besoin de communiquer entre eux ou avec leur environnement afin de partager des informations dans le but de gérer et réguler le trafic routier. Les réseaux mobiles ad hoc sont alors la solution idéale.

## 1.4 Le routage dans les réseaux mobiles ad hoc

Le routage est une méthode à travers laquelle on fait transiter une information donnée depuis un certain émetteur vers un destinataire bien précis. Le problème du routage ne se résume pas seulement à trouver un chemin entre les deux nœuds du réseau, mais encore à trouver un chemin optimal [7].

Les réseaux mobiles ad hoc se caractérisent par une absence d'infrastructure et de gestion centralisée. Dans ce type de réseaux, chaque élément peut bien évidemment émettre et recevoir des messages, mais assure également un rôle de relais de l'information afin que les messages circulent dans le réseau.

- **Exemple de routage** : Si on suppose que les coûts des liens sont identiques, le chemin indiqué dans la figure 1.3 est le chemin optimal reliant le nœud source et le nœud destination. Une bonne stratégie de routage utilise ce chemin dans le transfert des données entre les deux nœuds.



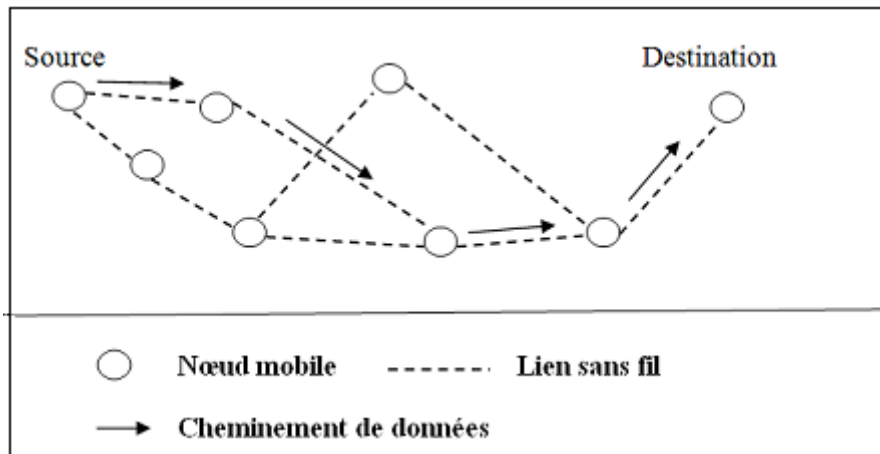


FIGURE 1.3 – Exemple d’un chemin utilisé pour un routage entre une source et une destination

### 1.4.1 Protocoles de routage

Les protocoles de routage peuvent être classés comme suit [3] :

#### 1.4.1.1 Protocoles proactifs

Les protocoles de routage proactifs reprennent le principe du routage des réseaux filaires. Ils sont basés sur l’existence de tables de routage au niveau de chacun des nœuds. Lorsqu’un nœud du réseau souhaite envoyer un message, il consulte sa table de routage pour connaître la route à suivre jusqu’au destinataire du message.

- **Avantage** : la table de routage est toujours mise à jour, ce qui implique la rapidité d’envoi des messages.
- **Inconvénient** : il faut être capable d’actualiser les tables de routage en permanence pour tenir compte de la mobilité des nœuds, cela entraîne la diffusion de nombreux messages de contrôle qui engendrent du trafic sur le réseau réduisant ainsi la bande passante disponible pour envoyer des données et entraîne une consommation énergétique plus importante au niveau des nœuds du réseau.
- **Exemples** : OLSR (Optimized Link State Routing) [12], DSDV (Dynamic destination Sequenced Distance Vector)[13].

#### 1.4.1.2 Protocoles réactifs

Les protocoles de routage réactifs ne maintiennent pas en permanence des tables de routage de l’ensemble du réseau. Lorsqu’un nœud a besoin d’envoyer un message vers un autre élément, il commence par déterminer une route lui permettant d’atteindre le

destinataire du message. Cette route sert à envoyer les informations et reste dans une table au niveau du nœud. Les nœuds du réseau n'ont donc qu'une vision partielle du réseau et ne connaissent que les autres éléments du réseau avec qu'ils ont l'habitude de communiquer.

- **Avantage** : Les routes étant déterminées à la demande, ce mode de fonctionnement permet de réduire le nombre des messages de contrôle.
- **Inconvénient** : ce type de protocole engendre un délai avant l'envoi des messages dû au temps nécessaire pour trouver la route.
- **Exemples** : DSR (Dynamic Routing Source)[14], AODV (Ad hoc On demand Distance Vector routing) [15].

### 1.4.1.3 Protocoles hybrides

Les protocoles hybrides combinent les deux idées des protocoles proactifs et réactifs. Ils utilisent un protocole proactif, pour connaître les voisins les plus proches (par exemple voisinage à deux ou à trois sauts) et disposent des routes immédiatement dans le voisinage. Au delà de cette zone prédéfinie, ils utilisent un protocole réactif pour chercher les routes vers des nœuds plus lointains.

- **Avantage et Inconvénient** : les protocoles hybrides bénéficient des avantages des deux protocoles combinés. Ils cumulent aussi les inconvénients de ces derniers (message de contrôle périodiques plus le coût d'ouverture d'une nouvelle route).
- **Exemple** : ZRP (Zone Routing Protocol) [16].

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini le concept des réseaux mobiles ad hoc, leurs caractéristiques, leurs applications et les protocoles de routage utilisés pour l'acheminement des données. Dans le chapitre suivant, nous allons introduire un mécanisme de gestion qui permet de surveiller les réseaux mobiles ad hoc dit 'le monitoring'.

# 2

Monitorage des réseaux mobiles ad hoc

## 2.1 Introduction

La supervision des réseaux est confrontée à des environnements de plus en plus dynamiques dont les réseaux mobiles ad hoc en sont un des exemples les plus caractéristiques. Les architectures de supervision traditionnelles, initialement conçues pour les infrastructures fixes, sont inadaptées à la nature dynamique et aux contraintes fortes des réseaux mobiles ad hoc. Ainsi, elles prennent difficilement en charge les changements fréquents de topologie du réseau, elles sont souvent trop consommatrices en ressources dans le contexte où la bande passante et l'énergie sont fortement limités. De nouveaux verrous scientifiques et techniques doivent donc être levés pour intégrer les réseaux mobiles ad hoc dans une démarche de gestion [17].

Dans ce chapitre, la définition du monitoring, son processus, les objectifs qui résident derrière sa réalisation, ainsi que les modèles organisationnels permettant sa mise en œuvre seront donnés. Nous allons en suite présenter les difficultés rencontrées lors de l'utilisation du monitoring dans le contexte particulier des réseaux mobiles ad hoc. Finalement, une description des approches de monitoring classifiées selon le modèle organisationnel ainsi qu'une étude comparative entre ces dernières seront présentées.

## 2.2 La supervision des réseaux mobiles ad hoc

La supervision regroupe un ensemble d'activités qui permet de surveiller et contrôler les réseaux et leurs services. Elle consiste en : la collecte, l'analyse, le stockage de données, le lancement d'alertes en cas d'anomalies et finalement la correction des dysfonctionnements trouvés [17].

Les quatre premières étapes constituent le processus de monitoring qui est défini comme suit(voir figure 2.1) :

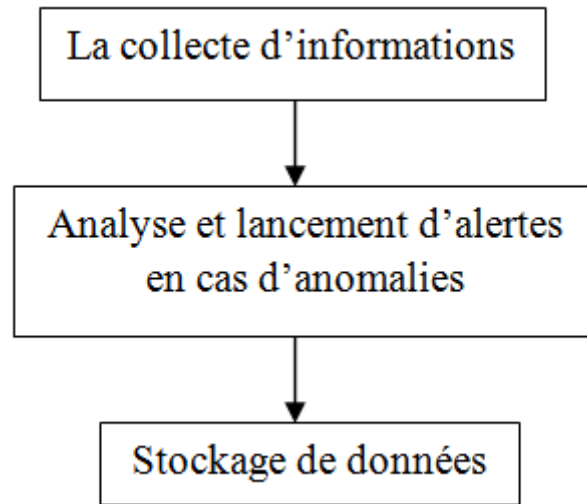


FIGURE 2.1 – Le processus de monitoring

- **Collecte de données** : cette étape consiste à récupérer les informations (l'adresse IP, le niveau d'énergie, la capacité de stockage, la bande passante) demandées par le gestionnaire. Les informations collectées par les équipements individuels permettent d'obtenir une vue de plus haut niveau et de produire une connaissance sur l'environnement complet. Cette connaissance est ensuite utilisée par les équipements eux mêmes pour réagir de manière intelligente aux changements [17].
- **L'analyse de données et le lancement d'alertes en cas d'anomalies** : cette étape consiste à comparer les données collectées à des seuils spécifiques et à étudier le taux d'influence des valeurs de ces données sur le fonctionnement du réseau et ses performances, elle permet aussi de lancer des alertes en cas de présence d'un dépassement de seuil [18].
- **Le stockage de données** : dans cette étape, les données analysées après l'étape de la collecte et les rapports de surveillance obtenus seront stockées dans des bases de données.

## 2.3 Objectifs de la supervision des réseaux mobiles ad hoc

Les objectifs de la supervision des réseaux mobiles ad hoc, sont classifiés selon la norme ISO (International Organization for Standardization) par aire fonctionnelle, comme suit [17][19] :

- **Gestion de fautes** : cette aire fonctionnelle permet la détection, l'isolation et la correction des anomalies qui affectent le fonctionnement des réseaux et leurs services.
- **Gestion de la configuration** : implique l'initialisation et l'arrêt du réseau. Il implique également de maintenir, d'ajouter, et de mettre à jour de nouveaux composants de réseau. Une partie de la fonction du module de configuration implique de définir des rapports entre les nœuds de réseau.
- **Gestion de la comptabilité** : elle consiste à effectuer un suivi d'utilisation du réseau, par la suite, une évaluation sur les usages des infrastructures et services sera effectuée. Elle comprend en outre l'établissement de rapports de consommations. Cette information peut être très utile dans la configuration du réseau, ainsi que l'allocation des ressources du réseau aux divers utilisateurs de ce réseau.
- **Gestion de la performance** : son objectif est d'évaluer le niveau de performance des services délivrés par le réseau, elle permet aussi de la maintenir grâce à des opérations de contrôle et de réglage du réseau selon les statistiques réseaux recueillis.
- **Gestion de la sécurité** : elle vise la protection du réseau par le contrôle l'accès aux composants de réseau et aux informations, elle permet d'empêcher les activités qui peuvent avoir un impact sur l'intégrité des données échangées, et sur le bon usage des services délivrés par le réseau. Ce composant est également responsable de la mise en œuvre de schémas de chiffrement et déchiffrement des communications sécurisées, il comprend des mécanismes d'authentification, de contrôle d'accès et de confidentialité.

## 2.4 Monitoring des réseaux mobiles ad hoc

Le monitoring est l'activité d'observation qui consiste à évaluer l'état opérationnel et le fonctionnement d'un réseau. Elle permet de déterminer la topologie, l'usage des ressources ainsi que les performances du réseau en termes de disponibilité et de qualité de service [17].

### 2.4.1 Types de monitoring des réseaux mobiles ad hoc

Il existe deux types de monitoring, ils sont définis selon la manière utilisée pour la collecte des informations du réseau [17] :

- **Monitoring actif** : ce type de monitoring repose sur l'injection de paquets spécifiques au sein du réseau mobiles ad hoc, et sur l'observation de la manière avec laquelle ces paquets sont traités par les nœuds pour déterminer le niveau de service offert par le réseau.
- **Monitoring passif** : ce type de monitoring ne repose pas sur l'injection du trafic spécifique, mais il consiste à observer le trafic réseau ensuite le capturer et évaluer ses paramètres.

### 2.4.2 Modèles de monitoring des réseaux mobiles ad hoc

Il existe quatre modèles de monitoring qui sont définis comme suite [17] :

#### 2.4.2.1 Modèle de l'information

Ce modèle donne une description des ressources gérées et la structuration de l'information de monitoring. Une ressource ou une information est modélisée par un objet dont les attributs indiquent l'état de ses dernières. Cette modélisation facilite la supervision des ressources ainsi que l'accès aux informations sauvegardées dans les structures de stockages.

#### 2.4.2.2 Modèle de communication

Ce modèle permet de spécifier le protocole d'échange des informations de monitoring entre les différents nœuds du réseau. Ce modèle permet d'assurer l'accès et la manipulation des données et des informations liées au monitoring.

### 2.4.2.3 Modèle fonctionnel

Ce modèle permet de répartir les opérations de monitoring par aire fonctionnelle.

### 2.4.2.4 Modèle organisationnel

Ce modèle décrit le rôle et les relations de chacun des nœuds intervenant dans la tâche de monitoring.

Un nœud mobile peut jouer le rôle d'un :

**Gestionnaire** : c'est un nœud responsable de l'activité de monitoring. Il émet des requêtes d'opérations auprès d'un ou plusieurs agents.

**Gestionnaire local** : c'est un nœud intermédiaire, responsable de collecte de données de monitoring d'un sous ensemble de nœuds de réseau.

**Agent** : c'est un nœud responsable d'exécution des requêtes d'opérations émet par le gestionnaire, pour lui envoyer des réponses.

On distingue quatre types de modèle organisationnel :

- **Modèle centralisé** : ce modèle repose sur un seul gestionnaire. Ce dernier est chargé d'analyser les informations collectées par les différents agents. Cette tâche est réalisée dans le but de gérer et contrôler l'ensemble du réseau (voir figure 2.2).



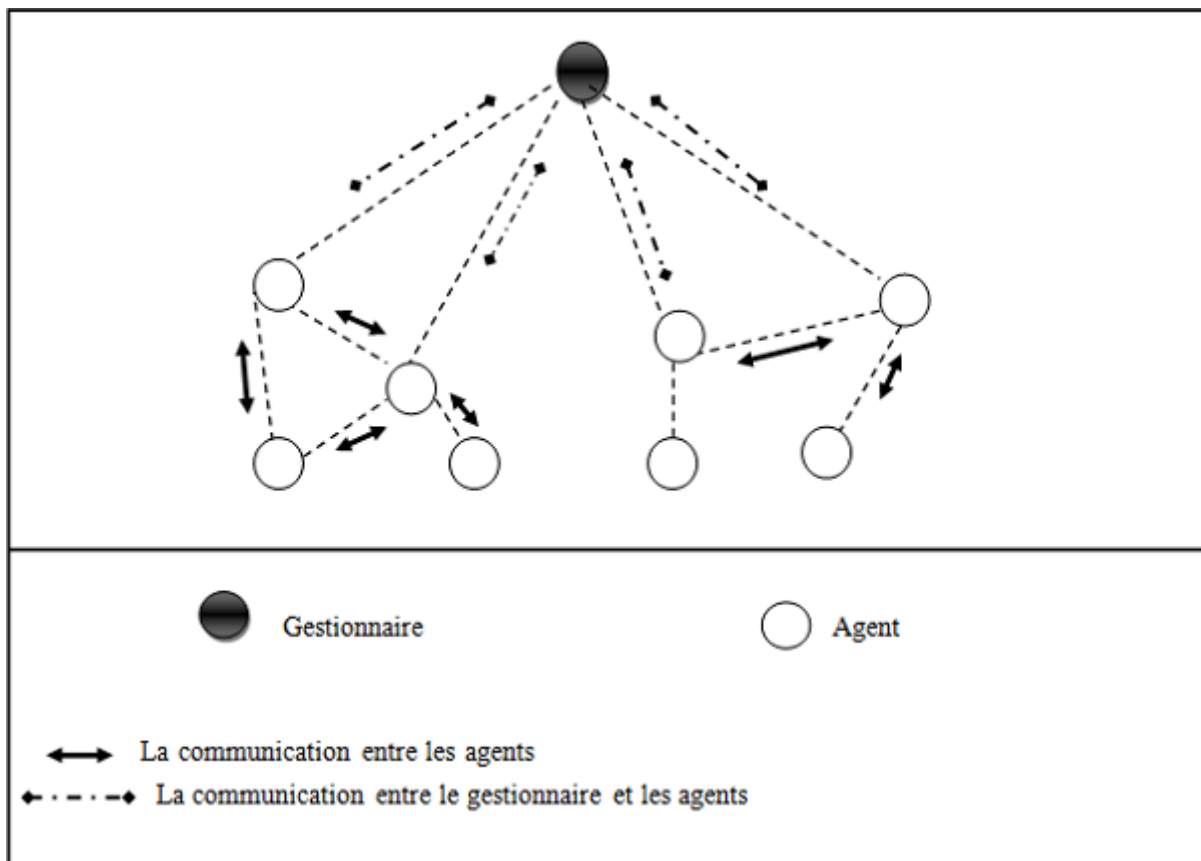


FIGURE 2.2 – Le modèle centralisé

- **Modèle centralisé hiérarchique** : ce modèle repose sur un gestionnaire central unique et un ensemble de gestionnaires locaux reliés directement aux différents agents du réseau pour créer une structure hiérarchique. Selon le rôle dans la tâche de monitoring, un niveau de responsabilité est affecté à chaque gestionnaire local. Avec cette architecture, les agents collectent les informations et les envoient aux gestionnaires locaux, puis ces derniers les transmettront au gestionnaire central pour les analyser et les contrôler (voir figure 2.3).

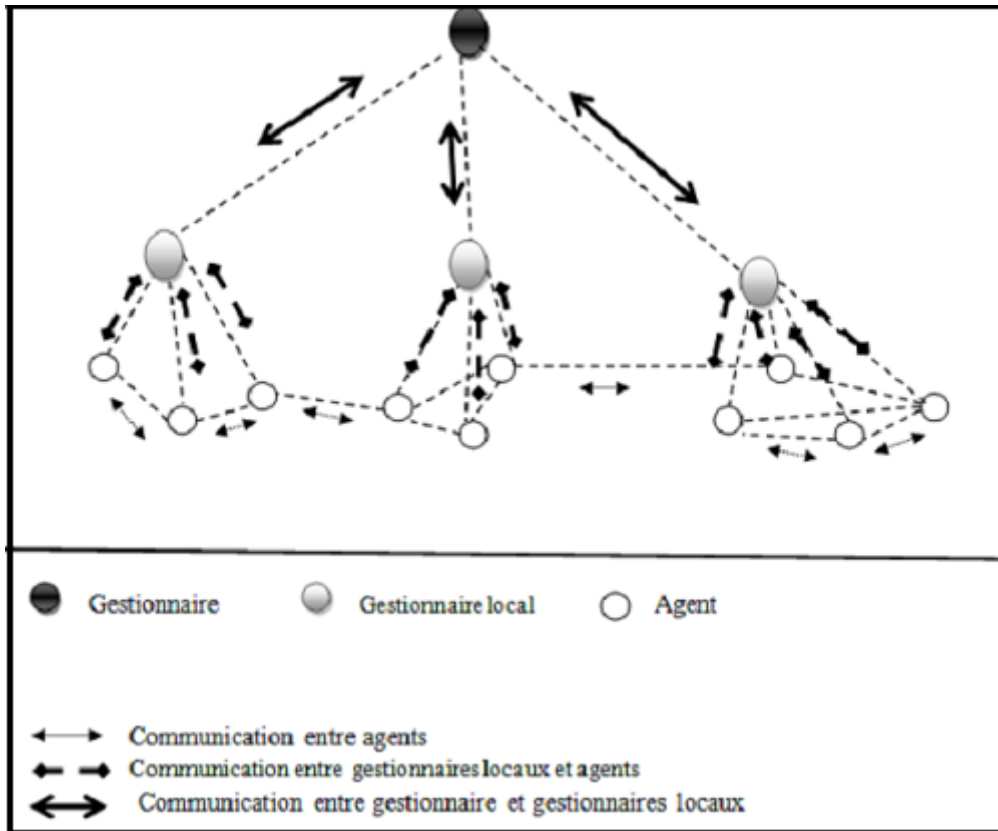


FIGURE 2.3 – Le modèle centralisé hiérarchique

- **Modèle distribué** : ce modèle repose sur un ensemble de gestionnaires, qui communiquent entre eux. Chaque gestionnaire dispose du même degré de responsabilité et responsable de monitoring d'un sous ensemble d'agents dans le réseau (voir figure 2.4).

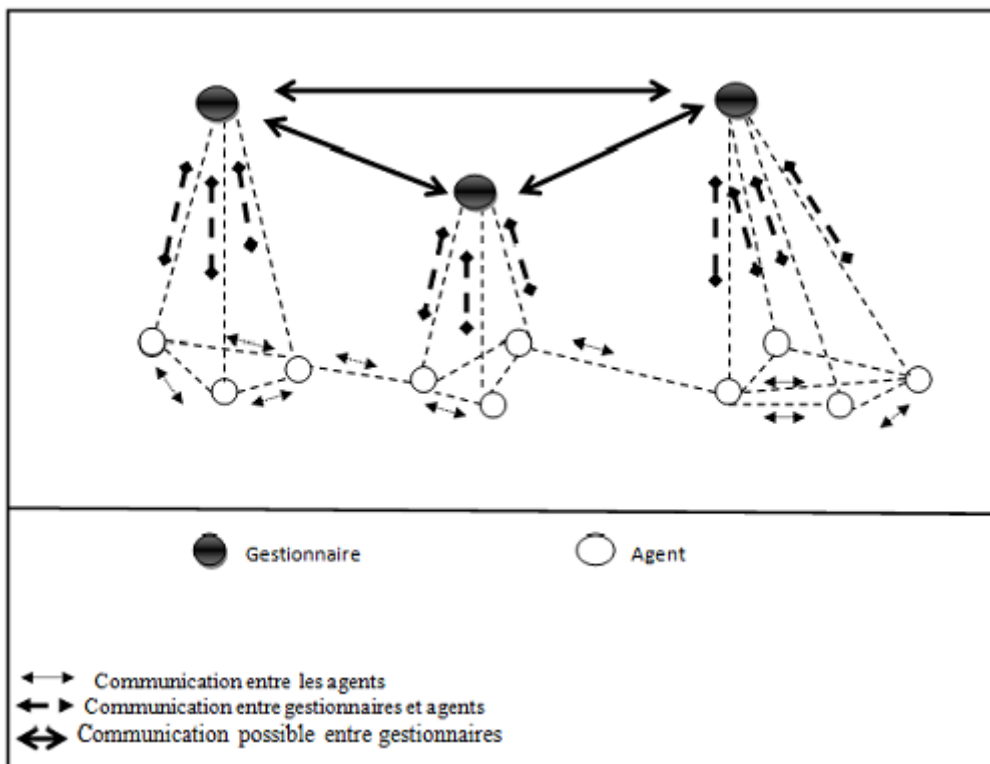


FIGURE 2.4 – Le modèle distribué

- **Modèle distribué hiérarchique** : dans ce modèle, chaque gestionnaire peut déléguer une partie de monitoring à des gestionnaires locaux (voir figure 2.5).

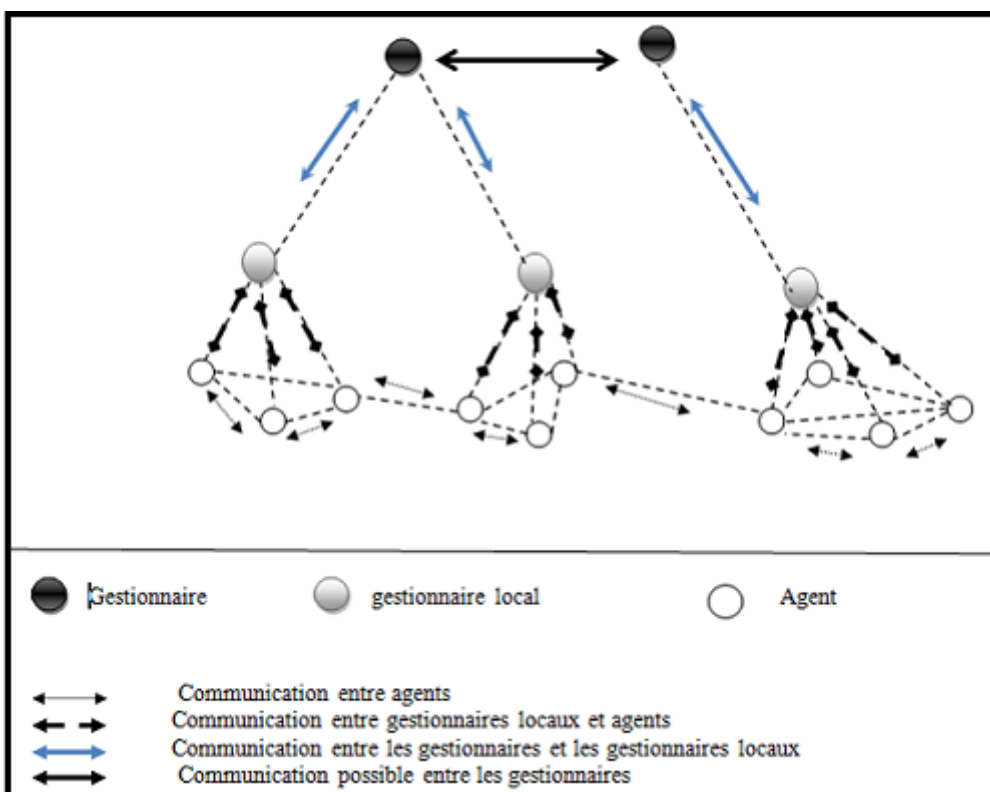


FIGURE 2.5 – Le modèle distribué hiérarchique

### 2.4.3 Difficultés du monitoring des réseaux mobiles ad hoc

Le monitoring des réseaux mobiles ad hoc est une tâche complexe par rapport aux réseaux filaires pour les raisons suivantes [19][20] :

- La topologie dynamique des réseaux mobiles ad hoc qui nécessite une reconfiguration à chaque changement de topologie.
- Les ressources limitées qui ne doivent pas être consommées à cause du processus de monitoring lui-même.
- La détection des nœuds malveillants ou non coopératifs qui peuvent falsifier ou refuser de fournir les informations, ce qui mène à un monitoring incohérent ou faux.
- Le passage à l'échelle, chose à laquelle les protocoles de monitorages doivent être adaptatifs et capables de gérer.

### 2.4.4 Le clustering

Le clustering consiste en un découpage virtuel du réseau en groupe de nœuds proches géographiquement. Ces groupes sont appelés clusters, ils sont généralement identifiés par un nœuds particulier, un chef de groupe, aussi nommé cluster-head. Dans la plupart des algorithmes de clustering, les clusters sont construits à partir d'une ou plusieurs métriques qui permettent d'assigner un chef à chaque cluster. Le cluster étant alors constitué de cluster-head et de tous les nœuds qui lui sont rattachés.

Le principal avantage de mécanisme de clustering est qu'il permet une meilleure organisation de réseau et il facilite le partage de ressources entre les différents nœuds [36].

### 2.4.5 Classification des approches de monitoring des réseaux mobiles ad hoc

Plusieurs approches sont définies pour le monitoring des réseaux mobiles ad hoc, nous allons donner une amélioration d'une classification, basée sur le modèle organisationnel auquel elles appartiennent, donnée dans [17].

Cette classification est illustrée dans la (figure 2.6) :

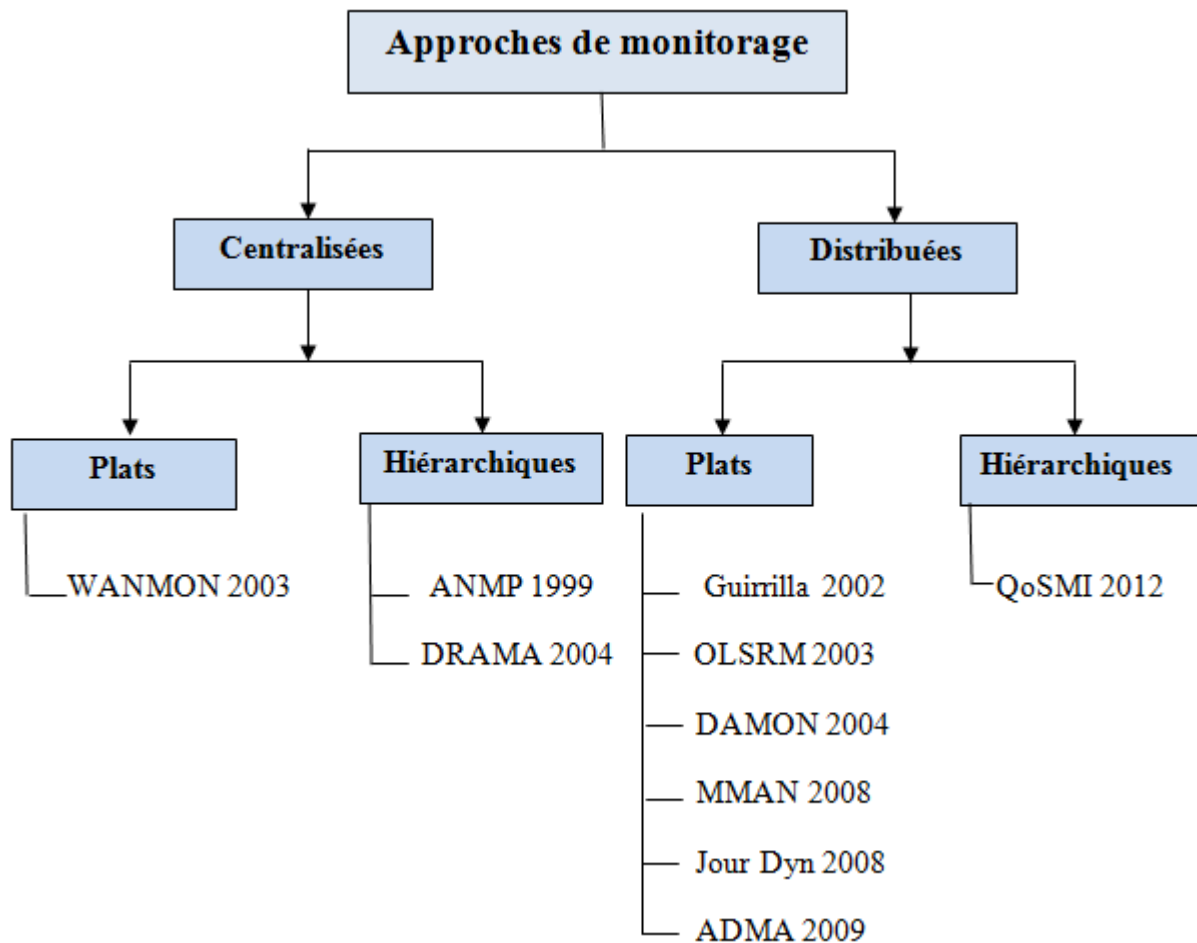


FIGURE 2.6 – Classification des approches de monitoring

#### 2.4.5.1 Approches de monitoring centralisées plats

Parmi les approches centralisées existantes, on peut citer :

##### 1. WANMON (Wireless Ad hoc Network Monitoring Tool)

WANMON [21] est une approche dédiée au monitoring des réseaux mobiles ad hoc. Elle permet de collecter des informations sur l'utilisation des ressources tels que l'utilisation du réseau (données qui sont envoyées, reçues et conduites par un nœud), la consommation d'énergie, l'occupation mémoire et la charge CPU (Central Processing Unit).

L'architecture de WANMON est composée des modules de comptabilités de système, modules de traitement et modules d'affichage. Les modules de comptabilités de système sont chargés de collecter les données brutes concernant l'utilisation des ressources. Ces données seront envoyées par la suite aux modules de traitement de

données, ces derniers tentent de les analyser de façon à en tirer des données utiles des données brutes reçues. Les modules d'interface utilisateur obtiennent les données utiles déjà traitées et les affiche aux utilisateurs du réseau via une interface graphique GUI (Graphical User Interface). Cet affichage peut être sous forme textuelle et /ou graphique.

#### 2.4.5.2 Approches de monitoring centralisées hiérarchiques

Parmi les approches existantes, on peut citer :

##### 1. ANMP (Ad hoc Network Management Protocol)

ANMP [19] est une approche de monitoring dédiée aux réseaux mobiles ad hoc, elle est fondée sur l'utilisation de gestionnaire, des gestionnaires locaux et d'agents. Elle consiste en :

Organisation du réseau en clusters, en utilisant deux algorithmes de clustérisations : Algorithme de clustérisation Petit ID et Algorithme de clustérisation le plus connecté. Chaque cluster est administré par un nœud central (gestionnaire) les autres nœuds du réseau représentent les agents.

Les agents du réseau sont responsables de la tâche de collecte de données. Chaque agent rassemble un ensemble d'informations telles que la qualité de lien, la localisation et la quantité d'énergie restant. Ces données seront sauvegardées par ces agents dans des MIB (Management Information Base) avant de les envoyer au gestionnaire local. Ce dernier rassemble toutes les informations qui lui sont destinées et les envoie au gestionnaire central qui les analyse et les stocke dans sa base appelée AnmpMIB.

L'architecture d'ANMP est illustrée dans la (figure 2.7).

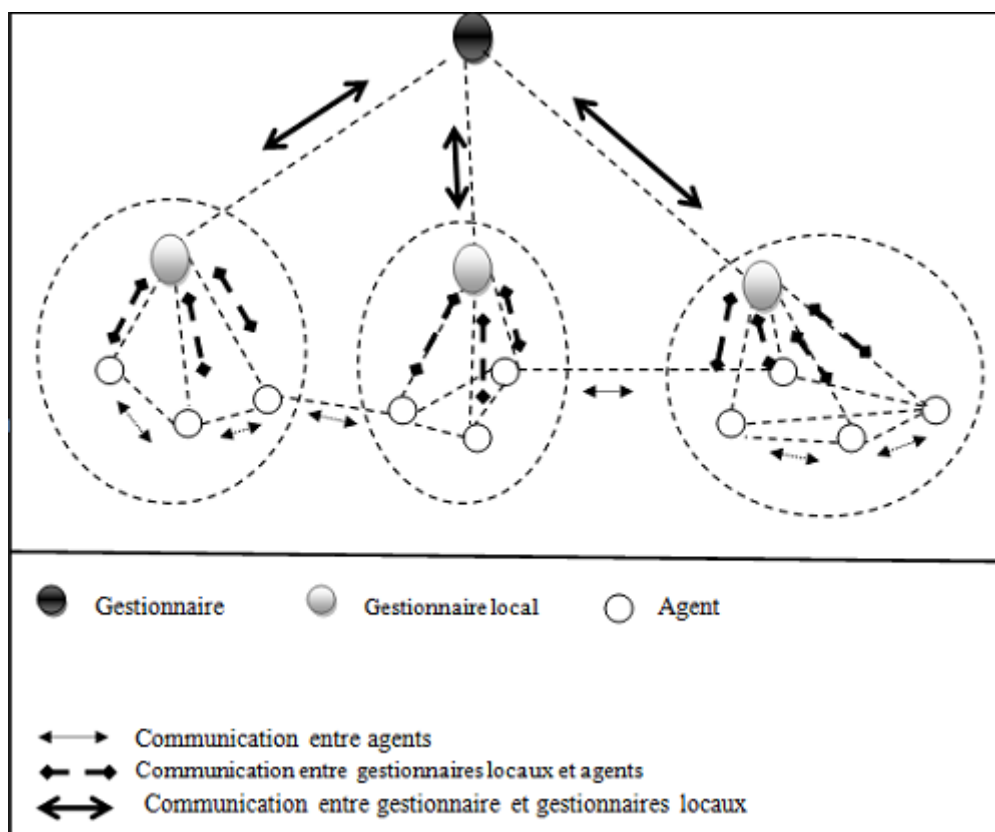


FIGURE 2.7 – Architecture d'ANMP

## 2. DRAMA (Dynamic Readdressing And Management for the Army)

DRAMA [22] [23] est une approche basée politique. Elle est organisée en trois niveaux hiérarchiques sous la forme de clusters (le mécanisme de clustérisation n'est pas spécifié). Chaque cluster est nommé domaine qui est composé d'agents de politiques locaux (LPA : Local Policy Agents), ces derniers sont gérés par l'agent de politique de domaine (DPA : Domain Policy Agents). L'ensemble des DPAs est géré par un nœud central qui est l'agent de politique globale (GPA : Global Policy Agent).

Les politiques, qui sont un ensemble de règles de gestion du réseau de type "si condition alors action", sont diffusées par le GPA aux différents DPAs et du DPA aux LPAs.

Chaque LPA collecte les informations locales liées au nœud dont il est déployé, puis les envoie au DPA du domaine auquel il appartient. Chaque DPA rassemble les données collectées et crée des rapports de gestion qui sont envoyés au GPA pour l'analyse.

L'architecture de DRAMA est illustrée dans la (figure2.8).

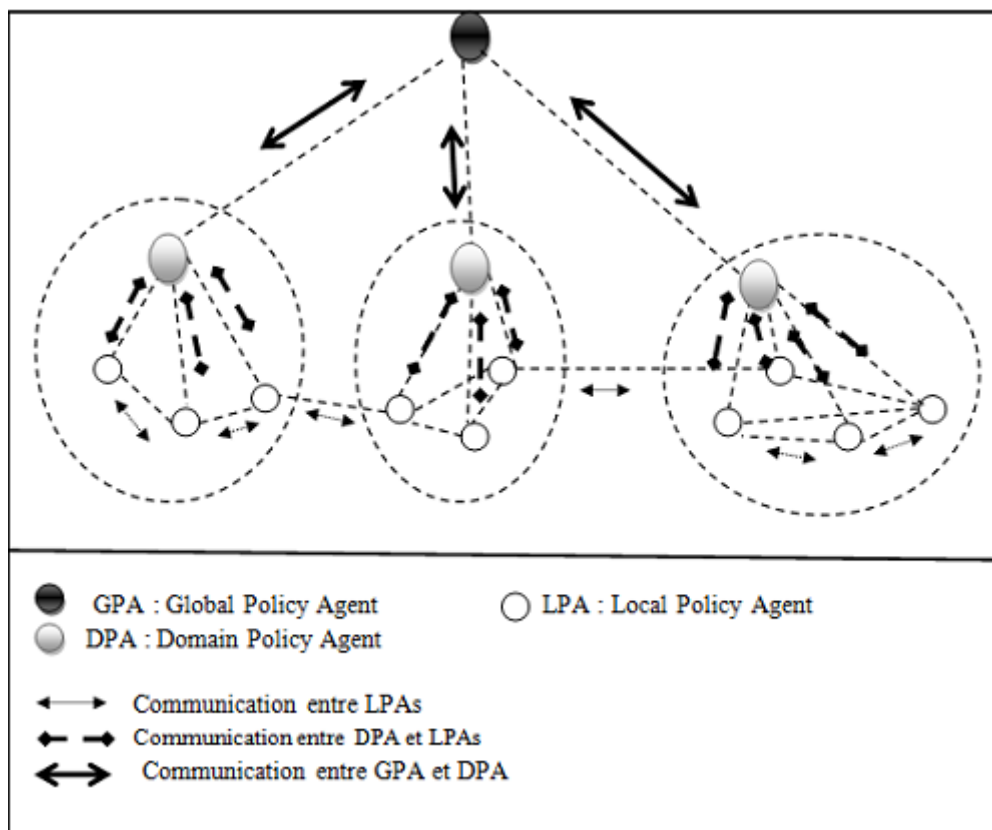


FIGURE 2.8 – Architecture de DRAMA

### 2.4.5.3 Approches de monitoring distribuées plats

Parmi les approches existantes, on peut citer :

#### 1. GUIRRILLA :

La solution d'autogestion GUERRILLA [24] permet de répartir les coûts de gestion en fonction des ressources des nœuds. Le nœud ayant une grande valeur d'énergie et de capacité de calcul maximale, parmi ses voisins, est élu comme gestionnaire nomade (cluster head). Les nœuds avec une capacité suffisante (énergie, capacité de calcul) exécutent les sondes (des scripts légers de gestion), envoyé par le gestionnaire nomade correspondant.

Le changement de rôle des nœuds est dû au changement de topologie ou des capacités.

Les informations liées aux différents nœuds sont collectées par les nœuds exécutant les sondes actives, elles sont ensuite sauvegardées dans des bases de données nommées GMIB (GUIRRILLA Management Information Base), au niveau de chaque gestionnaire nomade.



## 2. OLSRM (Optimized Link State Routing Protocol Monitoring)

OLSRM [25] utilise le protocole de routage OLSR afin de réduire le trafic engendré par la tâche de monitoring. Elle permet à chaque nœud d'avoir trois tables à son niveau, une table de topologie qui contient des informations sur la topologie du réseau, une table de voisins qui contient la liste des voisins d'un nœud et une table sélecteurs MPR (MPRselector) qui contient l'ensemble des voisins qui ont choisi ce nœud comme MPR.

La collecte des données est effectuée à travers le protocole de routage OLSR, à l'aide des messages 'HELLO' et 'TC' (Topology Control) qui sont diffusés périodiquement dans le réseau. Les messages 'HELLO' contiennent aussi les informations sur le temps de création, la consommation d'énergie, ainsi que la qualité du signal dans ces derniers. OLSRM permet aussi au MPR d'ajouter des informations concernant le retard entre le MPR et le MPRselector, la consommation d'énergie et la qualité du signal dans les messages de contrôle 'TC'.

Le stockage des informations collectées se fait dans les différentes tables selon leurs natures.

### 3. DAMON (A Distributed Architecture for Monitoring Multi hop Mobile Network)

DAMON [26] est basée sur le concept agent/centre de dépôt. Un agent est déployé sur chaque nœud mobile pour surveiller et envoyer les données demandées au centre de dépôt correspondant.

Dans la disparation d'un centre de dépôt (à cause de la mobilité, etc.), l'agent choisi un autre centre de dépôt et lui envoi les données collectées.

L'agent effectue la collecte de deux types de données telles que les données dépendantes de temps empaquetées dans TDDs (Time Dependent Digests) et les données indépendantes de temps empaquetées dans des TIDs (Time Independent Digests).

Les TDDs et les TIDs sont livrés au centre de dépôt à l'aide de protocole de routage AODV où ils seront stockés.

### 4. MMAN (Monitor for Mobile Ad hoc Network)

MMAN [27] est fondée autours de multiples nœuds de surveillance appelés MUs (Monitoring Units). Chaque MU est équipé de deux interfaces indépendantes, la première est employée pour rassembler les paquets du réseau et la deuxième est employée pour la communication d'information entre les MUs et les nœuds de gestion. MMAN a trois composants essentiels qui sont, le composant de capture, le composant de délivrance de dossier et le composant d'analyse et GUI (Graphical User Interface).

Les MUs sont déployés dans le réseau et elles sont responsables de la collecte des informations concernant le comportement du réseau tels que l'image de topologie, changement de lien, etc. Ces données sont envoyées à un nœud de gestion, qui les analyse et réuni toutes les vues partielles pour produire une image complète du réseau qui sera affichée sur l'interface GUI.

L'architecture de MMAN est illustrée dans la (figure2.9).

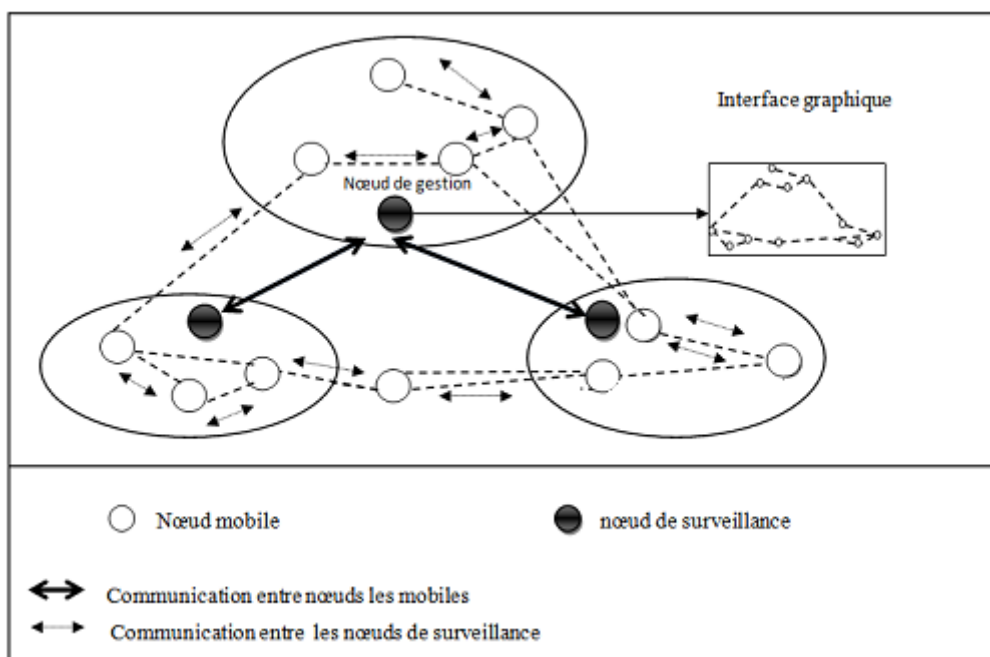


FIGURE 2.9 – Architecture de MMAN

## 5. Monitoring et journalisation dynamiques des topologies

Cette approche permet d'observer la topologie et de journaliser l'évolution de celle-ci sur une période de temps donnée. Elle s'appuie sur l'architecture paire à paire structurée pour la collecte de données et l'utilisation des tables de hachages distribuées [28].

Les nœuds mobiles participants rassemblent les informations de voisinage pendant de courts intervalles de temps nommés 'slots', et créent un enregistrement topologique. Ce dernier est stocké dans la DHT 'table de hachage distribuée' recouvrant l'ensemble des nœuds contrôlés.

## 6. ADMA (Autonomous Decentralized Management Architecture for MANETs)

C'est une approche distribuée composée d'un ensemble de nœuds mobiles autonomes communiquant en mode pair à pair. L'administrateur de réseau définit des politiques à niveau élevé et les présente dans au moins un nœud. Chaque nœud contient et met en application les composants de base suivants [29] :

- LPDP (Local Policy Decision Point) est l'entité qui prend des décisions, dirige la gestion de ressource et configure les nœuds. Le LPDP agit en tant qu'autorité finale pour la décision et ne se rapporte à aucune autre entité centrale de prise de décision.
- Moniteur est le composant qui rassemble, surveille les informations et les rapporte au LPDP selon des politiques.
- PEP (Policy Enforcement Point) est l'élément qui impose les politiques et les décisions de LPDP. Il est également responsable de traduire des décisions et des buts de niveau élevé aux politiques de niveau bas.
- Dépôt Local De Politique (Local Policy Repository) représente une base de données locale où les politiques sont stockées d'une manière structurée.

Chaque moniteur rassemble les informations (locales reliées à l'état de nœud ou externes rassemblées par d'autres moniteurs) et les rapportent au LPDP selon des politiques de surveillances. Les informations collectées seront stockées dans une base de données spécifique locale de chaque nœud. Le LPDP analyse les informations collectées et projette les actions nécessaires basées sur des politiques utilisées.

L'architecture de nœud d'ADMA est illustrée dans la (figure 2.10).

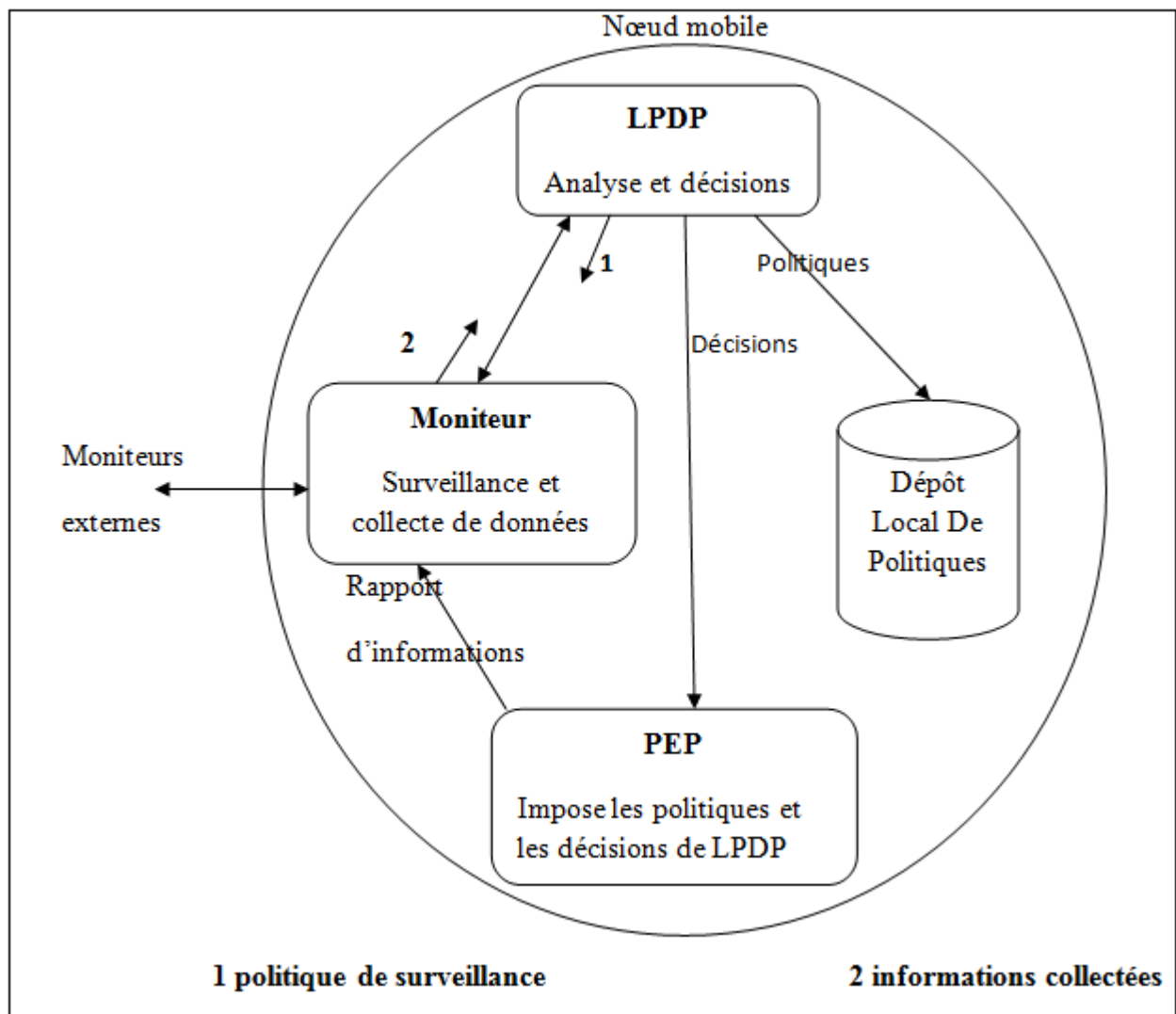


FIGURE 2.10 – Architecture d'un nœud d'ADMA [31]

#### 2.4.5.4 Approches de monitoring distribuées hiérarchiques

Parmi les approches existantes, on peut citer :

##### 1. QoSMI (Quality of Service Monitoring Infrastructure)

C'est une approche distribuée hiérarchique, elle consiste en [30] :

- La construction des nœuds QoS-VBB (QoS Virtual backbone) : cette étape consiste à créer les MIS (Maximal independent set) et les CDS (connected dominating set) ou VBB.
- Les MIS : sont un ensemble de nœuds indépendants qui se caractérisent par leurs stabilité, ils sont dits nœuds dominants (les autres nœuds qui n'appartiennent pas à la MIS sont dits dominés, ils doivent être reliés au moins à un seul nœud de MIS).
- CDS : les nœuds de MIS doivent être reliés entre eux (se connecter) pour construire le CDS.

- Si le VBB est déconnecté de l'une de ses parties, il doit être réparé et reconstituer la connectivité.
- Evaluation de la QoS : elle se réalise par l'utilisation du système de la logique floue. Chaque nœud dominé doit mesurer les principaux paramètres de la QoS (le délai, la gigue et la perte de paquets), ils les utilisent comme des entrées du système de la logique floue pour faire leur évaluation. Chaque valeur évaluée (résultat de la sortie) devrait être rapportée dans un message et envoyée au nœud dominant auquel le nœud dominé appartient.

#### 2.4.5.5 Etude comparative

Dans ce qui suit, nous allons proposer une comparaison entre les différentes approches citées précédemment en se basant sur les critères suivants :

- **Le trafic de monitoring** : une bonne approche doit réduire le trafic engendré par le monitoring.
- **La consommation d'énergie** : une bonne approche doit réduire la consommation en terme de batterie.
- **La topologie du réseau** : une approche de monitoring doit donner une vision aussi complète que possible sur la topologie du réseau.
- **La distribution de la charge de traitement** : une approche de monitoring efficace doit garantir une bonne distribution de la charge de traitement sur plusieurs nœuds du réseau.
- **La distribution de la charge de stockage** : une approche de monitoring efficace doit garantir des mécanismes de réplication permettant la disponibilité des informations relatives au réseau pour tous les nœuds.
- **La robustesse** : une approche de monitoring doit éliminer la possibilité de faire face à une situation où un seul point réalise la tâche de collecte et d'analyse de données.

Critères	Traf mon	Cons Ener	Topo	Dis trait	Dis stoc	robust
WANMon	X					
ANMP			X	X	X	
DRAMA			X	X	X	
GUIRRILLA				X	X	X
OLSRM	X	X		X	X	X
DAMON				X	X	X
MMAN	X		X	X	X	X
J.Dynam			X	X	X	X
ADMA				X	X	X
QoSMI				X	X	X

TABLE 2.1 – Etude comparative

Le tableau ci-dessus montre une comparaison entre les différentes approches de monitoring citées en se basant sur les critères fournis.

On remarque que, chacune des approches assure quelques critères selon l'architecture et le mécanisme de monitoring utilisé. Il ya des approches basée sur le routage et d'autres basées sur le clustering.

D'après le tableau, les approches de monitorages centralisées souffrent de la vulnérabilité d'un point de contrôle, ce qui les rend non robustes. Cependant, les approches distribuées sont robustes en raison de l'absence d'un nœud central de traitement et permettent une distribution de stockage et de traitement.

L'image de topologie obtenue peut être soit partielle ou totale. Les approches ANMP, DRAMA, Journalisation Dynamique et MMAN permettent d'avoir une vue complète sur la topologie du réseau.

Les contraintes d'énergies sont réduites par OLSRM par le concept des MPRs et puisque c'est une extension de protocole de routage OLSR, donc elle consomme pas une énergie supplémentaire pour la tâche de collecte.

## 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la supervision dans les réseaux mobiles ad hoc, ainsi que les différents concepts liés à ces derniers. Par la suite, nous avons cités principales approches de monitoring. Nous avons terminés ce chapitre par une étude comparative des approches déjà citées.



# 3

Approche proposée (**MonOpt** :  
**Monitoring Optimisé**)

## 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons notre solution qui consiste à mettre en place une nouvelle approche de monitoring optimisée des réseaux mobiles ad hoc intégrant un mécanisme de théorie des jeux. Cette solution permettra une meilleure prise en charge de la collecte de données. Elle est composée de deux principales parties.

Dans la première partie, nous avons utilisé un nouvel algorithme de clustérisation basé sur l'énergie et l'égoïsme d'un nœud (un nœud économiquement rationnel dont l'objectif est de maximiser son propre bien-être, qui est défini comme le bénéfice de ses actions moins leurs coûts, et que la transmission d'un message inflige un coût (énergie et autres ressources) à un nœud), dans le but d'éliminer la possibilité d'élire un nœud égoïste comme cluster head même en ayant une valeur énergétique maximale. Après la construction de cluster, nous allons appliquer la théorie des jeux pour sélectionner les nœuds (joueurs) qui vont effectuer la tâche de collecte de données.

Dans la seconde partie, un traitement sera effectué par le cluster head, pour affecter à chaque joueur l'ensemble des nœuds pour lesquels il doit collecter les informations. Le traitement permet de collecter les informations d'un nœud par un seul joueur, cela dans le but de réduire la consommation d'énergie et la surcharge du réseau par les messages de monitoring échangés, si tous les voisins de ce nœud collectent ses informations.

## 3.2 Motivation

Le problème d'énergie et de surcharge du réseau a une grande influence sur les performances des réseaux mobiles ad hoc. Dans les travaux précédents, plusieurs mécanismes de surveillance sont utilisés à savoir la clustérisation et le routage. Les approches basées sur le routage, résolvent quelques problèmes de celles basées clustering tel que la maintenance de cluster qui injecte un trafic supplémentaire. Cependant, elles sont destinées aux réseaux où le routage n'est plus la principale tâche.

La mise en place de ces approches sur des réseaux à grande échelle augmente le trafic de contrôle généré et augmente la consommation des ressources tel que l'énergie et la surcharge du réseau.

Donc, il est nécessaire de proposer une solution souple qui permet de balayer les inconvénients des approches existantes et de s'adapter dynamiquement aux changements au sein du réseau.

Notre solution porte sur une nouvelle approche qui permet d'optimiser les ressources utilisées pour l'activité de monitoring en utilisant le principe de la théorie des jeux. Notre but est de réduire la consommation d'énergie et le nombre de collecte effectué par un nœud.

## 3.3 Concepts de base de la théorie des jeux

### 3.3.1 Historique de la théorie des jeux

La théorie des jeux a vu le jour grâce à Von Neumann et Morgenstern dans leur ouvrage, désormais classique, *the theory of games and Economic behavior*, publié en 1944 [31].

La théorie des jeux est une branche des mathématiques qui permet de prédire vers quelle(s) situation(s) converge(nt) un ensemble de agents rationnels en situation de concurrence. Cette théorie s'applique à divers domaines : biologie, science économique, bourses, stratégies militaires, science sociales, etc [32].

### 3.3.2 Définition d'un jeu

Un jeu est une situation où des individus (des joueurs) sont conduits à faire des choix parmi un certain nombre d'actions possibles, et dans un cadre défini à l'avance. Les résultats de ces choix constituent une issue du jeu à laquelle est associé un gain ou une perte pour chacun des participants [32].

### 3.3.3 Les principaux éléments d'un jeu

Les principaux éléments d'un jeu sont [32] :

- **Les joueurs** : ce sont les individus qui prennent des décisions. Le but de chaque joueur étant de maximiser son utilité par le choix des actions à entreprendre.
- **Action** : une action d'un joueur ' $i$ ', notée ' $A_i$ ' est un choix que ce joueur peut effectuer.
- **Stratégies** : la stratégie d'un joueur ' $i$ ' est une règle qui lui indique quelles actions entreprendre à chaque instant du jeu, étant donné l'ensemble d'informations.

### 3.3.4 Types de jeux

On distingue plusieurs types de jeux qui sont [33] :

- **Coopératif ou non-coopératif** : un jeu est coopératif lorsque les joueurs forment une coalition pour s’engager dans un même but. La communication inter-joueur devient un élément clé pour un jeu coopératif, alors qu’il est généralement interdit dans un jeu non-coopératif .
- **Symétrique ou asymétrique** : un jeu est symétrique lorsque les gains ou les pertes pour une stratégie particulière ne dépend que des actions jouées par les autres plutôt que de l’identité des autres joueurs. Ainsi, si pour une même action exécutée par les joueurs, le premier joueur tire un gain différent du deuxième, le jeu est asymétrique.
- **Somme nulle ou somme non-nulle** : un jeu possède une somme nulle lorsque la somme des gains et des pertes de tous les joueurs et pour toutes les combinaisons de stratégies possibles est nulle. En d’autres termes, un joueur ne tire un gain que si un autre joueur subit une perte de même valeur.
- **Simultané ou séquentiel** : un jeu est simultané si les joueurs ignorent les actions choisies précédemment par les autres. Au contraire, si un joueur considère les stratégies des autres qui ont été jouées précédemment dans sa prise de décision, le jeu est alors séquentiel et le temps devient un facteur important à considérer dans la fonction d’utilité.
- **Information parfaite ou imparfaite** : si tous les joueurs connaissent les actions sélectionnées par les autres depuis le début du jeu, alors le jeu est basé sur de l’information parfaite. Ce type d’information nécessite au préalable d’avoir un jeu séquentiel puisque par définition, un jeu simultané n’implique pas que tous les joueurs connaissent les mouvements précédents des autres.
- **Information complète ou incomplète** : le jeu est à information complète si chaque joueur connaît la structure du jeu, c’est-à-dire l’ensemble des joueurs, les ensembles de stratégies de tous les joueurs, ainsi que leurs fonctions de gain. Chaque joueur sait également que tous les autres joueurs disposent de ces informations, on parle alors de connaissance commune. Le jeu est information incomplète s’il existe une incertitude sur l’un des éléments cités précédemment.

## 3.4 L'approche de monitoring optimisée basée sur la théorie des jeux

L'approche proposée définit une architecture distribuée hiérarchique basée sur l'optimisation de processus de monitoring afin de réduire l'énergie consommée et la surcharge du réseau, en utilisant la théorie des jeux.

Le jeu proposé est non coopératif et à somme non null.

### 3.4.1 Description de l'approche proposée (MonOpt : Monitoring Optimisé)

L'approche **MonOpt** proposée se compose de deux phases qui sont définies comme suit :

#### 3.4.1.1 Le partitionnement du réseau en cluster et la désignation des joueurs

Pour le partitionnement du réseau en cluster, nous avons utilisé l'algorithme de clustérisation défini dans [34]. L'élection des nœuds ayant un poids maximal  $P$  parmi ses voisins comme cluster head.

$$P = W1 * P1 + W2 * P2 + W3 * P3 + W4 * P4 \quad (3.1)$$

Où :

$W1$ ,  $W2$ ,  $W3$  et  $W4$  représentent les coefficients des métriques (le degré d'implication des métriques), ils se varient en fonction des besoins de l'application.

$P1$  : la valeur de confiance du nœud.

$P2$  : l'énergie restante d'un nœud.

$P3$  : la connectivité (nombre de voisins d'un nœud).

$P4$  : la mobilité (probabilité qu'un nœud se déplace pendant le cycle de monitoring).

– **Description de l'algorithme d'élection** : chaque nœud  $i$ , calcul son poids  $P_i$  et le partage avec ses voisins (il envoie  $V_n$  message qui contient cet  $P_i$  à ses voisins).

**Algorithme d'élection**

Soient :

n1 nombre de voisins à un saut ; n2 nombre de voisins à deux sauts ;

P1max le poids maximal des poids des voisins à un saut ; P2max le poids maximal des poids des voisins à deux sauts ;

V1 l'ensemble des poids des voisins à un saut ; V2 l'ensemble des poids des voisins à deux sauts ;

i, j ; id1, id2, CH : entier ;

**debut**

**Pour** (j allant de 1 à nombre de nœuds de réseau ) **faire**

**pour**(i allant de 1 à n1) **faire**

P1max=max(V1) ;

id1=id(P1max) ;

**finpour**

**pour**(i allant de 1 à n2) **faire**

P2max=max(V2) ;

P2max=max(V2) ;

**finpour**

**si** (P1max >P2max)**alors**

CH= id1 ;

**sinon**

CH= id2 ;

**finsi**

**Fin pour**

**fin**

l'application de l'algorithme défini précédemment permet de partitionner le réseau en clusters à 2 sauts.

Afin de distribuer la charge de traitement et de diminuer le trafic et l'énergie consommée, nous avons construit des clusters équilibrés à 'N' nœuds.

### 1. Classification des nœuds :

Dans notre modèle de collecte, un nœud du réseau peut être soit un nœud collecteur ou nœud non collecteur.

- Nœuds non collecteurs : ce sont les nœuds du réseau qui n'effectuent aucune tâche

concernant le processus de collection.

- Nœuds collecteurs : ce sont les voisins à 1 saut de cluster head, ils représentent les nœuds du réseau qui collectent les données des nœuds non collecteurs voisins.

## 2. Modèle de jeu :

Le cluster head applique la théorie des jeux pour désigner les nœuds qui joueront le rôle de gestionnaire (nœud responsable de collecte de données).

- **Jeu** : collecte de données des nœuds voisins des joueurs.
- **Joueurs** : ce sont les nœuds collecteurs, qui représentent les voisins à un saut de cluster head, ils sont désignés par le cluster head. Ils sont stockés au niveau de cluster head sous forme de vecteur.

ID joueur1	...	ID joueur n
------------	-----	-------------

- **Les stratégies** : un nœud de type collecteur (joueur) a deux stratégies pures : collecter, ne pas collecter.

**1. Collecter** : un joueur 'i' a deux ensembles de nœuds pour lesquels il doit effectuer la tâche de collecte. L'ensemble des nœuds obligatoires et L'ensemble des nœuds communs attribués par le cluster head.

### 2. Ne pas collecter.

- **Les gains et les pertes** :

La table suivante présente un exemple des gains et des pertes de deux joueurs en terme d'énergie en fonction de la stratégie choisie.

	Collecter	Ne pas collecter
Collecter	-E, -E	-E, E
Ne pas collecter	-E, E,	E, E

$$E = E_{\text{envoi}} + E_{\text{recep}} \quad (3.10).$$

Avec,  $E$  : représente l'énergie consommée pour la collecte d'information d'un voisin.

Avec cette formule, on peut calculer les gains et les pertes de chaque joueur. Un joueur 'i' qui met en application la stratégie 'collecter' enregistre une perte  $E$ . tandis qu'un autre joueur 'j' qui applique la stratégie 'ne pas collecter' pour la même information et le même voisin, enregistre un gain de  $E$  qui a la même valeur de perte du joueur 'i'.

### 3. Affectation des voisins aux différents joueurs

Le cluster head affecte à chaque joueur deux listes différentes de nœuds, la liste des voisins obligatoires et la liste des voisins communs. Cette affectation est faite après la réception des listes de voisins à 1 saut des joueurs.

Le cluster head enregistre les informations de ses joueurs, après la suppression des ID des joueurs dans la colonne des voisins, dans une table comme suit :

Nœud non collecteur N1	Liste des joueurs ayant N1 comme voisin
------------------------	---

Pour mieux expliquer le traitement effectué au niveau de cluster head, nous allons l'expliquer par l'algorithme suivant :

**Pour** chaque cluster 'CL' **faire**

Joueurs= voisins à un saut du CH;

**Pour** chaque joueur 'J' **faire**

calcule  $v(J)$ ; l'ensemble des voisins de 'J' à un saut dans le même cluster.

envoi de  $v(J)$  + énergie restante au CH

**Fin pour**

**Pour** chaque message reçu **faire**

**Pour** chaque nœud dans le message reçu **faire**

le CH enregistre les joueurs qui lui sont voisins

**Fin pour**

**Fin pour**

**Fin pour**

La sélection des voisins obligatoires et communs se fait après une analyse effectuée sur la table précédente. Le cluster head vérifie pour chaque nœud non collecteur, de



la table, la liste des joueurs voisins. Le nœud ayant un seul joueur comme voisin sera considéré et affecté à ce joueur en tant que nœud obligatoire. Les nœuds ayant plus d'un joueur comme voisins sont considérés comme nœuds communs entre les différents joueurs se trouvant dans leur voisinage.

Pour mieux comprendre le traitement, nous allons expliquer son fonctionnement par l'algorithme suivant :

– **Sélection des voisins obligatoires**

**Pour** chaque nœud non collecteur **faire**

le CH vérifie 'L' la liste des joueurs qui lui sont voisins

**Si** L contient un seul joueur **alors**

le nœud est considéré obligatoire à se joueur

**Sinon**

le nœud est considéré commun entre les joueurs contenus dans 'L'

**FinSi**

**Fin pour**

**fin**

- **Sélection des voisins communs** : pour que le cluster head puisse affecter un nombre raisonnable de nœuds communs pour un joueur, il doit estimer l'énergie restante de chaque joueur quand il collecte les informations de ses voisins obligatoires. Nous avons calculé l'énergie estimée en se basant sur le modèle de [35]. Le joueur après la réception de la liste des voisins auquel il doit faire la collecte de données, il envoie une confirmation (choix de stratégie) au cluster head. Ce dernier s'il ne reçoit pas cette confirmation dans un délai prédéfini il désigne un autre joueur.

$$E_{est} = E_{est\_envoi} + E_{est\_recep} \quad (3.2)$$

$$E_{est\_envoi} = nb\_v\_obl * E_{Tx}(taille, portée) \quad (3.3)$$

$$E_{est\_recep} = nb\_v\_obl * E_{Rx}(taille) \quad (3.4)$$

Avec :  $E_{Tx}(taille, portée)$  et  $E_{Rx}(taille)$  représentent respectivement l'énergie consommé pour l'envoi d'un message et l'énergie consommé pour la réception d'un message,  $nb\_v\_obl$  représente nombre de voisins obligatoires.

Avec :  $E_{elec}$  représente l'énergie de transmission électronique tels que  $E_{elec}=10^{-10}$  et  $E_{amp}$  représente l'énergie d'amplification tels que  $E_{amp}=5*10^{-8}$ .

Pour effectuer cette estimation, on suppose que l'identifiant d'un nœud est codé

sur 'nbr\_bit', et le voisin se trouve à une distance maximale égale à la portée d'un nœud.

Donc, on aura la taille d'un message qui est calculé comme suit :

$$\text{Taille} = \text{nbr\_bit} * \text{nbr\_v\_obl} \quad (3.5)$$

Après le calcul de l'énergie estimé, le cluster head calcul l'énergie restante par la formule suivante :  $E_{res} = E_{init} - E_{est}$  (3.6). Le cluster head attribue au joueur ayant 'Eres' maximale les voisins en communs avec les joueurs de cette liste des voisins.

Pour mieux comprendre le traitement, nous allons expliquer son fonctionnement par l'algorithme suivant :

**Debut**

le CH estime l'énergie restante pour chaque joueur ayant des nœuds obligatoires dont il doit collecter les informations.

**Pour** chaque nœud commun **faire**

le CH compare les énergies restantes de tous les joueurs de 'L'

le CH affecte le nœud au joueur ayant l'énergie restante maximale

**Fin pour**

**Fin**

### 3.4.1.2 Le monitoring

Chaque joueur fait le monitoring des données de ses voisins qui lui sont attribués par le CH.

Le processus de monitoring consiste en :

- **Collecte de données** : dans notre approche, toutes les collectes de données seront faites périodiquement, elles seront déclenchées par l'expiration du timer (la période entre deux collectes). Dès l'instant où le cluster head décide de débiter une collecte de données, il envoie un message composé de deux champs à des joueurs du cluster. Ces champs correspondent respectivement à l'identifiant de l'initiateur, et dans le cas initial, il représente l'identifiant du cluster head (Id\_CH) qui a initié le processus, ainsi que les paramètres de collecte (col\_param) qui peuvent varier selon les demandes d'application. Dans le cadre de notre approche, on s'est intéressé uniquement à l'énergie, et pour cela, les paramètres de collecte seront réduites à l'énergie restante et la liste des voisins.

À la réception du message par un joueur, ce dernier l'envoi, après le changement de l'identifiant de l'initiateur par son identifiant, à tous les nœuds dont ce joueur est responsable de collecter les informations.

Tous les nœuds non collecteurs recevant le message de collecte, calculent leurs énergies restantes et renvoient un message mené de leurs identifiants, leurs énergies et les liste de ses voisins au joueur concerné. Ce dernier, analyse les données collectées et créé un rapport englobant toutes les informations reçus par ces voisins et l'envoi à son tour au cluster head qui a initié le processus de collecte.

- **L'analyse de données et alertes** : après la réception des messages par les joueurs, ils effectuent une analyse concernant l'énergie restante au niveau de chaque nœud non collecteur, et *Si* la valeur reçue est inférieure à un seuil prédéfini, les joueurs lancent une alerte. La valeur énergétique de chaque joueur sera analysée par le cluster head.
- **Stockage de données** : le stockage des données collectées se fera en deux niveaux. Le premier enregistrement se fera au niveau de chaque joueur après la réception des messages de collecte, tant dis que le deuxième se fera au niveau du cluster head après la réception des rapports criés pas les différents joueurs.

### 3.4.1.3 Maintenance

#### L'impact de la mobilité sur la collecte de données

Deux cas peuvent être intervenues lors de déplacement d'un joueur '*i*' :

**1.** Le joueur '*i*' informe ses voisins et son cluster head avant son déplacement, et *Si* le temps restant pour terminer le monitoring est inférieur à  $2/3$  de temps de monitoring alors le cluster head accepte les données collectées par ce joueur.

Sinon *S'il* dépasse ce temps, le cluster head affecte la collecte de données des voisins de ce joueur aux autres joueurs ou désigne un autre joueur, puis informe les autres membres de cluster de déplacement de ce joueur.

**2.** Le joueur '*i*' se déplace sans informer le cluster head : dans ce cas, le cluster head détecte le déplacement du joueur par la non reception de données de ce dernier après une période de temps.

- Si le cluster head tombe en panne (le processus de clustérisation sera réinitialisé).
- Si un joueur tombe en panne, le cluster head informe ses voisins et affecte les voisins en communs avec d'autres joueurs au joueur ayant la valeur de poids

maximale, pour collecter les informations des voisins de ce joueur.

### 3.4.2 Exemple illustratif :

Le réseau est constitué de  $n$  nœuds mobiles distribués géographiquement. Chaque nœud contient les informations suivantes : ID, Energie, mobilité, valeur de confiance et connectivité. La figure 3.1 montre le déploiement du réseau.

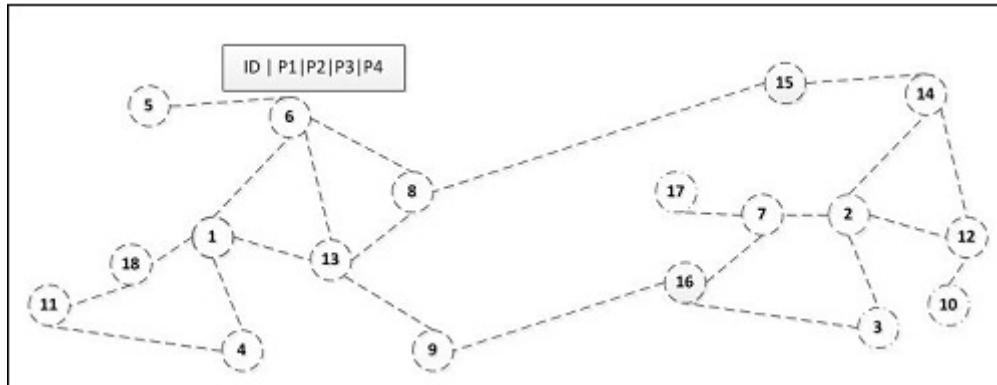


FIGURE 3.1 – Déploiement du réseau

#### – Construction des clusters :

On applique l'algorithme de clustérisation cité en haut pour élire le cluster head, en initialisant les coefficients comme suit :

$W1=0.5$ ,  $W2=0.3$ ,  $W3=0.1$  et  $W4=0.1$ .

Le nœud ayant la valeur de  $P$  maximale est élu comme cluster head, les membres de cluster sont les nœuds à 1 et à 2 sauts de cluster head.

Nous prenons comme exemple d'étude le cluster1, en considérant le nœud 1 le cluster head (voir la figure 3.2).

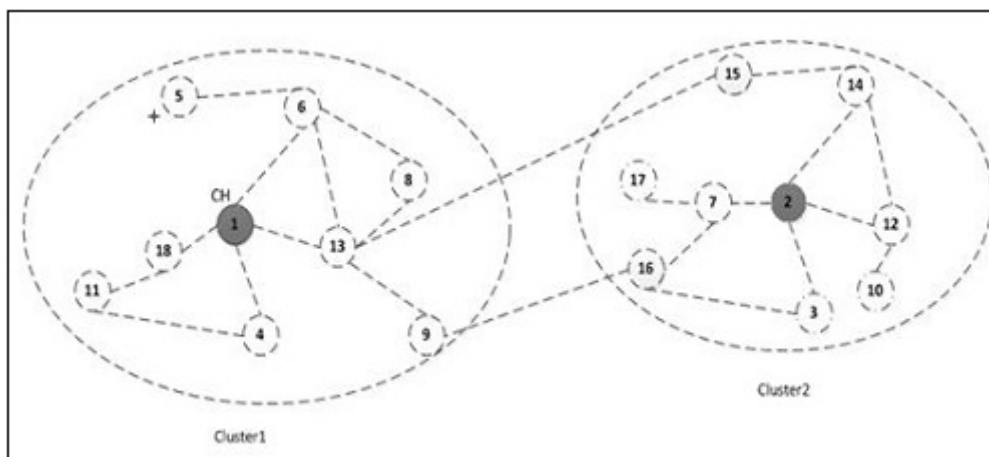


FIGURE 3.2 – Construction des clusters

– **Désignation des joueurs :**

Le cluster head désigne les joueurs (nœuds responsable de collecte de données) qui représentent ses voisins à 1 saut, et les stockent à son niveau sous forme de vecteur.

ID joueur1	...	ID joueur n
------------	-----	-------------

Pour le cluster1, les nœuds 6, 13, 4 et 18 représentent les joueurs.

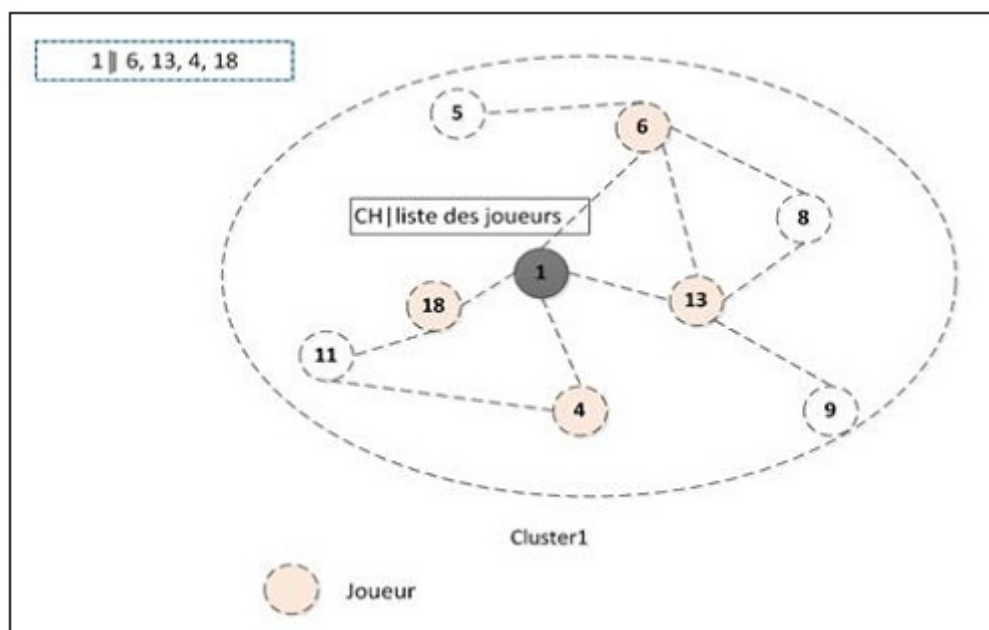


FIGURE 3.3 – Désignation des joueurs

Chaque joueur envoie la liste de ses voisins à 1 saut et son énergie restante au cluster head (ID, Energie restante, voisins).

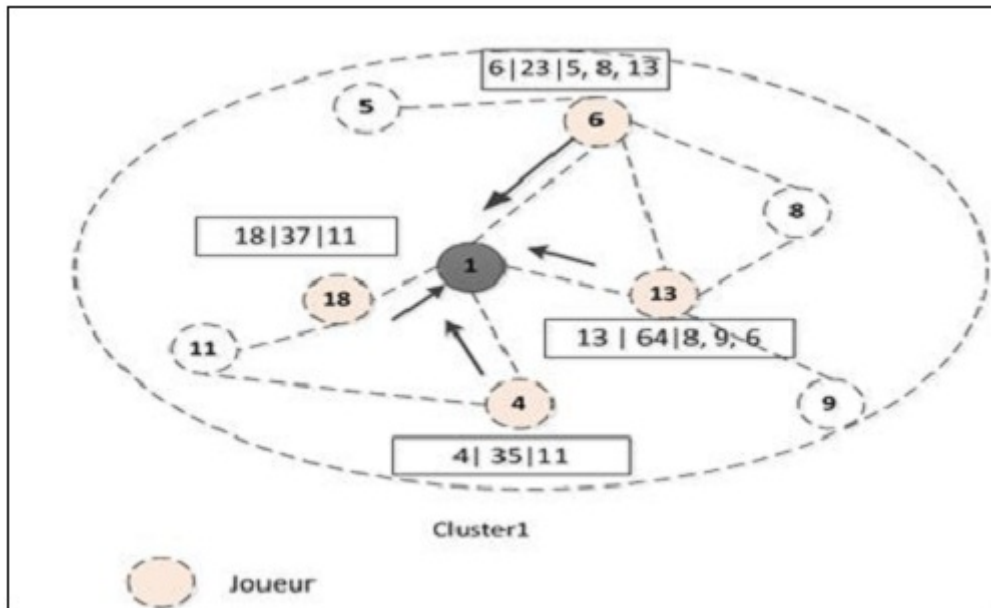


FIGURE 3.4 – Envoi des listes au cluster head

Le cluster head enregistre les informations de ses joueurs, après la suppression des joueurs dans la colonne des voisins, dans une table comme suit :

Voisins	joueurs
5	6
8	6, 13
9	13
11	4, 18

Joueur	Voisins obligatoires	Voisins communs
6	5	8
18	-	11
13	9	8
4	-	11

TABLE 3.1 – Affectation des voisins obligatoires et des voisins communs

- Le cluster head affect à chaque joueur la liste des voisins obligatoires pour lesquels il doit collecter les informations, puis il calcul la valeur de l'énergie restante estimé (voir le tableau 3.2).

On prend comme exemple le joueur 13, pour calculer l'énergie restante estimé.

- $E_{est} = E_{est\_envoi} + E_{est\_recep}$
- $Porté = 20$ , Pour  $X=100$  nœuds mobiles,  $nbt=\ln X= 7$
- $E_{est\_envoi} = nb\_v\_obl * ETx (taille, porté) = 1 * ((E_{elec} * taille) + (E_{amp} * taille * porté * porté))$   
 $= 1 * ((0.000000000001 * 7) + (0.000000005 * 7 * 20 * 20))$

Telque :  $Taille = nbt * nbr\_v\_obl$  nbt dépend de la taille de réseau.

- $E_{est\_recep} = nb\_v\_obl * ERx(taille) = 1 * (E_{elec} * s) = 1 * (0.000000000001 * taille)$
- $E_{est} = E_{est\_envoi} + E_{est\_recep} = 0.000001407$
- $E_{rest13} = E_{init} - E_{est} = 64 - 0.000001407 = 63.999998593$
- $E_{rest6} = E_{init} - E_{est} = 23 - 0.000001407 = 22.999998593$

Comme le nœud 8 est un voisin commun entre les joueurs 13 et 6, et l'énergie restante estimé de joueur 13 est plus grande que celle de joueur 6, donc le cluster head affect le voisin 8 au joueur 13.

Les mêmes étapes sont effectuées pour les autres joueurs. Le joueur ayant la plus grande valeur d'énergie sera chargé de collecter les informations des nœuds en commun avec d'autres joueurs.



Joueur	Voisins affectés
4	11
6	5
13	9, 8
18	

TABLE 3.2 – Affectation des voisins au joueurs

Le tableau ci-dessus représente les joueurs et les listes des voisins qui lui sont affectés par le cluster head.

Le cluster head envoie à chaque joueur la liste des nœuds auxquels il effectua la collecte de données (voir la figure 3.5).

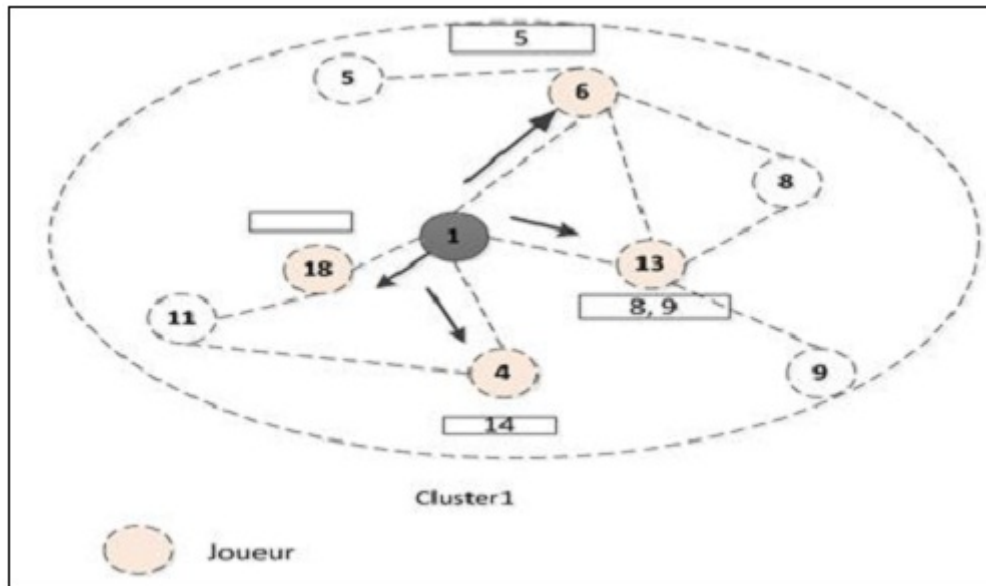


FIGURE 3.5 – Envoi des listes des voisins aux joueurs

Chaque joueur envoie une confirmation au cluster head, voir la figure suivante :

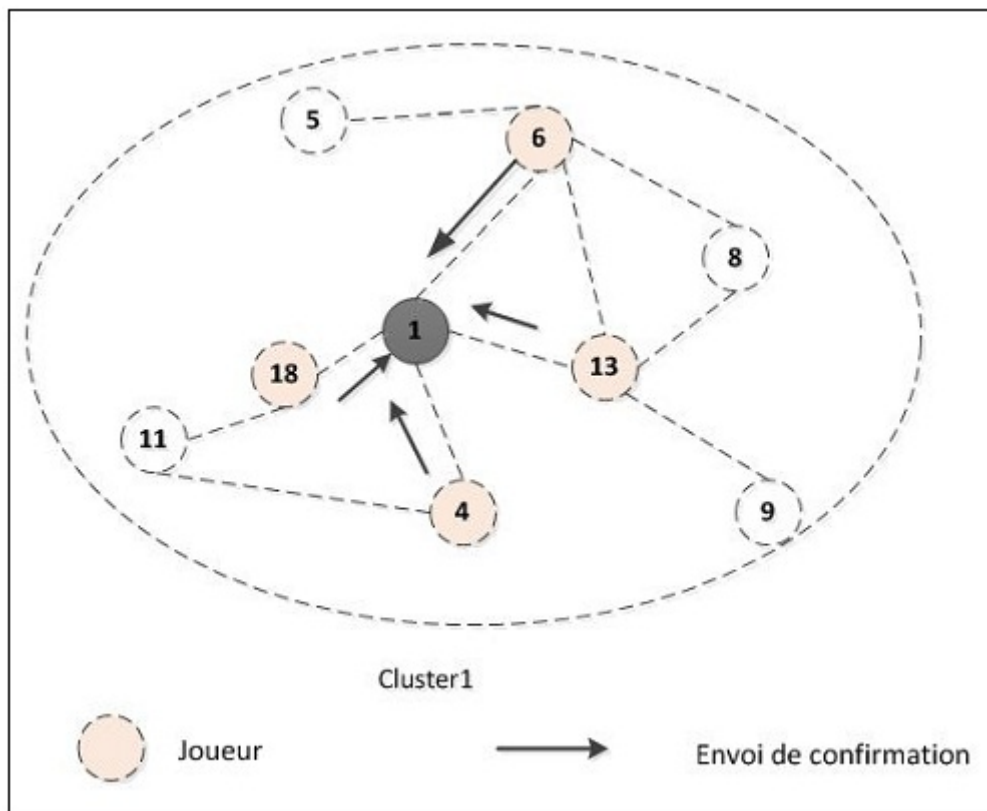


FIGURE 3.6 – Envoi des confirmations au cluster head

– **Le monitoring :**

Collecte de données : chaque joueur collecte les informations des voisins qui lui sont affectés par le cluster head. Dans notre cas les joueurs 4, 13, 6 collecte les informations (ID, énergie, etc) des nœuds voisins 11, 9, 8, 5 respectivement (voir la figure). Le joueur 18 n'a aucun nœud voisin. Les joueurs envoient au cluster head correspondant les données collectées.

Analyse de données : les données collectées seront analysées et rapporté au cluster head.

Le stockage : les données collectées seront stockées au niveau de chaque joueur et au niveau de cluster head dans des bases de données.

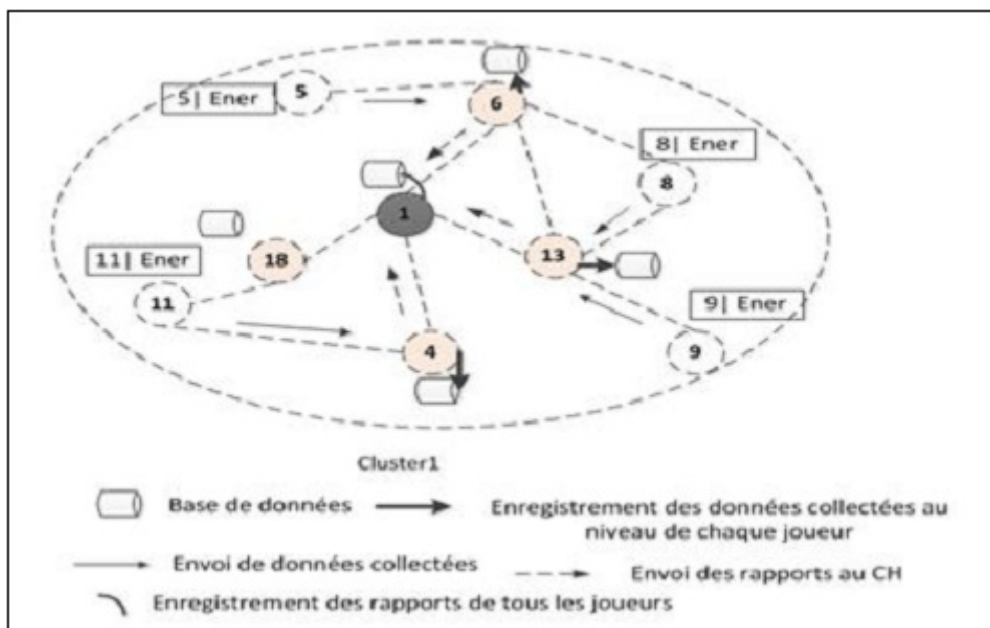


FIGURE 3.7 – Le processus de monitoring

### 3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par la définition des concepts de base de la théorie des jeux, puis on a procédé à la définition et la description de l'approche proposée MonOpt. Nous avons conclure ce chapitre par un exemple illustrant les différentes étapes de l'approche **MonOpt**. Dans le chapitre qui suit, nous allons évaluer les performances de notre approche proposée.

# 4

Simulation et résultats

## 4.1 Introduction

Après avoir donné une description de notre approche proposée dans le chapitre précédent, nous allons entamer la partie simulation et évaluation de MonOpt .

Dans ce chapitre, nous justifions tout d'abord le choix de l'environnement MATLAB. Ensuite, nous définissons cet environnement de simulation et les paramètres choisis pour l'évaluation de notre approche. Enfin, nous exposons les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations.

## 4.2 Le choix de MATLAB

MATLAB est un logiciel de calcul numérique produit par MathWorks. Il est disponible sur plusieurs plateformes. C'est un langage simple et très efficace, optimisé pour le traitement des matrices, d'où son nom. Pour le calcul numérique, MATLAB est beaucoup plus concis que les vieux langages (C, Pascal, Fortran, Basic) et pour la programmation, il optimise le code des programmes en utilisant des fonctions prédéfinies. On peut traiter la matrice comme une simple variable.

MATLAB contient une interface graphique puissante, et on peut l'enrichir en ajoutant des "boites à outils" (toolbox) qui est des ensembles de fonctions supplémentaires, profilées pour des applications particulières (traitement de signaux, analyses statistiques, optimisation, etc).

MATLAB contient également un langage de programmation de haut niveau dans lequel on retrouve la majorité des concepts des langages de programmation modernes (types Pascal et C). L'ordre d'exécution des instructions est déterminé par des structures de contrôle. Il permet aussi la création de fonctions et distingue les données locales des données globales. Ces avantages ont rendus de MATLAB, un langage de programmation et de simulation très sollicité.

## 4.3 Simulation

Toutes nos simulations sont effectuées dans un réseau formé de 500 nœuds où chaque nœud est placé initialement d'une manière aléatoire dans une surface de 100m\*100m, et qui se déplace aléatoirement dans la zone.

Définition de la constante	Valeur initiale	Type	Unité de mesure
Nombre de nœuds	500	Nombre	Nombre
Portée de nœud	20	Entier	Mètre
Temps de simulation	6000	Entier	Seconde
Taille du réseau	100*100	Surface	m <sup>2</sup>

TABLE 4.1 – Les paramètres de simulation

Initialement, les nœuds ont tous une quantité d'énergie affectée aléatoirement sur une batterie de 100J. Cette valeur énergétique diminue à chaque réception et transmission de message selon le modèle de consommation d'énergie défini [35].

Le tableau 4.1 montre les paramètres de simulations qui ont été choisis.

**L'échéancier :** Les évènements détectés dans le réseau sont rangés dans un échéancier.

Chaque évènement est représenté par une notice décrite par l'ID du nœud collecteur et le temps d'arriver de la demande collecte voir la table ci-dessous.

ID du nœud collecteur
Le temps d'arriver de la demande de collecte

## 4.4 Etapes de réalisation de la simulation

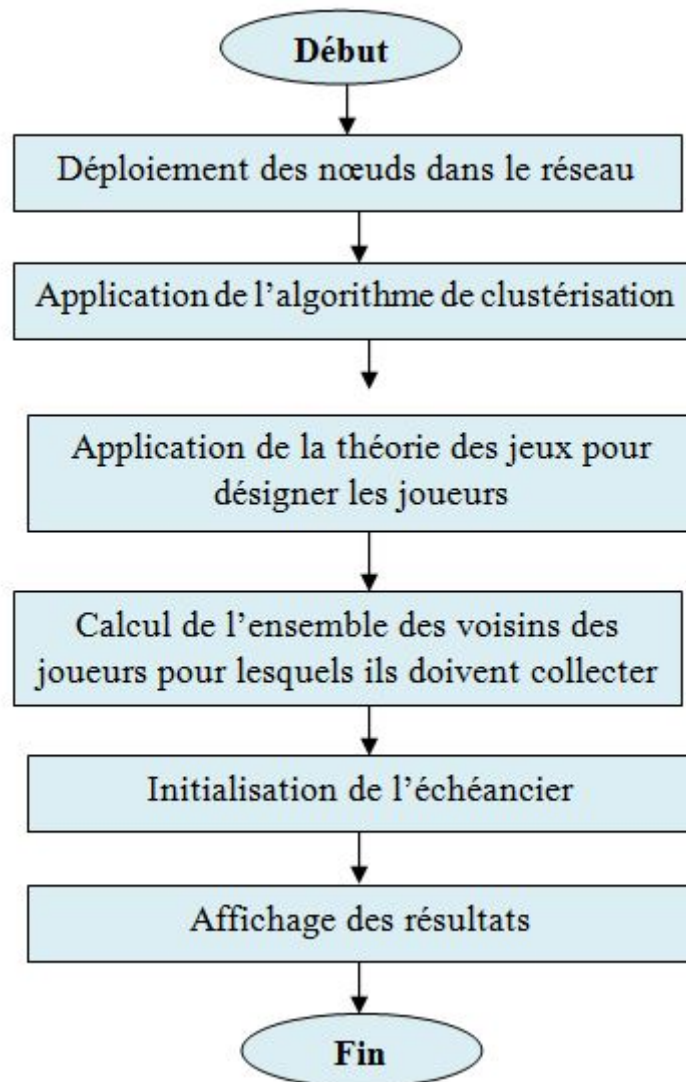


FIGURE 4.1 – Les étapes de la simulation

### 4.4.1 Initialisation des variables de simulation

Cette phase est exécutée automatiquement au début du programme de simulation. Elle inclut la déclaration des variables globales (nombre de nœuds, zone de déploiement simulée, temps max de simulation, etc.) et leur initialisation, ainsi que la création des nœuds sous forme d'une structure qui comporte (identité du nœud, leur coordonnées).

## 4.4.2 Déploiement du réseau

Les nœuds constituant notre réseau sont déployés d'une manière aléatoire sur une surface de (100\*100) m<sup>2</sup>. Chaque nœud dans le réseau est représenté par ses coordonnées (x, y).

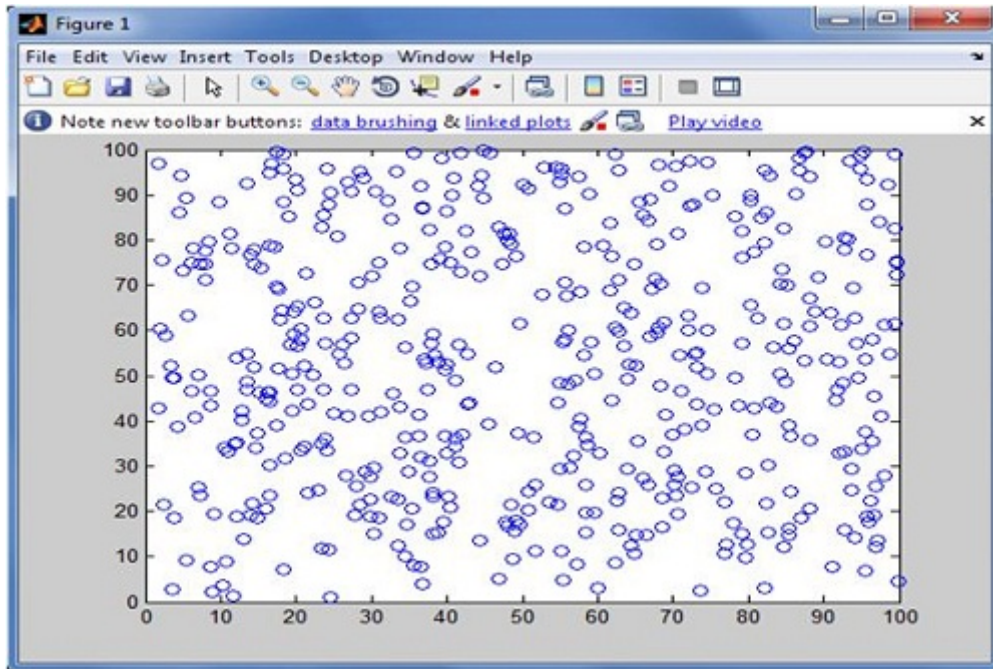


FIGURE 4.2 – Déploiement du réseau

## 4.4.3 Clustérisation

Dans notre approche de clusterisation, l'élection des cluster heads se base sur le calcul des poids avec la formule suivante :

$$P = W_1 * P_1 + W_2 * P_2 + W_3 * P_3 + W_4 * P_4.$$

Un cluster head est le nœud ayant la valeur du poids maximale.



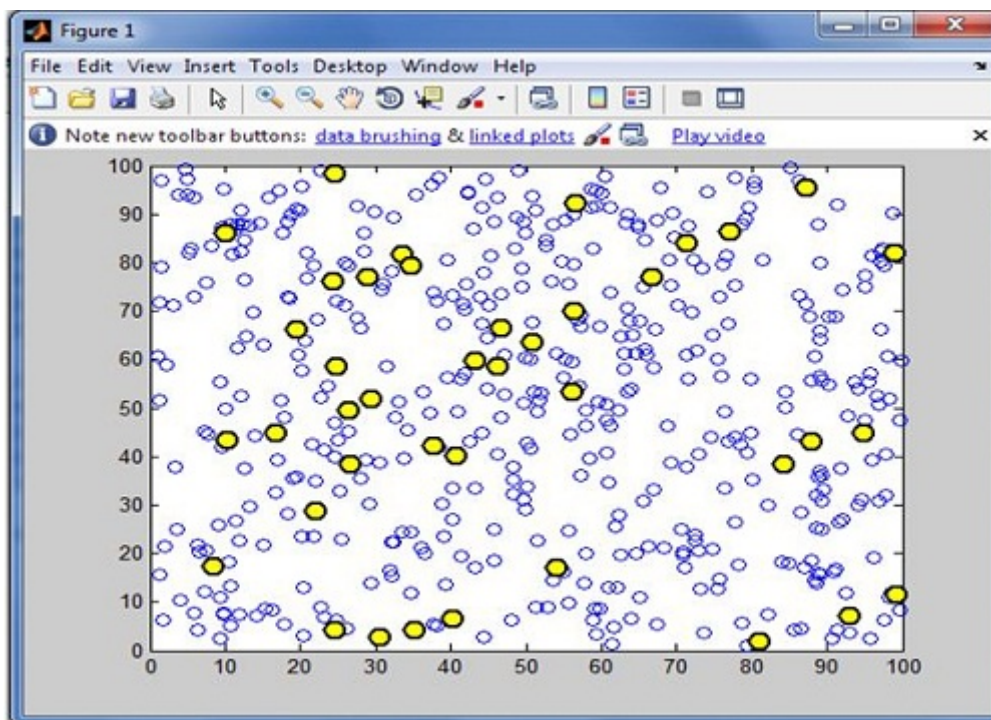


FIGURE 4.3 – Clustérisation

Sur la figure ci-dessus les nœuds jaunes représentent les clusters heads.

## 4.5 Evaluation de performance de l'approche proposée

Les résultats de la phase précédente seront utilisés pour tracer les courbes. Ces dernières serviront à comparer les approches de coopération implémentées selon les métriques de performances choisies.

Nous allons évaluer notre approche en utilisant les métriques de performances suivantes :

- **L'énergie moyenne restante** : représente la quantité d'énergie moyenne restante dans tout le réseau après la collecte de données.
- 
- **L'énergie moyenne consommée** : représente la quantité d'énergie consommée par les nœuds collecteurs pour la collecte d'information durant toute la durée de simulation.
-

- **Le nombre de collecte** : représente le nombre de collecte effectué par un nœud à un moment donné durant la simulation.
- 
- **Le nombre moyen de messages échangés** : représente le nombre de messages échangés sur cycle donné de collecte par un nœud donné.

## 4.6 Interprétation des résultats

Pour évaluer les performances de l'approche proposée et étudier l'effet de l'ajout du mécanisme de jeu au processus de collecte, nous allons comparer notre approche MonOpt (Monitoring Optimisé) avec l'approche journalisation dynamique [25]. Cette dernière permet de distribuer l'activité de la collecte des données topologiques (la liste de voisins) sur tous les nœuds mobiles.

### 4.6.1 Energie

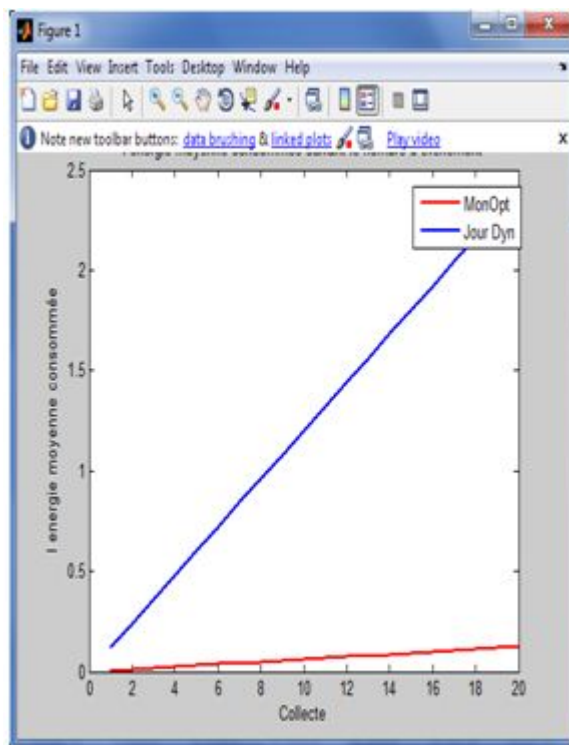


FIGURE 4.4 – Energie moyenne consommée

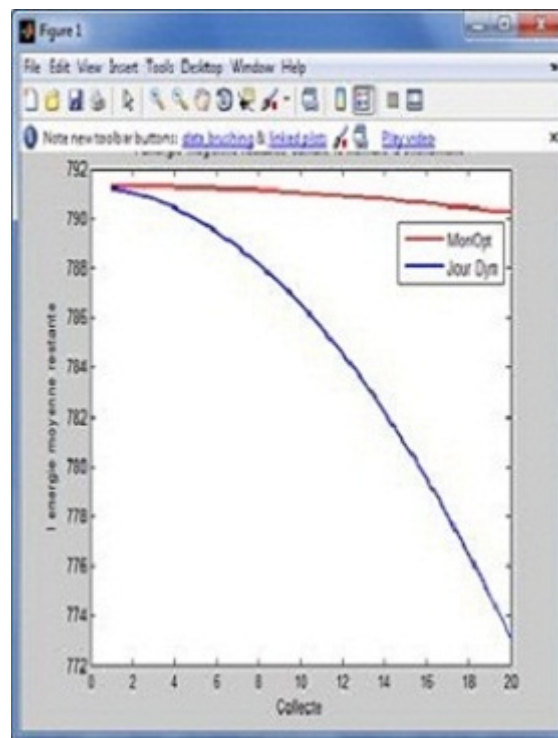


FIGURE 4.5 – Energie moyenne restante

Les deux figures 4.4 et 4.5 montrent la consommation énergétique moyenne et l'énergie moyenne restante du réseau en fonction des évènements de collecte. On remarque que l'énergie restante obtenue pour l'approche MonOpt est beaucoup élevée comparée à celle obtenue par l'approche journalisation dynamique, et cela est dû au fait qu'avec l'approche proposée, la collecte des informations d'un nœud non collecteur est effectuée par un seul joueur, contrairement à l'approche journalisation dynamique où les informations d'un nœud sont collectées par tous ces voisins.

### 4.6.2 Nombre de collectes effectués

La figure 4.6 montre le nombre de collectes effectuées par un nœud durant la période de simulation. On remarque que le nombre de collecte obtenue pour l'approche MonOpt est beaucoup réduit comparée à celui obtenu par l'approche journalisation dynamique et cela est due au fait qu'avec l'approche proposée, un nœud collecteur (joueur) n'effectue pas la collecte de données pour tous ses voisins, mais, éventuellement, pour un sous ensemble de ce derniers. Il collecte les données des voisins obligatoires, et d'un sous ensemble de ses nœuds communs de manière à n'avoir qu'un seul joueur qui effectue la collecte du même nœud commun, contrairement à l'approche journalisation dynamique où un nœud doit

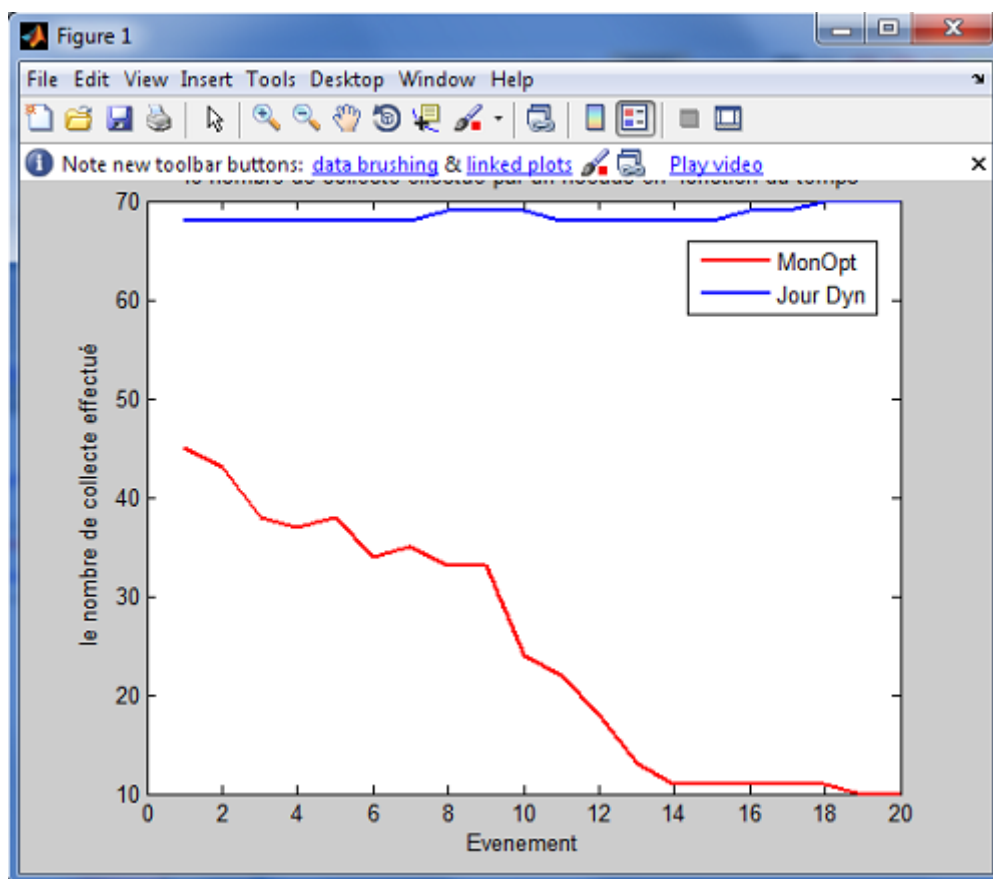


FIGURE 4.6 – Nombre de collecte effectué

collecter toutes les informations de tous ses voisins.

### 4.6.3 Nombre de messages échangés

La figure 4.7 montre le nombre de messages envoyés et reçus par un nœud donné pour effectuer une collecte de données. La collecte s'effectue par échange de message entre les joueurs et les nœuds non-collecteurs pour l'approche **MonOpt** et par échange entre le nœud collecteur et ses voisins pour l'approche journalisation dynamique. On remarque que le nombre de messages échangés est très réduit pour l'approche proposée en raison du nombre réduit de collecte que chaque joueur effectue en le comparant avec l'approche journalisation dynamique.

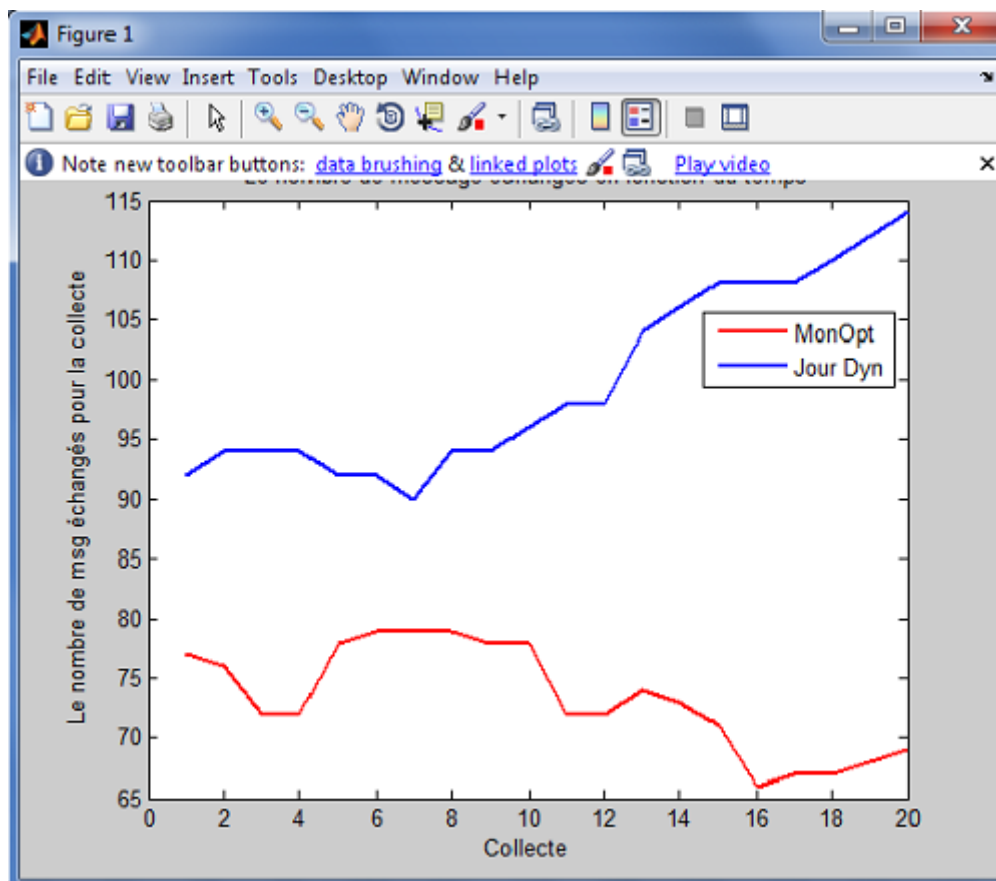


FIGURE 4.7 – Nombre de messages échangés

## 4.7 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté l'environnement et les différentes étapes de simulation de l'approche proposée **MonOpt**. Les métriques et les résultats de simulation permettent d'évaluer notre approche. Les résultats que nous avons obtenus montrent l'efficacité de l'approche **MonOpt** en termes d'énergie consommée, nombre de collectes effectuées et le nombre de messages échangés pour effectuer une collecte, en la comparant avec l'approche journalisation dynamique.

# Conclusion générale et perspectives

Nous avons traité dans ce mémoire le problème de monitoring optimisé des réseaux mobiles ad hoc. Le but de ce mémoire est de proposer une nouvelle approche qui permet de réduire le nombre de collecte de données et d'optimiser la consommation d'énergie qui est une contrainte importante dans les réseaux mobiles ad hoc.

Pour commencer, nous avons donné des généralités sur les réseaux sans fil et plus particulièrement sur les réseaux mobiles ad hoc. Nous avons étudié leurs caractéristiques, leurs domaines d'applications ainsi que le routage et les protocoles de routage utilisés.

Nous avons étudié en deuxième lieu, le monitoring des réseaux mobiles ad hoc, son processus et ses difficultés et nous avons aussi cités les différents modèles de réseaux adaptés. Une classification de différentes approches de monitoring est établie suivie d'une étude comparative.

D'après l'étude des approches citées, nous avons proposé une nouvelle approche, **MonOpt**, afin d'assurer un monitoring optimisé. Cette approche fondée sur une architecture distribuée hiérarchique et basée sur le concept de la théorie des jeux.

Nous avons évalué notre approche par une simulation qui est réalisée sous MATLAB. Les résultats de simulation sont très favorables pour notre approche (MonOpt) en matière de l'énergie consommée, l'énergie restante et le nombre de collecte effectuées.

---

Les perspectives :

- Intégration de critère d'égoïsme lors de la désignation des joueurs.
- Considérer d'autres critères d'évaluation.
- Comparer l'approche proposée par d'autres approches de monitoring.

---

# Bibliographie

- [1] N. BOUKHECHEM. *Routage dans les réseaux mobiles ad hoc par une approche a base d'agents*. Mémoire de magistère, Université de Constantine. 2008.
- [2] F. Lemainque. *Réseaux sans fil*. DUNOD. 2009.
- [3] M. FRIKHA. *Réseau ad hoc*. Lavoisier. 2010.
- [4] G.D. Bruno. *Les réseaux sans fil (WiFi)*. Lavoisier. 2004.
- [5] E. CONRAD. *Advanced Encryption Standard*.
- [6] J. CHEN, Y. WANG. *Extensible Authentication Protocol (EAP) and IEEE 802.1x : Tutorial and Empirical Experience* . IEEE Radio Communications. 2005.
- [7] H. LABIOD. *Réseau mobile ad hoc et réseau de capteur sans fil*. Lavoisier. 2006.
- [8] M. Boulkamh Chouaib. *Prise en Compte de la QoS par les Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc*. Thèse de Magistère. 2008.
- [9] S. Oubbati, A. Oubbati et B. Oubbati. *La tolérance aux pannes des algorithmes de partage de ressources dans les systèmes repartis et les reseaux ad hoc*. Mémoire d'ingénieur. Université de Laghouat. 2010.
- [10] A. RACHEDI. *Contributions à la sécurité dans les réseaux mobiles ad Hoc*. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. 2008.
- [11] K. AYAD. *Sécurité du routage dans les réseaux mobiles ad hoc* . Mémoire de magistère. Ecole nationale Supérieure en Informatique (ESI) Oued-Smar Alger. 2012.
- [12] P. JACQUET, P. MUHLETHALER, T. CAUSEN, A. LAOUITI, A. QUAYYUM, L. VIENNOT. *Optimized Link State Routing Protocol for Ad hoc Networks*. Hipercom Project, INRIA Rocquencourt, BP 105, 78153 le Chsnay Cedex, France. 2004.



- 
- [13] G. He. *Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Protocol*. Networking Laboratory Helsinki University of Technology. 2002.
- [14] D.B. Johnson, D.A.M. Broch. *DSR : The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks*. Computer Science Department Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA 15213-3891. 2004.
- [15] Ch.E. PERKINS, M. ROYER. *Ad hoc On demand Distance Vector Routing*.
- [16] N. BEIJAR. *Zone Routing Protocol (ZRP)*. Networking Laboratory, Helsinki University of Technology P.O. Box 3000, FIN-02015 HUT, Finland. 2002.
- [17] R. Badonnel. *Supervision des Réseaux et Services ad hoc*. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré Nancy 1. 2006.
- [18] Z. BOUGHANI, K. BOURNANE. *Le monitoring des réseaux Ad hoc*. Mémoire de Master. université A.MIRA Béjaia. 2010.
- [19] W. Chen, S. Singh, N. Jain. *ANMP : Ad hoc Network Management Protocol*. IEEE journal on selected areas in communications, vol 7, no 8. pages 1506\_1531. 1999.
- [20] R. Goudjil, F. Tighilt. *Le monitoring des réseaux ad hoc*. Mémoire de master. 2011.
- [21] D. Ngo, N. Hussain, M. Hassan, J. Wu. *WANMon : A Ressource Usage Monitoring Tool for Ad hoc Wireless Network*. Proceedings of the 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN 03). 2003.
- [22] R. Chandha, Y.h. Cheng, J. Chiang, G. Levin, S. Li, A. Polysheer. *Policy-Based Mobile Ad hoc Network Management for DRAMA*. The 2010 Military Communications Conference - Unclassified Program - Cyber Security and Network Management, France. 2004.

- 
- [23] R. Chadha, Y.H. Cheng, J. Chiang, G. Levin, S. Wei Li, A. Poylisher. *Policy-based mobile ad hoc network management for drama\**. 2004.
- [24] C. Chung, S.C. Jaikao, C. Srisathapornphat, Z. Huang. *the Guerrilla Management Architecture for Ad hoc Networks*. University of Delaware. 2002.
- [25] S. Ghannay, S. M. Gammar, F. Kamoun, Davor Males. *The Monitoring of Ad Hoc Networks Based on Routing*. Université Manouba. Manouba - Tunisia. 2003.
- [26] K.N. Ramachandran, E.M. Belding-Royer, K.C. Almeroth. *DAMON : A Distributed Architecture for Monitoring Multihop Mobile Networks*. Department of Computer Science University of California Santa Barbara, CA 93106.
- [27] H. Kazemi, G.H. Luiz, A. DaSilva. *MMAN : A Monitor for Mobile Ad hoc Networks :Design, Implementation, and Experimental Evaluation*. 2008.
- [28] C. Popi, O. Festor. *Monitorage et journalisation dynamiques des topologies dans les réseaux ad-hoc*. Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP 2008, Les Arcs : France (2008). 2008.
- [29] M. AYARI, Z. MOVAHEDI, G. PUJOLLE, F. KAMOUN. *ADMA : Autonomous Decentralized Management Architecture for MANETs A Simple SelfConfiguring Case Study*. IWCMC 09, June 2124, 2009, Leipzig, Germany. Copyright 2009 ACM 978-1-60558-569-7/09/06 ...\$5.00. 2009.
- [30] Y. A-sbou. *A novel quality of service monitoring for mobile ad hoc networks*. Middle- east journal of scientific research 11 (7) : 934-942. 2012.
- [31] K. Binmore. *Jeux et théorie des jeux*. DeBooeck & Larcier, Université de paris bruxelles. 1999.
- [32] M. Khellaf, A. Zaidi. *Application d'un algorithme génétique pour générer le prix d'un actif boursier*. Mémoire d'ingénieur, université de Bejaia.2007.

---

[33] R. Angelo. *Sécurité dans les réseaux mobiles de nouvelle génération*. Thèse de doctorat. École polytechnique de Montréal. 2011.

[34] S. SAHALI, R. SAHLI. *Monitoring Sûre des réseaux mobiles ad hoc*. Mémoire de Master. Université de Béjaia.2013.

[35] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishman. *Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks*. proceeding of the 33rd hawaii international conference on system science. 2000.

[36] R. AOUDJIT. *Répartition et équilibrage de charges dans les hôtes mobiles*. thèse de Doctorat. université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 2010.

---

## Résumé

Les réseaux mobiles ad hoc sont des cas particuliers des réseaux sans fil qui ne nécessitent aucune infrastructure préexistante. Ces réseaux se caractérisent par leurs contraintes de mobilités et d'énergie limitée. Dans le but de réaliser une vue sur le réseau et ses services, le processus de monitoring est indispensable. Cependant, ce mécanisme peut influencer les ressources limitées des réseaux mobiles ad hoc surtout en termes d'énergie.

Ce mémoire, décrit une nouvelle approche de monitoring qui définit une architecture distribuée hiérarchique. L'approche proposée **MonOpt** est basée sur le concept de la théorie des jeux pour optimiser la collecte de données et l'énergie consommée. **MonOpt** se compose de deux phases, la première est la construction des clusters et désignation des joueurs, la deuxième est le monitoring.

L'évaluation de cette approche est faite sous MATLAB.

**Mots clés :** Réseau mobile ad hoc, monitoring, distribuée hiérarchique, théorie des jeux, optimisation, collecte de données, énergie consommée, MATLAB, **MonOpt**.

## Abstract

Mobile ad hoc networks are particular cases of the wireless networks which do not require any infrastructure. These networks are characterized by their constraints of mobility and limited energy. With the aim of controlling these networks and their services, the process of monitoring is essential. However, this mechanism can especially influence the limited resources of the mobile ad hoc networks in terms of energy.

In this work, we are described a new monitoring approach which based on hierarchical distributed architecture. The suggested approach **MonOpt** is based on the concept of the game theory to optimize the data acquisition and the power consumption. **MonOpt** is composed of two phases, the first is the construction of the clusters and the selection of players, the second is the monitoring.

The evaluation of this approach is realized under MATLAB.

**Key words :** Mobile ad hoc networks, Monitoring, hierarchical distributed architecture, game theory, optimization, data of acquisition, power consumption, MATLAB, **MonOpt**.

---