

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université A/Mira de Béjaia**



**Faculté des Sciences Exactes**

*Département d'Informatique*

**En vue de l'obtention du diplôme Master en Informatique**

*Option : Réseaux et Systèmes Distribués*

**Mémoire de Fin de Cycle**

***Les mécanismes de coopération pour la  
gestion de l'information dans les  
réseaux ad hoc***

**Réalisé par :**

MENACER Khokha

MOUSSOUS Sabah

**Soutenu devant le jury composé de :**

<b>Président :</b>	<i>M<sup>r</sup></i> BAADACHE Abderrahmane	Université de Béjaia
<b>Examineur :</b>	<i>M<sup>r</sup></i> ATMANI Mouloud	Université de Béjaia
<b>Examineur :</b>	<i>M<sup>lle</sup></i> BATTAT Nadia	Université de Béjaia
<b>Encadreur :</b>	<i>M<sup>r</sup></i> LARBI Ali	Université de Béjaia

**Juillet 2013**



## Remerciements

*En tout premier lieu, nous remercions Allah le tout puissant, à la sagesse et au savoir infinis.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre Promoteur : M<sup>r</sup> LARBI Ali qui nous a fait confiance en nous proposant ce sujet de mémoire de master et avoir encadré et suivi ce travail.*

*Nous remercions aussi M<sup>r</sup> A. BAADACHE de nous faire l'honneur de présider le jury de notre soutenance.*

*Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de jury constitués de : M<sup>r</sup> M. ATMANI et M<sup>elle</sup> N. Battat pour avoir accepté la tâche de juger ce travail.*

*Nous exprimons aussi nos remerciements M<sup>r</sup> HAMOUDI Samir.*

*Nos vifs remerciements accompagnés de toute notre gratitude vont aussi à M<sup>r</sup> ATMANI Mouloud, pour ses précieuses aides, ses critiques constructives et ses orientations les plus décisives.*

*Nous remercions vivement toute nous deux familles, en particulier nos parents, pour nous avoir toujours soutenu au cours de nos études. Qu'ils trouvent ici le fruit de leur patience et du soutien permanent qu'ils nous ont prodigué pour affronter tous les moments difficiles.*

*Un grand merci pour nos collègues du Master pour les bons moments que nous avons passé ensemble en particulier les éléments du groupe de filles : Aldja, Chrifa, Hayet, Hizia, Nacira, Nadoch, Nouria, Randja, Samira.*

*Merci pour tous ceux qui, nous ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.*



*Avec les vifs sentiments de reconnaissance, je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers qui ont un rôle essentiel et continu dans ma réussite ;*

*Ma chère mère qui n'a jamais cessé de penser à moi et de me transmettre son affection dans toutes les situations. Que "yemma" trouve ici toute ma gratitude ;*

*Mon cher père qui a beaucoup sacrifié afin que rien n'entrave le déroulement de mes études ; Merci "vava" pour ton soutien et ton sacrifice ;*

*A mes très chers frères et mes soeurs.*

*A toute la famille.*

*A ma bien aimée Halima qui étais à mes côtés à toute moument et qui m'avait soutenu énormément.*

*A tous mes amis et mes copines de la chambre F114 ;*

*A ma binôme Sabah et sa famille.*

**MENACER Khokha**



Je dédie ce travail, à :  
mon très cher père,  
ma très chère mère,  
mon mari samir,  
A toute la famille,  
mon frère et mes soeurs,  
A ma binôme khokha et sa famille,  
et à tous mes amis,

***MOUSSOUS Sabah***

# Glossaire

<b>ACK</b>	Acquittement.
<b>AES</b>	Advanced <b>E</b> ncryption <b>S</b> tandard.
<b>AODV</b>	Ad hoc <b>O</b> n-Demand <b>D</b> istance <b>V</b> ector.
<b>CC</b>	Cluster <b>C</b> oopératif.
<b>CN</b>	Cache <b>N</b> ode.
<b>COACS</b>	<b>C</b> Oopérative and <b>A</b> daptative <b>C</b> aching <b>S</b> ystem.
<b>Coop</b>	<b>C</b> ooperation.
<b>CW</b>	Contention <b>W</b> indow.
<b>DCF</b>	Distributed <b>C</b> oordination <b>F</b> unction.
<b>DSDV</b>	Destination <b>S</b> equenced <b>D</b> istance <b>V</b> ector.
<b>DFS</b>	Dynamique <b>F</b> requency <b>S</b> olution.
<b>DSR</b>	Dynamic <b>S</b> ource <b>R</b> outing.
<b>EAP</b>	Extensible <b>A</b> uthentication <b>P</b> rotocol.
<b>FSR</b>	Fisheye <b>S</b> tate <b>R</b> outing.
<b>GC</b>	<b>G</b> roup <b>C</b> aching.
<b>GF</b>	<b>G</b> ain <b>F</b> actor.
<b>IETF</b>	Internet <b>E</b> ngineering <b>T</b> ask <b>F</b> orce.
<b>LUV-Mi</b>	Least <b>U</b> tility <b>V</b> alue with <b>M</b> igration.
<b>LFU</b>	Least <b>F</b> requently <b>U</b> sed.
<b>LRU</b>	Least <b>R</b> ecently <b>U</b> sed.
<b>MANET</b>	Mobile <b>A</b> d hoc <b>N</b> etworking.
<b>MH</b>	Mobile <b>H</b> ôte.
<b>OLSR</b>	Optimized <b>L</b> ink <b>S</b> tate <b>R</b> outing.
<b>PDA</b>	Personal <b>D</b> igital <b>A</b> ssistant.
<b>QD</b>	<b>Q</b> uery <b>D</b> irectory.
<b>RAMAC</b>	<b>R</b> outing-aware <b>A</b> daptive <b>M</b> AC.
<b>RD</b>	<b>R</b> oute <b>D</b> iscovery.
<b>RN</b>	<b>R</b> equesting <b>N</b> ode.
<b>RADIUS</b>	<b>R</b> emote <b>A</b> uthentication <b>D</b> ial <b>I</b> n <b>U</b> ser <b>S</b> ervice.
<b>SCP</b>	<b>S</b> ervice <b>C</b> ache <b>P</b> roviders.
<b>TORA</b>	<b>T</b> emporally <b>O</b> rdered <b>R</b> outing <b>A</b> lgorithm.

<b>TPC</b>	<b>T</b> ransmit <b>P</b> ower <b>C</b> ontrol.
<b>TTL</b>	<b>T</b> ime- <b>T</b> o <b>L</b> ive.
<b>URP</b>	<b>U</b> ppdate-oriented <b>R</b> eplacement <b>P</b> olicy.
<b>WSN</b>	<b>W</b> ireless <b>S</b> ensor <b>N</b> etwork.
<b>WMN</b>	<b>W</b> ireless <b>M</b> esh <b>N</b> etworks .
<b>WRP</b>	<b>W</b> ireless <b>R</b> outing <b>P</b> rotocol.
<b>ZC</b>	<b>Z</b> one <b>C</b> ooperative.
<b>ZRP</b>	<b>Z</b> one <b>R</b> outing <b>P</b> rotocol.

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>i</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>iii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>iv</b>
<b>1 Etat de l'art sur les réseaux sans fil</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	5
1.2 Les réseaux sans fil . . . . .	5
1.2.1 Réseau sans fil et réseau filaire . . . . .	5
1.2.2 Classification des réseaux sans fil . . . . .	6
1.2.2.1 Réseaux sans fil avec infrastructure . . . . .	6
1.2.2.2 Réseaux sans fil sans infrastructure . . . . .	7
1.3 Les réseaux ad hoc . . . . .	8
1.3.1 Définition . . . . .	8
1.3.2 Caractéristiques et contraintes des réseaux ad hoc . . . . .	9
1.3.3 Modes de communication dans les réseaux ad hoc . . . . .	10
1.3.4 Types des réseaux ad hoc . . . . .	11
1.3.5 Application des réseaux ad hoc . . . . .	12
1.3.6 Les normes d'accès au canal . . . . .	13
1.3.7 Le routage dans les réseaux ad hoc . . . . .	14
1.4 Conclusion . . . . .	17
<b>2 Etude des approches coopératives existantes pour les réseaux ad hoc</b>	<b>18</b>
2.1 Introduction . . . . .	19

2.2	Notion de cache . . . . .	19
2.2.1	Définition . . . . .	19
2.2.2	Intérêt d'utilisation des mémoires caches . . . . .	19
2.2.3	Fonctionnement . . . . .	20
2.3	Le cache coopératif . . . . .	21
2.3.1	Définition . . . . .	21
2.3.2	Principes . . . . .	21
2.3.3	Intérêt . . . . .	21
2.4	La clusterisation (clustering) . . . . .	22
2.4.1	Définition . . . . .	22
2.4.2	Intérêt de Clustering dans les réseaux ad hoc . . . . .	22
2.5	Les politiques de remplacement de cache . . . . .	22
2.5.1	La politique URP (Update-oriented Replacement Policy) . . . . .	22
2.5.2	La politique LUV-Mi (Least Utility Value with Migration) . . . . .	25
2.5.3	La politique LFU (Least Frequently Used) . . . . .	26
2.5.4	La politique LRU (Least Recently Used) . . . . .	27
2.6	Les stratégies de cache coopératif . . . . .	28
2.6.1	Le cache coopératif à base des Clusters . . . . .	28
2.6.2	La stratégie ZC (Zone Coopérative) . . . . .	31
2.6.3	La stratégie GC (Group Caching) . . . . .	32
2.6.4	La stratégie coopérative COOP . . . . .	33
2.6.5	La stratégie COACS (Coopérative and Adaptative Caching System) . . . . .	36
2.7	Autres stratégies coopératives . . . . .	38
2.7.1	La stratégie CORE . . . . .	38
2.7.2	RAMAC (Routing-aware Adaptive MAC) . . . . .	39
2.8	Conclusion . . . . .	41
<b>3</b>	<b>Proposition d'une approche coopérative pour les réseaux ad hoc</b> . . . . .	<b>42</b>
3.1	Introduction . . . . .	43
3.2	Description du schéma de cache coopératif . . . . .	43
3.2.1	Principe . . . . .	44
3.2.2	Algorithme d'élection des fournisseurs de service de cache . . . . .	45
3.3	Conclusion . . . . .	48

<b>4</b>	<b>Simulation et Evaluation de performance</b>	<b>49</b>
4.1	Introduction . . . . .	50
4.2	La simulation . . . . .	50
4.2.1	Le but de notre simulation . . . . .	50
4.2.2	Le choix de MATLAB . . . . .	51
4.2.3	Les paramètres de simulation . . . . .	51
4.2.3.1	Hypothèses de modélisation . . . . .	52
4.2.4	Algorithme de simulation . . . . .	54
4.2.5	Les étapes de réalisation du simulateur . . . . .	55
4.2.5.1	Initialisation des variables de simulation . . . . .	55
4.2.5.2	Déploiement du réseau . . . . .	56
4.2.5.3	Application de l'algorithme d'élection . . . . .	57
4.2.5.4	Création des caches pour chaque nœud . . . . .	57
4.2.5.5	Initiation de l'échéancier . . . . .	58
4.2.5.6	Application du schéma de cache Coopératif . . . . .	59
4.2.5.7	Affichage des résultats . . . . .	59
4.2.6	Les métriques d'évaluation de performances . . . . .	59
4.2.7	Résultats et interprétations . . . . .	59
4.3	Conclusion . . . . .	62

# Table des figures

1.1	Topologie de réseau avec infrastructure . . . . .	7
1.2	Topologie de réseau sans infrastructure (ad hoc) . . . . .	8
1.3	Le changement de la topologie des réseaux ad hoc . . . . .	9
1.4	Les différents modes de communication . . . . .	11
1.5	Classification des protocoles de routage dans les réseaux ad hoc . . . . .	17
2.1	Le fonctionnement du cache . . . . .	20
2.2	Fonction d'une demande de client par la stratégie de cache CC. . . . .	30
2.3	L'architecture du système. . . . .	35
2.4	Exemple du scénario d'utilisation de COACS. . . . .	37
3.1	Comportement d'un nœud effectuant une demande d'un document. . . . .	45
3.2	Organigramme du mécanisme d'élection des SCPs. . . . .	47
4.1	Echéancier d'évènements. . . . .	53
4.2	Procédure de simulation. . . . .	54
4.3	Les principales fonctions du simulateur. . . . .	55
4.4	Déploiement du réseau. . . . .	56
4.5	La latence en fonction de nombres de requêtes. . . . .	60
4.6	Le taux de succès en fonction de nombres de requêtes. . . . .	61

# Liste des tableaux

3.1	Liste de termes utilisés et leurs significations . . . . .	46
4.1	Paramètres de simulation . . . . .	52
4.2	Notice d'évènement . . . . .	54
4.3	Exemple d'un cache d'un scp . . . . .	57
4.4	Exemple d'un cache d'un non scp . . . . .	58
4.5	Exemple d'échéancier . . . . .	58

# *Introduction Générale*

Depuis quelques décennies, le besoin de communiquer et d'échanger des informations, de n'importe quel lieu et à n'importe quel moment, associé à des exigences accrues sur la rapidité et la qualité des transmissions est devenu essentiel pour de nombreuses applications industrielles, scientifiques ou encore humaines. De plus, le besoin de communiquer avec une libre mobilité sans infrastructures coûteuses, ou l'encombrement du câblage, ou dans des zones d'accès difficile, donne naissance aux réseaux ad-hoc sans fil.

Un réseau ad hoc mobile (MANET) est un réseau maillé temporaire. Il est constitué par une collection de nœuds mobiles sans fil. Dans ce réseau les fonctions de base de gestion comme le cheminement et l'expédition des paquets, sont exécutés sans l'aide d'une infrastructure prés établie. Dans un tel environnement, les nœuds mobiles peuvent avoir recours à l'aide des autres nœuds pour expédier un paquet à sa destination, en raison de la couverture limitée du champ radio.

A l'origine, les applications exploitant les réseaux ad hoc ont été envisagées principalement pour des situations de crise (par exemple, dans les champs de bataille ou pour des opérations de secours). Dans ces applications, tous les nœuds du réseau appartiennent à une même autorité (par exemple, une unité militaire ou une équipe de secours) et ont un but commun. Cependant, les technologies sans fil se sont sensiblement améliorées ces dernières années et des dispositifs peu coûteux basés sur la norme 802.11 ont envahi le marché et le déploiement des réseaux ad hoc pour des applications commerciales est devenu réel. Les systèmes de communication basés sur le paradigme ad hoc ont reçu beaucoup d'attention dans le passé et les efforts des chercheurs ont été dévoués surtout à produire des protocoles

décentralisés pour garantir le routage des paquets (la gestion de l'information) en tenant compte de la mobilité des nœuds du réseau.

Les caches sont des espaces physiques limités permettant de stocker des copies de documents pour offrir des accès plus rapides pour les futures utilisations. De cette manière, lors des prochains référencements de ces documents, ces derniers sont récupérés sans contacter les serveurs d'origines. L'utilisation des caches a toujours été un choix important dans les systèmes informatiques (systèmes d'exploitation, systèmes de gestion de bases de données, systèmes de gestion de fichiers, ou encore Internet) pour l'amélioration des performances, notamment en réduisant les temps d'attente perçus par les clients.

Cette réduction provient généralement d'un support physique permettant un accès plus efficace aux documents, d'un placement réduisant les coûts de communications, mais également d'une réduction de la charge sur les serveurs et de la consommation de la bande passante, du fait du traitement d'une partie des demandes localement. Les documents stockées en cache offrent également une certaine disponibilité en cas de panne des sources de données.

Les environnements applicatifs sont de plus en plus répartis, autorisant un déploiement massif de caches. Bien que les solutions individuelles soient pertinentes, la prise en compte de coopérations peut être convaincante pour le passage à l'échelle du système considéré, en particulier dans des applications reposant sur des réseaux rapides, pour lesquelles l'accès à des caches distants est parfois moins coûteux que l'accès à des documents sur un disque local.

Dans notre travail, nous nous sommes focalisé sur les mécanismes de coopération, en particulier les caches coopératifs. Notre principal objectif est de faire une étude critique des différentes stratégies coopératives qui peuvent être utilisées dans un réseau ad hoc. Ainsi que de proposer une nouvelle solution afin de garantir une gestion coopérative efficace des ressources. C'est-à-dire prenant en compte les contraintes caractéristiques des réseaux ad hoc, à savoir principalement la bande passante réduite, et les capacités limitées des terminaux. De plus, la solution proposée doit fournir à l'utilisateur un niveau de qualité de service satisfaisant, ce qui signifie, en particulier, offrir un temps d'attente réduit pour

l'utilisateur.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre introduit des concepts généraux sur les réseaux ad hoc. Le deuxième chapitre est un état de l'art sur les stratégies coopératives existantes dans la littérature en soulignant leurs principaux points forts et points faibles. Dans le troisième chapitre, nous allons présenter notre proposition. Le quatrième chapitre présente les résultats de simulations afin de valider notre proposition et enfin nous terminons par une conclusion générale.

# 1

*Etat de l'art sur les réseaux sans fil*

## 1.1 Introduction

Du fait des avancées technologiques réalisées au cours de ces dernières décennies, les réseaux sans fil offrent aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. L'environnement sans fil a pour objectif d'accompagner l'utilisateur partout, de lui offrir une multitude de services et d'une manière générale de lui faciliter l'accès et la manipulation de divers informations à travers des unités de calculs mobiles (PC portable, PDA, périphériques PC, capteur, ...etc.).

Le sans fil ne pose aucune restriction sur la localisation des usagers, il utilise des ondes radio plutôt qu'une infrastructure câblée pour communiquer. Ce nouveau mode de communication engendre de nouvelles caractéristiques, propres à l'environnement mobile : de fréquentes déconnexions, un débit de communication, des ressources modestes, et des sources d'énergie limitées.

Dans ce chapitre nous allons présenter les réseaux sans fil avec et sans infrastructure. Nous réalisons une étude exhaustive sur les réseaux mobile ad hoc : caractéristiques, mode de communication, domaines d'applications, différentes normes 802.11 et les protocoles de routages. Nous terminons par une conclusion.

## 1.2 Les réseaux sans fil

Un réseau sans fil est un ensemble d'unités connectées entre eux de manière qu'il soit possible de s'envoyer et recevoir des données sans aucune connexion "filaire" physique [5].

### 1.2.1 Réseau sans fil et réseau filaire

Du fait de la nature du canal de transmission, les réseaux sans fil se distinguent des réseaux filaires par diverses caractéristiques [1] :

- **Environnement imprédictible** : les interférences, la mobilité, le changement des canaux, les variations de puissance du signal sont des facteurs qui font en sorte que le réseau soit d'une grande variabilité.

- **Médium non fiable** : la transmission sur un canal radio s'accompagne d'erreurs. De plus, les interférences et la qualité non prédictible des liens réduisent la fiabilité du médium.
- **Ressources limitées** : dans le cas des nœuds mobiles, la puissance est délivrée par des batteries. De plus, dans un souci de légèreté et de pratique, ces nœuds sont limités en capacité de stockage et de puissance de traitement. Enfin, le canal radio est une ressource partagée, rare, onéreuse et dont l'usage est défini par des réglementations restrictives.
- **Limitation de la taille des équipements**, due aux exigences de la portabilité.
- **Sécurité réduite**, du fait du partage de l'interface radio.
- **Topologie dynamique** : La dynamique des réseaux sans fil est beaucoup plus importante que celle des réseaux filaires, en particulier dans le cas des réseaux mobiles. A partir du moment où les nœuds peuvent se déplacer à la portée des autres ou en dehors de celle-ci, des liens se coupent, d'autres se forment.

## 1.2.2 Classification des réseaux sans fil

Les réseaux sans fil peuvent être classés en deux catégories

### 1.2.2.1 Réseaux sans fil avec infrastructure

Dans le modèle avec infrastructure, une unité mobile ne peut être, à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base. Elle peut communiquer avec les autres sites à travers la station à laquelle elle est directement rattachée. L'autonomie réduite de sa source d'énergie, lui occasionne de fréquentes déconnexions du réseau ; sa reconnexion peut alors se faire dans un nouveau environnement voire dans une nouvelle localisation [4].

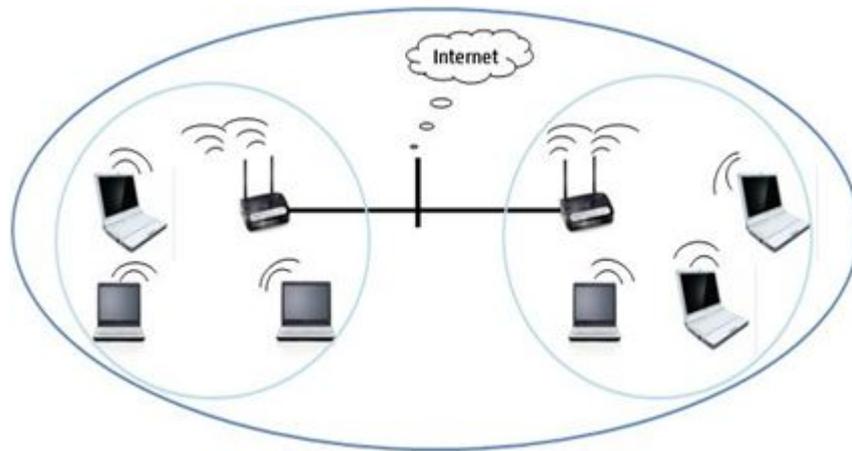


FIGURE 1.1 – Topologie de réseau avec infrastructure

### 1.2.2.2 Réseaux sans fil sans infrastructure

Le modèle de réseau sans infrastructure préexistante ne comporte pas l'entité site fixe, tous les sites du réseau sont mobiles et se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil.

L'absence d'infrastructure ou de réseau filaire des stations de base oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau [2].

**Les réseaux de communication :** Du latin signifiant "qui va où il doit aller", les réseaux ad hoc sont formés dynamiquement par la coopération d'un nombre de nœuds indépendants. Aucun pré arrangement n'est défini sur le rôle de chaque nœud et les nœuds prennent des décisions en fonction de la situation du réseau sans avoir recours à des infrastructures préexistantes [1].

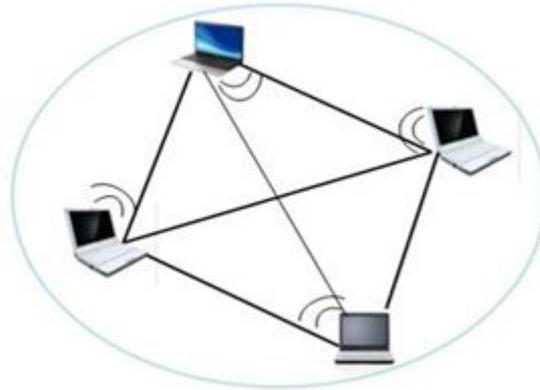


FIGURE 1.2 – Topologie de réseau sans infrastructure (ad hoc)

## 1.3 Les réseaux ad hoc

Un réseau ad hoc est un concept qui a fait l'objet de recherche scientifique depuis les années 1970 [1].

### 1.3.1 Définition

Un réseau ad hoc est un ensemble de terminaux mobiles indépendants de toute infrastructure, communiquant par onde radio, où chacun de ces terminaux offre un service de relais consistant à accepter un message qui ne lui est pas destiné afin de le réémettre vers un autre terminal du réseaux qui est hors de portée radio de l'émetteur initial de ce message [6].

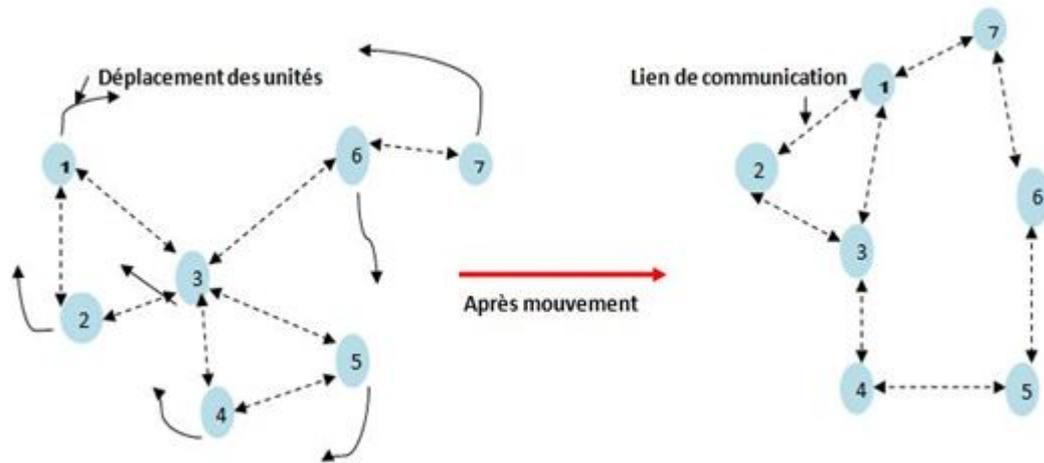


FIGURE 1.3 – Le changement de la topologie des réseaux ad hoc

### 1.3.2 Caractéristiques et contraintes des réseaux ad hoc

Les réseaux mobile ad hoc sont caractérisés principalement par :

- **L'absence d'infrastructure** : Les réseaux ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de toute administration centralisée. Les hôtes mobiles sont responsables de l'établissement et du maintien de la connectivité du réseau de manière continue [5].
- **Une topologie dynamique** : Les unités mobiles du réseau, se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Elles peuvent accéder au réseau ou en sortir. De ce fait, la topologie du réseau peut changer, à des instants imprévisibles, de manière rapide et aléatoire. Les liens de la topologie peuvent être unis ou bidirectionnels [1].
- **Communications multi-sauts** : Dans un MANET (Mobile Ad hoc Networking), les nœuds qui ne peuvent directement atteindre les nœuds destinations auront besoin de relayer leurs données via d'autres nœuds. Ainsi, chaque nœud doit être capable d'accomplir la tâche de routage [2].
- **Bande passante limitée** : Le médium de communication sans fil a une capacité plus réduite que celui du filaire. De plus, le débit effectif de la communication sans fil (avec prise en compte des effets du bruit, d'affaiblissement, des collisions, etc.) est

souvent inférieur au débit maximal théorique. Une conséquence directe de la capacité relativement faible du medium sans fil, est bien la congestion facile du réseau [2].

- **Terminaux équipés par des batteries** : Les entités constituant les MANET sont alimentées en énergie par des batteries dont la durée de vie est limitée [2].
- **Sécurité limitée** : La communication sans fil entre les nœuds est assurée par l'échange d'ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'air. Ces ondes peuvent être facilement capturées, surveillées et modifiées ce qui compromet la sécurité dans les MANET. Par exemple, le trafic peut être facilement désorienté de sa destination réelle. De plus, les attaques de type déni de service sont faciles à implémenter [2].
- **Interférences** : Les liens radios ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence ou, utilisant des fréquences proches peuvent interférer [7].

### 1.3.3 Modes de communication dans les réseaux ad hoc

La communication dans les réseaux mobiles ad hoc utilise plusieurs modes dont : la communication "point à point" ou "Unicast", la communication "Multipoint" ou "Multicast", et la diffusion "Broadcast". Ces trois modes de communication peuvent être schématisés par la figure suivante [7] :

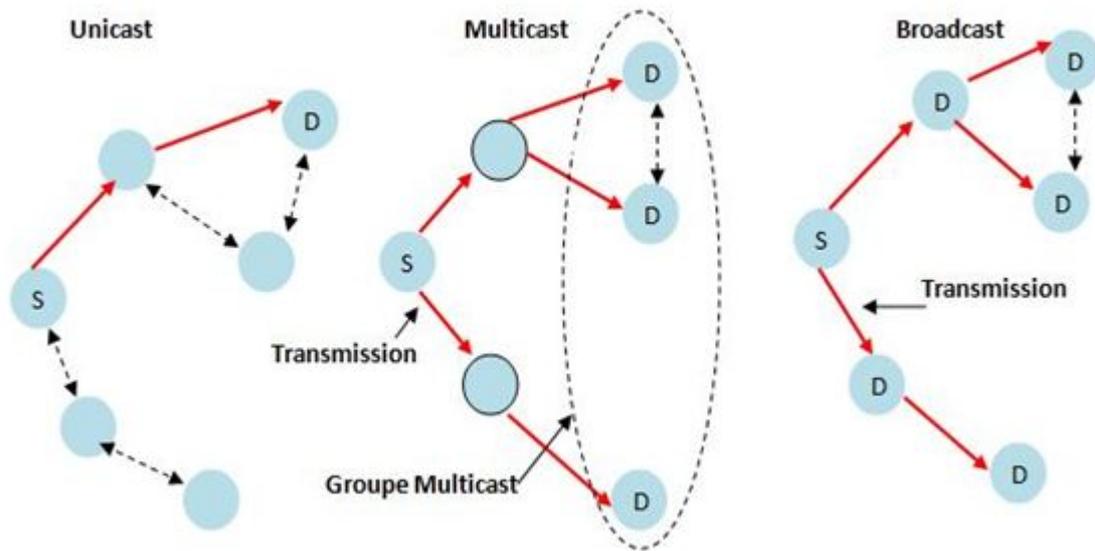


FIGURE 1.4 – Les différents modes de communication

### 1.3.4 Types des réseaux ad hoc

Dans cette section, nous décrivons les trois types de réseaux ad hoc, à savoir : les réseaux mobiles ad hoc (MANETs), les réseaux de capteurs (WSNs) et les réseaux maillés (WMNs).

- **Les réseaux de capteurs (WSNs) :** Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de dispositifs très petits, nommés "nœuds capteurs", variant de quelques dizaines d'éléments à plusieurs centaines, parfois plus. Dans ces réseaux, chaque nœud est capable de détecter son environnement et de traiter l'information au niveau local ou de l'envoyer à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil [8].
- **Les réseaux maillés (WMNs : Wireless Mesh Networks) :** Les réseaux ad hoc peuvent être utilisés comme moyen flexible et économique pour étendre l'accès à internet. En effet, une nouvelle classe de réseaux ad hoc découle de cette vision : les WMNs. Un WMN est constitué d'un ensemble de mesh-retours statiques généralement équipés par plusieurs interfaces de communication sans fil et placés sur les toits des bâtiments. Les mesh-retours connectés à internet sont appelés "passerelles internet". Un nœuds client se connecte au mesh-retours le plus proche et exploite l'infrastructure ad hoc sans fil pour avoir accès à internet. Les clients conventionnels

équipés par des cartes Ethernet peuvent directement communiquer avec les mesh-retours via des liens Ethernet. Les clients opérants avec la même technologie sans fil que les mesh-retours peuvent directement communiquer avec ces derniers. Dans le cas où différentes technologies sans fil sont utilisées, les clients doivent d'abord communiquer avec des stations de base qui sont connectées par des liens Ethernet aux mesh-retours [2].

### 1.3.5 Application des réseaux ad hoc

Les applications ayant recours aux réseaux ad hoc couvrent un très large spectre. D'une façon générale, les réseaux ad hoc sont utilisés dans toutes applications où le déploiement d'une infrastructure réseau filaire est trop contraignant, soit parce qu'il est difficile de le mettre en place, soit parce que la durée d'exploitation du réseau ne justifie pas de câblage à demeure. Parmi ces applications on trouve :

1. **Application militaire** : Les équipements militaires (troupes, véhicules) peuvent prendre les avantages des réseaux ad hoc qui leur permettent de se déplacer et de communiquer entre eux dans les champs de bataille en maintenant les informations entre les soldats et les chefs des troupes.
2. **Opération de secours** : Les opérations de secours se passent dans des régions désastreuses (incendie, inondation, tremblement de terre) où une infrastructure de réseau filaire ou station de base n'existe pas, mais une communication entre les équipes de secours est nécessaire, dans ce cas une installation d'un réseau ad hoc peut résoudre ce problème.
3. **Conférences** : Les réseaux ad hoc est faisable pour un groupe de gens qui veulent créer un réseau temporaire, par exemple un réseau ad hoc qui relie les différentes unités portables (lap top, PDA, notebook) peut être utilisé pour propager et partager les informations parmi les participants dans une conférence.
4. **Utilisation privée** : Les réseaux ad hoc peuvent être utilisés dans les homes networks où les différents équipements échangent des informations (sons, vidéo, alarme), une des applications qui est dans ce contexte est un réseau de robots dans une maison qui font plusieurs travaux (nettoyage, assurance de la sécurité).

5. **Contrôle d'environnement (réseaux de capteurs)** : Des petits véhicules équipés de caméras et des détecteurs de son peuvent être utilisés dans une région déterminée afin de collecter un ensemble d'information et de l'envoyer travers un réseau ad hoc à une station qui traite ces informations.

### 1.3.6 Les normes d'accès au canal

La demande en matière de réseau sans fil opérants à des fréquences et des débits différents est très importante.

- **La norme 802.11a** : On parle aussi de Wifi5. Cette norme permet d'obtenir du haut débit théorique à 54 Mbit/s, soit du haut débit effectif à 30 Mbit/s sur la bande de fréquence des 5 GHz [9].
- **La norme 802.11b** : La norme 802.11b est aujourd'hui la plus répandue. Elle propose un haut débit théorique de 11 Mbit/s, soit du haut débit effectif à 6 Mbit/s sur la bande de fréquence des 2,4Ghz. La portée d'action peut aller jusqu'à 300m dans un environnement dégagé [9].
- **La norme 802.11c** : Cette norme n'a pas d'intérêt pour le grand public. Il s'agit d'une modification de la norme 802.11d afin de permettre l'établissement de ponts avec les trames 802.11 au niveau de la couche de liaison de donnée [9].
- **La norme 802.11d** : Le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Les travaux sont aussi suspendus [9].
- **La norme 802.11e** : Travaux sur la qualité de service (QoS) dans les normes existantes [9].
- **La norme 802.11f** : Il s'agit de recommandation à l'intention des vendeurs de points d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits. Elle propose le protocole Inter Access Point Protocol, qui doit permettre aux bornes d'accès de dialoguer entre elle de manière transparente pour l'utilisateur. Cette possibilité est appelée itinérante ou roaming [9].
- **La norme 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 2,4Ghz. Cette norme a été validée le 12/06/2003. Elle possède une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b,

ce qui signifie que les matériels conformes à la norme 802.11b fonctionnent avec les matériels à la norme 802.11g [9].

- **La norme 802.11h** : Elle vise à rapprocher la norme 802.11 du standard européen (HiperLAN2, d'où le "h" de 802.11h) et à être conforme à la législation européenne en matière de fréquence et d'économie. Techniquement, cela se traduit par l'adoption des technologies DFS (Dynamique Frequency Solution) et TPC (Transmit Power Control), pour une conformité avec les normes européennes [9].
- **La norme 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) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b, 802.11g [9].
- **La norme 802.11j** : La norme 802.11j est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne [9].
- **La norme 802.11IR** : La norme 802.11IR a été élaborée de manière à utiliser des signaux infrarouges. Cette norme est désormais dépassée techniquement [9].
- **La norme 802.11x** : Cette norme permet l'usage d'un serveur d'authentification de type RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) par le protocole EAP (Extensible Authentication Protocol) [9].
- **La norme 802.11n** : C'est la norme wifi future qui devrait surpasser plusieurs inconvénients des normes actuelles, en termes de débit, de portée, etc. La norme 802.11n était attendue pour avril 2007 mais elle reste toujours en rédaction [1].

### 1.3.7 Le routage dans les réseaux ad hoc

Généralement, le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion donné. Le routage dans les réseaux ad hoc se base sur une approche simple et intuitive : la réémission des paquets par chaque nœud permet la propagation dans le réseau.

Le problème réside dans le choix du chemin optimal. Dans le but d'assurer la connectivité du réseau, malgré l'absence d'infrastructure fixe et la mobilité des stations, chaque nœud

est susceptible d'être mis à contribution pour participer au routage et pour retransmettre les paquets d'un nœud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination ; tout nœud joue ainsi le rôle de station et de routeur.

Dans les travaux menés à L'IETF (Internet Engineering Task Force), plusieurs familles de protocoles se sont rapidement dégagées. Chaque protocole peut ainsi être classé en tant que réactif, proactif, ou hybride [1].

- **Les protocoles proactifs (Table Driven) :**

Ils maintiennent des tables de routage contenant des informations sur la topologie du réseau. Pour tout changement topologique, ils déclenchent des mises à jours dans le réseau afin d'avoir une vision globale du réseau. L'inconvénient de tels protocoles est la signalisation qui peut affecter la bande passant. L'avantage est qu'une route est toujours disponible entre une source et une destination sans pour autant déclencher des mécanismes de recherches de route. Parmi les protocoles proactifs, on trouve : **OLSR**(Optimized Link State Routing), **DSDV** (Destination Sequenced Distance Vector), **WRP** (Wireless Routing Protocol), **FSR** (Fisheye State Routing).

- **Les protocoles réactifs ou à la demande :**

Représentent les protocoles les plus récents proposés dans le but d'assurer le service du routage dans les réseaux sans fil. Ils sont caractérisés par une recherche de route lorsqu'une source veut communiquer avec une destination et qu'elle ne connaît pas comment l'atteindre. La découverte de route RD (Route Discovery) se fait généralement à travers des messages d'inondation : le nœud source, qui est à la recherche d'un chemin vers la destination, diffuse par inondation une requête dans le réseau. Lors de la réception de la requête, les nœuds intermédiaires (ou de transit) essaient de faire apprendre le chemin au nœud source, et de sauvegarder la route dans la table envoyée. Une fois la destination atteinte, elle peut envoyer une réponse en utilisant le chemin tracé par la requête, un chemin full duplex est alors établi entre le nœud source et le nœud destination. Le travail peut être réduit, dans le cas ou un nœud de transit posséderait déjà un chemin vers la destination. Une fois le chemin calculé, il doit être sauvegardé et mis à jour au niveau de la source tant qu'il est en

cours d'utilisation. Parmi les protocoles réactifs, on trouve : **AODV** (Ad hoc On-Demand Distance Vector), **DSR** (Dynamic Source Routing), **TORA** (Temporally Ordered Routing Algorithm).

- **Les 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 de là de cette zone prédéfinie, ils utilisent un protocole réactif pour chercher les routes vers des nœuds plus lointains.

Le protocole ZRP (Zone Routing Protocol) est un exemple de protocoles hybride qui combine à la fois des deux types précédents de protocoles en essayant d'apporter les avantages de chacun d'eux. Le principe est de connaître le voisinage de manière proactive jusqu'à une certaine distance, et si jamais une application cherche à envoyer quelque chose à un nœud qui n'est pas dans cette zone, il faut alors effectuer une recherche réactive à l'extérieur. Avec ce système, on dispose immédiatement des routes dans notre voisinage proche, et lorsque la recherche doit être étendue, elle est optimisée (un nœud qui reçoit un paquet de recherche de route réactive va tout de suite savoir si la destination est dans son propre voisinage. Si c'est le cas, il va pouvoir répondre, et sinon il va propager de manière optimisée de demande hors de sa zone proactive). Selon le type de trafic et les routes demandées, ce type de protocole hybride peut cependant combiner des désavantages des deux méthodes : échange de paquets de contrôle réguliers et l'inondation de l'ensemble de réseau pour chercher une route vers un nœud éloigné.

La figure ci-dessous récapitule les différentes familles des protocoles de routage dans les réseaux mobiles ad hoc

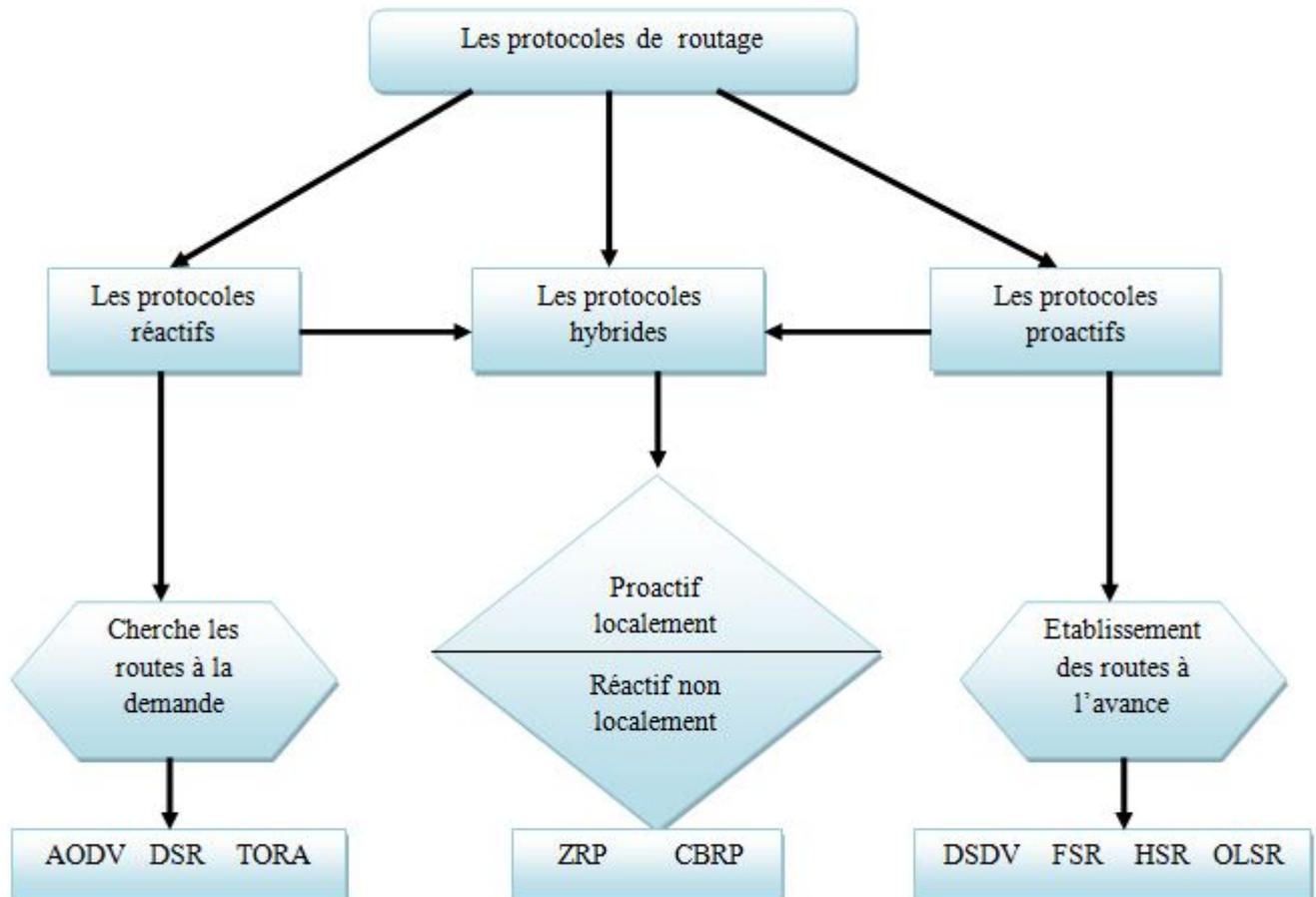


FIGURE 1.5 – Classification des protocoles de routage dans les réseaux ad hoc

## 1.4 Conclusion

Les réseaux MANET offrent un potentiel important pour les applications sans fil futures, en particulier grâce à leur indépendance et auto configuration, à leur faible coût de déploiement (puisque'il ne nécessite pas d'infrastructure), à leur adaptabilité aux changements de topologie et la mobilité de leur nœuds.

# 2

*Etude des approches coopératives  
existantes pour les réseaux ad hoc*

## 2.1 Introduction

Un réseau mobile ad hoc (MANET) est un réseau à auto-configuration dont tous les nœuds sont des routeurs connectés via des liaisons sans fil, ces derniers sont généralement alimentés par des batteries, communiquent entre eux par des liens sans fil multi-sauts.

Dans les MANETs, l'accès aux services et aux documents sur le réseau peut être très lent, par conséquent, l'élaboration d'une stratégie coopérative efficace pour l'ensemble MANET est d'une importance particulière, car elle permet d'améliorer les performances du réseau (la latence, la bande passante, la consommation d'énergie etc.).

Dans le but de bien comprendre les mécanismes de coopération dans les réseaux ad hoc, nous allons présenter dans ce qui suit quelques uns avec leurs avantages et inconvénients.

## 2.2 Notion de cache

### 2.2.1 Définition

Un cache est un espace de stockage utilisé pour conserver des données à forte localité spatiale ou temporelle. La mémoire utilisée pour le cache est plus rapide que l'espace de stockage principal, ce qui permet au processeur de travailler avec des copies des documents dans le cache rapide plutôt que dans l'espace de stockage principal [10].

**Localité spatiale :** La localité spatiale stipule que, plus un document est proche d'un autre qui vient d'être référencé, plus il a de chance d'être accédé à son tour [11].

**Localité temporelle :** Le principe de la localité temporelle stipule qu'un document récemment accédé a de grandes chances d'être de nouveau référencé [11].

### 2.2.2 Intérêt d'utilisation des mémoires caches

L'utilisation d'un cache a toujours été importante dans les systèmes informatiques dans le but de fournir une haute qualité de service et ainsi qu'une amélioration des temps de réponse perçus par les utilisateurs. En effet, un cache fournit un accès rapide aux

documents, pouvant tirer bénéfice de l'utilisation d'un support physique efficace, d'un ensemble d'éléments gérés plus petits autorisant des recherches plus rapides, ou encore d'un placement évitant des communications réseaux. De plus, employer un cache réduit la charge sur les serveurs et éventuellement sur les liens de communication, la récupération des documents étant alors plus rapide. Ainsi un cache améliore généralement les performances, en dépit des coûts de déploiement, d'administration, de gestion et éventuellement des problèmes de cohérence qu'il peut engendrer [12].

### 2.2.3 Fonctionnement

Le fonctionnement classique d'un cache est illustré par la figure suivante :

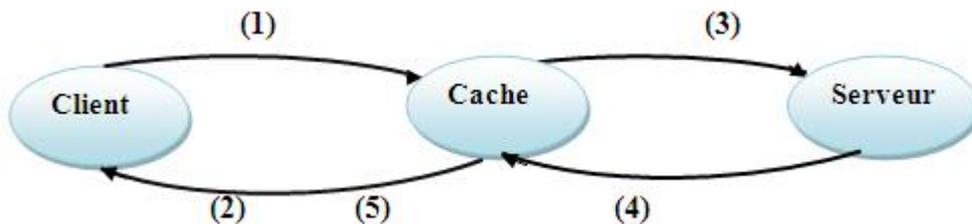


FIGURE 2.1 – Le fonctionnement du cache

(1) : La demande d'un client.

(2) : Cache hit.

(3) : Cache miss.

(4) : Récupération du document à partir du serveur.

(5) : Renvoi de l'élément au client.

**Cache hit (succès de cache)** : Un succès de cache se produit, lorsque le document demandé est présent en cache.

**Cache miss (défaut de cache)** : Un défaut de cache se produit, lorsque le document demandé n'est pas présent en cache.

## 2.3 Le cache coopératif

### 2.3.1 Définition

Un cache coopératif se joint à l'effort d'autres caches, en vue d'améliorer les performances globales du système dans lequel ils sont intégrés [12].

### 2.3.2 Principes

Les caches coopératifs visent à fournir un système proche des mémoires virtuelles partagées, où un unique espace d'adressage est partagé par plusieurs processeurs. Dans une coopération de caches, un client peut bénéficier de l'ensemble des ressources proposées par les différents caches. Les demandes sont posées aux caches coopératifs, le document étant directement fourni à l'utilisateur s'il est présent dans un des caches. Dans le cas contraire, le serveur est contacté pour récupérer le document demandé, qui est ensuite ajouté dans un (ou plusieurs) cache puis transféré au client. Les caches coopératifs reposent en fait sur un niveau supplémentaire dans la hiérarchie classique de processus de résolution, la coopération s'insère entre la demande d'un client et une résolution sur le serveur [12].

### 2.3.3 Intérêt

- L'accès aux ressources de différents caches par les clients permet en effet de soulager les serveurs.
- La réduction de consommation de la bande passante.
- Limiter la sensibilité du système global à une déconnexion ou à une panne des serveurs.
- Le partage des ressources évite également de multiples transferts depuis les serveurs d'un même élément, un utilisateur peut tirer profit des accès des autres clients.
- Réduire les temps d'attente perçus par les utilisateurs.

## 2.4 La clusterisation (clustering)

### 2.4.1 Définition

Le clustering est une méthode avec laquelle les nœuds sont hiérarchiquement organisés, basés sur leur proximité relative l'un à l'autre, selon certaines règles donnant une bonne structure. Dans un cluster, certains nœuds sont élus pour former un Backbone et sont appelés Clusters Head ou passerelles. Les Clusters Head sont des nœuds responsables du routage des messages, entre tous les nœuds du Cluster. Les nœuds passerelles sont des nœuds d'extrémité d'un Cluster et communiquent avec des nœuds des autres Clusters. Les nœuds qui n'ont aucun lien entre Cluster sont appelés nœuds ordinaires [13].

### 2.4.2 Intérêt de Clustering dans les réseaux ad hoc

Le Clustering permet de fournir des caractéristiques importantes à savoir :

- La stabilisation de la topologie du réseau.
- La facilité de réutilisation spatiale des ressources pour augmenter la capacité du système en assignant différents canaux/codes aux différents Clusters.
- La mise à jour hiérarchique de la topologie du réseau, i.e. Lorsqu'un nœud change de position, il suffit aux nœuds du Cluster de mettre à jour leur information de topologie.
- La réduction du propagation de l'information de routage.

## 2.5 Les politiques de remplacement de cache

Le cache coopératif est une approche permettant un accès efficace à l'information dans les réseaux mobiles ad hoc. L'élément important du cache coopératif est le remplacement de cache, qui vise à déterminer les documents à supprimer lorsque la taille globale de ces derniers dépasse la taille de l'espace physique du cache. Parmi ces politiques on trouve :

### 2.5.1 La politique URP (Update-oriented Replacement Policy)

La politique de remplacement URP emploie des fréquences de mise à jour et d'accès pour garantir les meilleures performances. Avant de décrire le principe de cette politique,

on présente les notions suivantes :

- $\mu_i^j(t)$  et  $\lambda_i^j(t)$  sont les fréquences d'accès et de mise à jour respectivement du client j sur le document  $O_i$  dans un temps t.
- $\mu_i^j$  et  $\lambda_i^j$  sont les taux d'accès et de mise à jour, respectivement, du client j sur le document  $O_i$ .
- Avec une valeur plus grande de t,  $\mu_i^j(t)$  et  $\lambda_i^j(t)$  approche au taux d'accès et de mise à jour respectivement. Formellement  $\mu_i^j = \lim_{t \rightarrow \infty} \mu_i^j(t)$  et  $\lambda_i^j = \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_i^j(t)$ .
- $\mu_i(t)$  et  $\lambda_i(t)$  sont les totaux du taux d'accès et de mise à jour, respectivement, pour le document  $O_i$  dans un temps t.
- Le taux d'accès et de mise à jour du document  $O_i$  pour tous les clients sont définis, respectivement, comme suit  $\mu_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \mu_i(t)$  et  $\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_i(t)$ .  
Evidemment,  $\mu_i(t) = \sum_j \mu_i^j(t)$  et  $\lambda_i(t) = \sum_j \lambda_i^j(t)$ .

Par ailleurs, le facteur de gain (GF) d'un document détermine s'il sera préservé dans le cache. GF est défini pour le document  $O_i$  au client j pendant un temps t par la formule suivante [14] :

$$GF_i^j(t) = \frac{(\mu_i^j(t) + \lambda_i^j(t)) * \mu_i^j(t)}{\mu_i^j(t) + \lambda_i(t)} \dots\dots\dots(1)$$

De même, GF à long terme est défini comme suit

$$GF_i^j(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{(\mu_i^j(t) + \lambda_i^j(t)) * \mu_i^j(t)}{\mu_i^j(t) + \lambda_i(t)} = \frac{(\mu_i^j + \lambda_i^j) * \mu_i^j}{\mu_i^j + \lambda_i} \dots\dots\dots(2)$$

Le fonctionnement de la politique URP est présenté dans l'algorithme ci-dessous. L'algorithme prend deux entrées : l'ensemble des documents actuellement cachés ( $C$ ) et le document consulté ( $O_a$ ). Il calcule pour chaque document le facteur de gain GF et renvoi l'identité du document ( $O_r$ ) ayant le plus petit GF (ligne 1-6). Si ce dernier est différent du document actuellement consulté ( $O_r \neq O_a$ ) alors il sera éliminé du cache et  $O_a$  sera gardé dans le cache. Sinon le cache sera gardé inactif.

### Algorithme de remplacement exécuté par le client $i$

Input :  $C$  Est l'ensemble des documents actuellement dans le cache

Input :  $O_a$  est le document consulté

// Cacher le document avec le min GF

1.  $MinGF \leftarrow \infty$ ;
2. foreachs  $O_j \in (C \cup \{O_a\})$
3.  $GF_i^j(t) = \frac{(\mu_i^j(t) + \lambda_i^j(t)) * \mu_i^j(t)}{\mu_i^j(t) + \lambda_i(t)}$ ;
4. *if*  $MinGF > GF_i^j(t)$  *then*
5.  $MinGF \leftarrow GF_i^j(t)$ ;
6.  $r \leftarrow j$ ;  
// Le nouveau document a une meilleure GF
7. *if*  $r = a$  *then*  
// Ainsi, garder le document récupéré
8.  $C \leftarrow (C \setminus \{O_r\}) \cup \{O_a\}$ ;  
// Sinon, laissez le cache inchangé.

### Avantages

- Garantir un nombre optimal de présences des documents dans le cache.
- Garantir un coût optimal (en termes de largeur de bande passante).
- Augmenter le nombre de succès de cache.

### Inconvénients

- Le remplacement dépend du facteur gain GF seulement et pas du TTL (Time To Live).
- L'augmentation du coût de l'algorithme par le calcul du facteur GF pour chaque document  $O_i$ .

### 2.5.2 La politique LUV-Mi (Least Utility Value with Migration)

LUV-Mi est une stratégie de remplacement coopérative permettant d'optimiser les performances des caches locaux. LUV-Mi se base sur deux opérations, le remplacement et la migration de documents. Dans l'opération de remplacement, un ou plusieurs documents sont éliminés du cache local afin d'obtenir un espace suffisant pour le nouveau document qui sera mis en cache. Dans l'opération de migration des documents, chaque document éliminé migre vers un autre client en fonction de la disponibilité d'espace dans leur cache au sein d'un cluster. L'opération de remplacement est locale, basée sur l'utilité du document au niveau d'un nœud. Cependant, l'opération de migration implique plusieurs nœuds du cluster [15].

Quatre facteurs sont considérés pour calculer l'utilité d'un document à un client :

**Popularité :** Dans un hôte, la probabilité d'accès  $A_i$  pour le document  $d_i$  est calculée par la formule :

$$A_i = \frac{a_i}{\sum_{k=1}^N a_k} \dots\dots\dots(3)$$

Où  $a_i$  est le taux moyen d'accès aux documents  $d_i$  et N est le nombre total des documents dans la base de données.

**Distance :** La distance ( $\delta$ ) est mesurée en nombre de sauts entre le client demandeur et le client source des documents.

**Cohérence :** Un document  $d_i$  est valable pour une durée de vie limitée, ce qui est connu en utilisant le champ  $TTL_i$ .

**Taille (s) :** Un document d'une plus grande taille devrait être choisi pour le remplacement.

À la base des facteurs ci-dessus, la fonction  $Utility_i$  pour un document  $d_i$  est calculée selon l'expression suivant :

$$Utility_i = \frac{A_i * \delta_i * TTL_i}{s_i} \dots\dots\dots(4)$$

### Avantages

- La politique LUV-Mi migre les documents à d'autres nœuds du cluster. De ce fait, pendant les futurs accès, les nœuds de cluster peuvent accéder facilement à ces documents.
- L'opération de remplacement est basée sur l'utilité du document au niveau du nœud, donc seuls les documents inutiles seront éliminés.

### Inconvénients

- La participation de plusieurs nœuds à l'opération de migration des documents invoque la surcharge du réseau.

## 2.5.3 La politique LFU (Least Frequently Used)

C'est une stratégie qui applique la fréquence d'utilisation des documents comme facteur principal. Elle tire profit de la diversité des valeurs de popularité des documents Web, ce qui a pour conséquence différentes valeurs de fréquence. Donc elle calcule ces valeurs et les utilise dans les décisions ultérieures. LFU remplace le document le moins fréquemment demandé [16].

### Avantages

- Minimiser le nombre de défauts de cache, en essayant de prévoir au mieux les documents qui seront utilisés.

### Inconvénients

- Les documents qui possèdent un accès fréquent et qui ne sont plus utilisés dans le futur tendent à rester dans la mémoire cache.

### 2.5.4 La politique LRU (Least Recently Used)

Dans la stratégie LRU, le document remplacé est le moins récemment utilisé. Elle se base sur le principe de localité temporelle, qui stipule que si un document a été accédé récemment, alors il a de fortes chances d'être réutilisé dans un futur proche.

Dans cette stratégie, tous les documents sont stockés dans une liste LRU. Chaque document a un compteur de nombre de fois qu'il a été référencé. Quand un document caché est référencé alors il est déplacé au début de la liste LRU et son compteur est incrémenté de un.

A chaque fois qu'il y a un remplacement, le compteur de document le moins récemment utilisé est vérifié. S'il est à zéro, le document est supprimé du cache. Autrement, le compteur est décrémenté de un, et le document est déplacé en tête de la liste [17].

#### Avantages

- Minimiser le surcoût de calcul tout en donnant des performances raisonnables.
- Minimiser le nombre de défauts de cache.

#### Inconvénients

- Tout document moins récemment utilisé a peu de chance d'être réutilisée dans le futur.
- La complexité d'implémentation de l'algorithme LRU, influe de manière négative sur le temps moyen d'accès à la mémoire cache.

## 2.6 Les stratégies de cache coopératif

Il existe plusieurs stratégies de cache coopératif parmi lesquelles on cite :

### Cache Path

Dans CachePath, les nœuds mobiles cachent le chemin où se trouvent les documents et l'emploient pour réorienter les futures demandes au nœud voisin qui a les documents au lieu du serveur [18].

### Cache Data

Des nœuds intermédiaires cachent les documents pour satisfaire les demandes futures au lieu de les récupérer du serveur [19].

### Hybrid Cache

En Hybrid Cache, les avantages de Cache Path et Cache Data sont combinés pour améliorer les performances [19].

### 2.6.1 Le cache coopératif à base des Clusters

Le cluster coopératif (CC) partitionne les MANETs en groupes de taille égale à base de la proximité géographique du réseau. Dans chaque cluster, CC choisit dynamiquement un "super nœud" de cache (CSN). L'état de cache du cluster CCS qui est la liste des éléments mis en cache avec leur time-to live (TTL) maintient des informations sur les différents nœuds du cluster dans son domaine.

Le principe de conception du CC est que, pour un mobile client, tous les autres clients à l'intérieur de son cluster forment un système de cache coopératif pour ce dernier depuis les caches locaux de ces clients. Dans un CC, quand un client souffre d'un défaut de cache (cache miss local), le client va chercher les documents requis par les membres de cluster, en envoyant une demande au CSN. Lorsque le client ne peut pas trouver les documents dans les caches des membres du cluster (cluster cache miss), il sera demandé à la liste des clients qui se trouve sur le chemin de routage vers le serveur. Si un cluster le long

de chemin d'accès au serveur possède les documents demandés (remote cache hit), alors il peut répondre à la demande sans la transmettre en outre vers le serveur. Dans le cas contraire, la demande sera satisfaite par le serveur [15].

Pour chaque demande, l'un des quatre cas suivants s'applique :

- **Cas 1** : Local hit. Lorsque la copie du document demandé est stockée dans la mémoire cache du demandeur. Si le document est valide, il est récupéré pour servir la demande et aucune coopération n'est nécessaire.
- **Cas 2** : Cluster hit. Lorsque le document demandé est mémorisé par un client dans le cluster du demandeur. Le demandeur envoie une demande à la CSN et la CSN renvoie l'adresse du client qui le met en cache.
- **Cas 3** : Remote hit. Lorsque les documents sont trouvés chez un client appartenant à un autre cluster le long du chemin de parcours à la source des documents.
- **Cas 4** : Global hit. Le document est récupéré à partir du serveur.

La figure suivante illustre le fonctionnement d'une demande de client par CC :

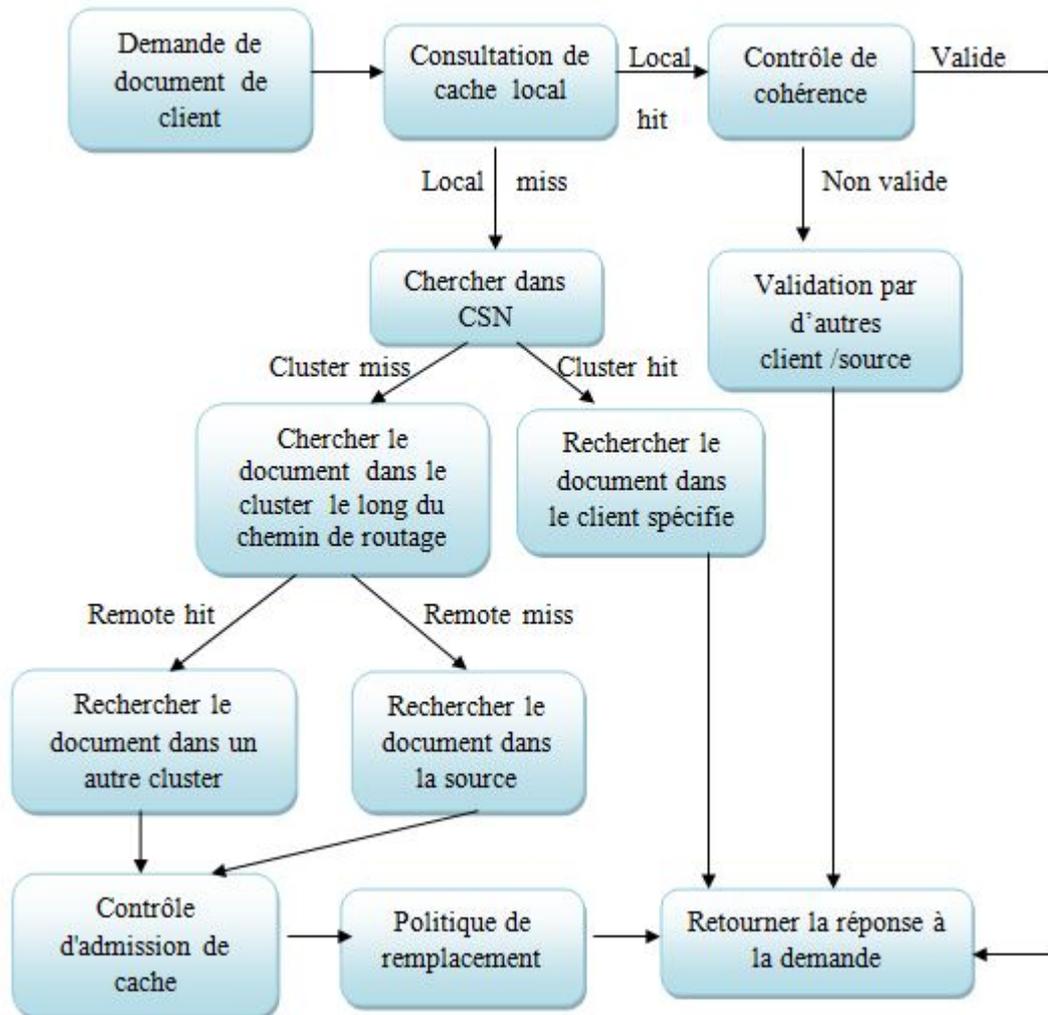


FIGURE 2.2 – Fonction d'une demande de client par la stratégie de cache CC.

### Avantages

- La présence du CSN réduit le temps d'accès aux documents en donnant l'identifiant du nœud qui contient l'information demandée.
- Réduire les frais généraux de découverte du cache.
- Le système permet aux clients dans un cluster de partager leurs documents qui aident à réduire la latence des demandes.

- Résoudre les problèmes d'accessibilité des documents dans les réseaux ad hoc.

### Inconvénients

- La nécessité de sélectionner un nouveau CSN à chaque fois qu'un CSN ne répond pas (en panne) à une demande du client au bout d'un temps fini.
- La mobilité des nœuds dans les réseaux ad hoc implique quand un nœud non-CSN quitte le cluster intentionnellement, il est obligé d'informer le CSN du nouveau cluster.
- La nécessité d'envoyer le résumé de cache des clients au CSN à chaque fois qu'ils rejoignent un nouveau cluster.

### 2.6.2 La stratégie ZC (Zone Coopérative)

Le principe de conception de la stratégie ZC est qu'il est avantageux qu'un client partage les documents cachés avec ses voisins situant dans sa zone (c-à-d les clients mobiles à un saut). Les clients mobiles appartenant au voisinage d'un client donné forment un système de cache coopératif pour ce client, car le coût de communication avec eux est faible, en termes de consommation d'énergie et d'échanges de messages.

Un algorithme de découverte de cache est nécessaire pour déterminer si et où le document demandé est mis en cache lorsque le demandeur n'a pas de connaissance de la destination. Quand une demande d'un document est initiée à partir d'un client, il le recherche d'abord dans son propre cache. S'il ya un défaut de cache local, il diffuse la demande à ses voisins pour vérifier si le document est mis dans leurs caches. Quand un client reçoit la demande et il a le document dans son cache local (i.e. Un cache hit de la zone), il envoie un paquet ACK au demandeur pour l'informer qu'il a le document.

Dans le cas d'un défaut de cache de sa zone, la demande est transmise au voisin le long du chemin de routage. Avant de transmettre une demande, chaque client le long du chemin cherche le document dans son cache local ou dans sa zone, comme décrite ci-dessus. Si le document ne se trouve pas sur les zones le long du chemin de routage, la demande atteint finalement la source. Quand un client reçoit un paquet ACK, il envoie un paquet de confirmation du premier paquet ACK. Les paquets ACK pour le même document provenant des

autres clients sont rejetés sans traitement supplémentaire. Lorsqu'un client/serveur reçoit un paquet de confirmation, il retourne le document au demandeur.

### **Avantages**

- ZC permet aux clients de partager leurs documents dans une zone qui réduit la latence des demandes.
- ZC limite les problèmes d'accessibilité aux documents dans les réseaux ad hoc.
- L'utilisation du mécanisme d'ACK facilite le processus du découvert des documents.

### **Inconvénients**

- Le problème de taille de la zone coopérative lorsque le nombre de nœuds est important.

## **2.6.3 La stratégie GC (Group Caching)**

La stratégie GC localise l'état du cache des voisins à 1-saut pour accomplir les tâches de découverte. Dans ce schéma, les MHs connaissent l'état de cache de leurs voisins et peuvent vérifier l'état de cache des autres membres du groupe pour décider du placement et de remplacement. Lorsque le placement de cache ou le remplacement doivent être effectués, MH choisit le membre du groupe approprié pour exécuter cette tâche.

Chaque MH et ses voisins à 1-saut forment un groupe. Un voisin à 1-saut peut être couvert dans la zone de portée de transmission à partir d'un MH. Chaque MH possède un ID du membre de groupe. Le ID peut être l'adresse IP ou l'identification unique du nœud. Afin de maintenir la connectivité d'un groupe, GC utilise le mécanisme du messages "Hello". Les messages "Hello" sont envoyés localement par chaque MH. Ces messages sont envoyés périodiquement comme "Keep-Alive-Signal" afin d'utiliser l'espace du cache de chaque MH dans un groupe. De cette façon, chaque MH sait qu'elles sont ses voisins à 1-saut [21].

### Avantages

- Puisque plus d'espace de cache peut être utilisé, chaque MH peut stocker différents documents du groupe. De ce fait, cette opération sert à augmenter la disponibilité et l'accessibilité des documents.
- Lorsque la taille du groupe est importante, le taux de succès distant sera élevé puisque les MHs peuvent reconnaître les informations de cache d'un grand nombre de voisins.
- Puisque les MHs connaissent l'état de cache de leurs voisins, la redondance des documents de cache peuvent être réduite.

### Inconvénients

- Dans cette stratégie, chaque MH maintient seulement ses voisins à 1-saut dans son groupe.

## 2.6.4 La stratégie coopérative COOP

COOP est un service de cache coopératif pour les MANETs, située au niveau de middleware, agit comme un proxy pour les applications utilisateur. Elle utilise la pile fondamentale du réseau (Network Protocol Stack) pour communiquer avec les instances de COOP fonctionnant sur d'autres nœuds. Une instance courante de COOP reçoit les demandes des documents recherchés par les utilisateurs, et elle les résout en utilisant le schéma de résolution de cache et le schéma de gestion de cache.

**La résolution de cache :** La résolution de cache avec COOP comporte trois schémas de base. Le premier est l'inondation adaptative (Adaptative flooding), qui calcule l'intervalle d'inondation appropriée en fonction du coût de récupération des documents demandés. L'inondation limitée est utilisée pour la résolution de cache, non seulement parce qu'elle a le potentiel de découvrir le cache le plus proche autour du demandeur, mais également parce que les inondations peuvent servir une annonce dans le voisinage et elles segmentent effectivement le réseau en cluster, dans lequel elles peuvent partager et collaborer la gestion de contenu du cache. Le deuxième schéma est la résolution basée sur le profil (Profil-based Resolution), qui maintient un profil historique des demandes de documents précédemment reçus, et il détermine la source de documents prête à servir les demandes d'utilisateurs en

fonction du profil. Si une demande de documents ne peut pas obtenir une résolution en utilisant ces deux schémas, alors un troisième schéma, résolution routière (Roadside Resolution), est employé pour résoudre la demande des documents le long de chemin à la source.

**La gestion de cache :** La gestion de cache COOP désigne quel document à maintenir dans le cache locale d'un nœud. Le but est d'augmenter le taux de succès, qui dépend de la capacité du cache. Pour maximiser la capacité des caches coopératifs, COOP tente de réduire les duplications au sein de cache des voisins à courte distance, de sorte que l'espace de cache sera utilisé pour recevoir des documents distincts. Les copies des documents cachées sont catégorisées selon leurs disponibilités dans le voisinage. Une copie de document est primaire (non dupliquée) si elle n'est pas disponible dans le voisinage. Sinon, elle est secondaire (dupliquée). La raison de différencier les documents primaires et secondaires est que le coût d'absence en cache est proportionnel à la distance d'une demande de documents, et les documents primaires sont habituellement dominés au défaut de cache que les documents secondaires. Les règles d'inter-catégorie (des documents secondaires sont retirés pour arranger des documents primaires, mais pas vice-versa) et intra-catégorie (employer pour évaluer les documents dans la même catégorie) sont utilisées pour décider des priorités des documents primaires et secondaires dans le cache [22].

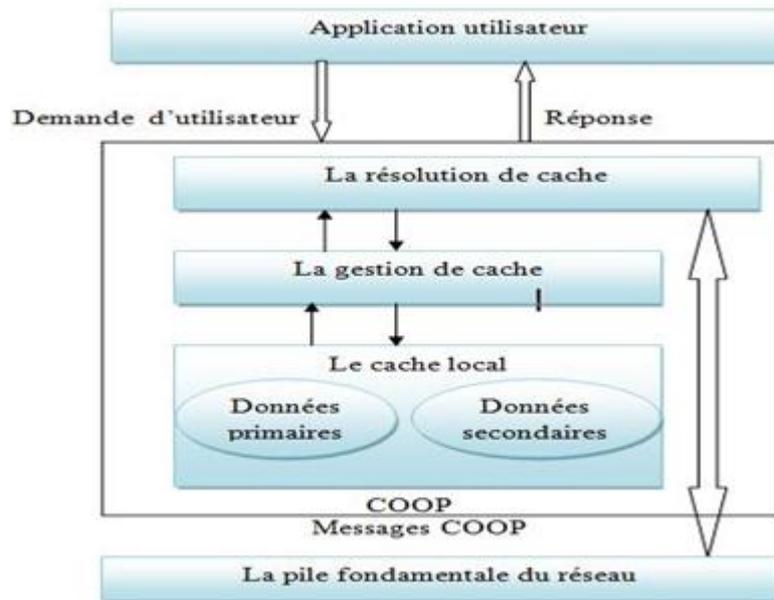


FIGURE 2.3 – L'architecture du système.

### Avantages

- COOP présente plusieurs schémas pour la résolution de cache (inondations adaptives, résolution basée sur le profil, Résolution routière).
- COOP minimise les duplications de cache entre les nœuds voisins et améliore la capacité globale des caches coopératifs en utilisant les règles inter-catégorie et intra-catégorie.
- COOP améliore la disponibilité des documents et l'efficacité d'accès.

### Inconvénients

- Le coût de calcul effectué dans le schéma de résolution basé sur le profil est élevé.
- La stratégie décrit les systèmes d'ambition qui occupent un espace considérable sur un nœud mobile.

### 2.6.5 La stratégie COACS (Coopérative and Adaptative Caching System)

COACS est un schéma de cache distribué qui se base sur l'indexation des demandes. Les nœuds peuvent prendre l'un des deux rôles : nœuds du cache (Cache Node (CN)) ou répertoire des demandes (Query Directory (QD)). QD met en cache les demandes des nœuds mobiles, alors que CN cache les documents (réponses aux demandes).

Quand un nœud demande des documents qui ne sont pas cachés dans le système (un défaut de cache), la base de données est consultée pour rechercher cette information. Lors du réception d'une réponse, le nœud demandeur agira comme CN en cachant ces documents. Le QD le plus proche au CN cachera la demande et fera une entrée dans sa table de hachage pour lier la demande à sa réponse.

QD agit comme index pour les documents préalablement demandés et par le stockage des demandes ainsi que les adresses des CNs contenant les documents correspondants. Le nœud qui demande les documents est désigné comme RN, qui pourrait être n'importe quel nœud, y compris un CN ou un QD.

Les nœuds QD constituent le cœur du système de cache. Si QD reçoit une demande qu'il n'a pas indexé, la demande est transmise à un autre QD [23].

L'exemple ci-dessous illustre un scénario simplifié en utilisant COACS, où la demande est entreposée dans QD2 et sa réponse est stockée dans CN6.

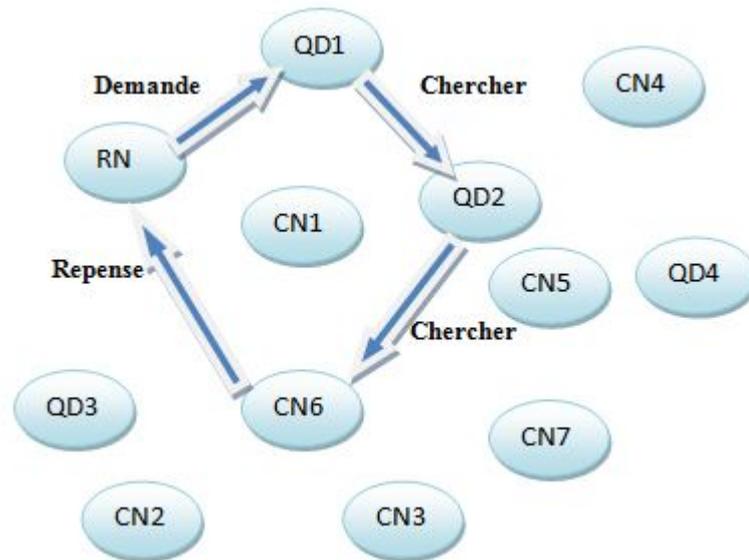


FIGURE 2.4 – Exemple du scénario d'utilisation de COACS.

### Avantages

- COACS réduit au minimum le retard et maximise la probabilité de trouver les documents qui sont cachés dans le réseau sans induire un grand trafic aux nœuds.
- COACS fait face aux ressources limitées aux dispositifs mobiles et diminue le temps de réponse du système par l'utilisation de plusieurs QDs.
- Puisque les demandes occupent moins d'espace que les documents correspondants, QDs pourront stocker plus entrées. Ceci aide à diminuer le nombre de nœuds consultés pour trouver les documents.

### Inconvénients

- La difficulté de récupération des documents en cas de panne d'un dispositif mobile .
- L'implémentation d'une fonction de compression des demandes est très coûteuse.

## 2.7 Autres stratégies coopératives

Dans la section précédente, nous avons focalisé notre travail sur les caches coopératifs en termes de traitement des demandes. Dans cette section nous allons présenter d'autres stratégies de coopération.

### 2.7.1 La stratégie CORE

Le mécanisme CORE, utilisé pour imposer la coopération entre les nœuds. CORE se base sur une technique de surveillance distribuée. Ce mécanisme de coopération n'empêche pas un nœud de nier la coopération ou de dévier d'un comportement légitime mais s'assure que les entités se conduisant mal soient punies en leur refusant graduellement les services de communication. CORE est suggéré comme mécanisme générique qui peut être intégré avec n'importe quelle fonction de réseau comme l'expédition de paquets, découverte de routes, gestion de réseau, et gestion de la localisation. Dans CORE, chaque entité réseau encourage la collaboration d'autres entités en utilisant une métrique de coopération appelée réputation.

La métrique de réputation est calculée sur la base de donnée recueillies localement par chaque nœud et peut se baser optionnellement sur l'information fournie par d'autres nœuds du réseau impliqués dans des échanges de messages avec les nœuds surveillés. Basé sur la réputation, un mécanisme de punition est adopté comme système de dissuasion pour empêcher un comportement égoïste en refusant graduellement les services de communication aux entités qui se conduisent mal [24].

#### Avantages

- L'avantage principal d'un réseau MANET qui adopte CORE est que les nœuds légitimes (nœuds qui coopèrent dans le réseau) arrivent à économiser de l'énergie.

#### Inconvénients

- Cette stratégie pose le problème d'implémentation du principe de la théorie des jeux.

## 2.7.2 RAMAC (Routing-aware Adaptive MAC)

RAMAC [25] [26] [27] s'intéresse au partage efficace de la bande passante dans un réseau mobile ad hoc. Nous croyons que quand un nœud participe au routage des paquets de documents des autres nœuds, il doit avoir un accès plus fréquent au canal qu'un autre nœud ne participant pas au routage. Plus encore, selon la quantité de documents à router, un nœud doit avoir un accès plus fréquent au canal qu'un autre nœud ayant moins de documents à router. En adoptant ce comportement, nous assurons que les nœuds seront plus intéressés par construction d'un réseau connecté et viable et les nœuds au comportement désagréable seront évités ou réduits. Dans le but d'obtenir la coopération de la totalité des nœuds et un partage de canal efficace dans un réseau ad hoc basé sur le 802.11, RAMAC choisit de changer dynamiquement la valeur de la fenêtre de contention. Nous croyons qu'en faisant ainsi, les nœuds routeurs ne souffriront pas pour l'envoi de leurs propres documents.

Avant de décrire le mécanisme RAMAC, nous définissons les notations suivantes. Pour tout nœud  $i$  générant son propre trafic et routant le trafic des autres nœuds :

$W_{routed}(t)$  : le trafic des autres nœuds à router à l'instant  $t$ .

$W_{own}(t)$  : Le trafic de documents propres au nœud  $i$  à envoyer à l'instant  $t$ .

Le taux du trafic à router sur la totalité du trafic au niveau du nœud  $i$  à l'instant  $t$  est :

$$\rho_i = \frac{(W_{routed}(t))}{(W_{own}(t)+W_{routed}(t))} \dots\dots\dots(5)$$

Dans le schéma de base de DCF (Distributed Coordination Function) dans le 802.11 pour les réseaux ad-hoc, la fenêtre de contention CW est remise à sa valeur minimal ( $CW_{min}$ ) après chaque transmission sans échec et doublée après une collision ou que le canal est occupé à la fin de la période d'attente. RAMAC modifie ce mécanisme et différencie entre les nœuds participant au routage et ceux sollicitant le service de routage de leurs voisins. Pour cela, le schéma d'augmentation de la fenêtre de contention est modifié en multipliant la CW par un facteur multiplicatif variable, plus petite que la valeur standard 2, après chaque échec de transmission. De cette façon, nous assurons que le nœud envoyant son propre trafic de documents et routant les paquets des autres nœuds possède la plus petite valeur de CW et donc a la plus grande priorité pour accéder au canal.

### La fonction de diminution de CW

Dans la DCF du 802.11 après chaque transmission réussie d'un paquet par un nœud, sa CW est remise à sa valeur minimale ( $CW_{min}$ ), RAMAC propose de laisser cette fonction invariante car elle aide le nœud à accéder au canal avec une haute priorité.

### La fonction d'augmentation de CW

Après chaque échec de transmission, causé par un conflit avec un autre nœud ou un canal occupé après la période d'attente, la DCF double la taille de la CW sans tenir compte du type des paquets de documents.

$$CW_{new} = \min(2 * CW_{old}, CW_{max}) \dots\dots\dots(6)$$

Dans le schéma RAMAC, après échec de transmission, un nœud mobile  $i$  dans un réseau sans fil ad hoc met à jour sa fenêtre de contention en utilisant un facteur multiplicatif  $MF_i$ , après chaque période de mise à jour  $\Delta(t)$ , en tenant compte du taux des paquets routés sur la totalité des paquets envoyés durant la période  $\Delta(t)$ . En faisant ainsi, nous autorisons tout nœud dans le réseau ad hoc à accéder plus fréquemment quand il doit router les paquets des autres nœuds. Le taux  $\rho_i$  est entre 0 et 1 et par conséquent la valeur du facteur multiplicatif est entre 0 et 2. Nous autorisons plus de bande passante aux nœuds qui ne sont pas très rapides. En revanche, nous autorisons moins de bande passante aux autres nœuds qui ne sont pas très impliqués dans le routage en approchant la valeur de leur  $MF_i$  de 2 et par conséquent auront leur  $CW_{new}$  qui grandit rapidement.

$$MF_i = 2 - \rho_i \dots\dots\dots(7)$$

La nouvelle valeur de CW est donc calculée selon l'équation suivante :

$$CW_{new} = \min(MF_i * CW_{old}, CW_{max}) \dots\dots\dots(8)$$

### Avantages

- RAMAC permet d'établir une équité d'accès au canal en différenciant au niveau de chaque nœud entre le trafic propre au nœud et le trafic à router en provenance des autres nœuds.

- RAMAC est efficace en présence de quelques nœuds.
- Plus  $\rho_i$  augmente plus le partage attribué au nœud  $i$  est grand. En d'autres termes plus le trafic à router sur la totalité du trafic est grand au niveau d'un nœud plus il a de la bande passante.

### Inconvénients

- RAMAC donne un accès plus fréquent au canal à un routeur par rapport à un nœud ne participant pas au routage, mais le routeur utilise ses propres ressources énergétiques pour router les paquets des autres nœuds.

## 2.8 Conclusion

Les caches ont réussi à trouver leur place dans la plus part des systèmes et réseaux informatiques puisqu'ils améliorent les principales limites de ces réseaux, à savoir la latence des communications, la consommation d'énergie et la bande passante.

Dans ce chapitre, nous avons présenté certaines stratégies et politiques de coopération qui existent dans la littérature. Dans le prochain chapitre nous allons présenter un schéma de coopération des caches adapté aux réseaux ad hoc.

# 3

*Proposition d'une approche  
coopérative pour les réseaux ad hoc*

### 3.1 Introduction

Les caches coopératifs autorisent une meilleure répartition de charge sur le système et une plus grande disponibilité. L'accès aux ressources des différents caches par les clients permet en effet de soulager les serveurs, selon le placement des caches, de réduire la consommation de bande passante, limitant la sensibilité du système globale à une déconnexion ou à une panne des serveurs. Le partage des ressources évite également de multiples transferts depuis les serveurs d'un même document, un utilisateur pouvant tirer profit des accès des autres clients. Ces nombreux avantages se traduisent en générale par une réduction des temps d'attente perçus par les utilisateurs. Il convient néanmoins de noter que les caches coopératifs engendrent des surcoûts par rapport à des caches classiques, liés à la localisation des documents ou encore aux redirections des demandes sur les différents caches. Cependant ces surcoûts sont souvent négligeables par rapport au gain obtenu, surtout dans des contextes où les serveurs sont soumis à une forte charge.

La base de la coopération des caches est de permettre à un nœud dans la situation d'un cache local miss, après une demande d'un document, d'être en mesure d'atteindre ce document à partir de cache des autres nœuds. Dans ce cadre, nous allons présenter dans ce qui suit, le principe de notre proposition.

### 3.2 Description du schéma de cache coopératif

Dans notre schéma de coopération, certains nœuds proportionnels au nombre total de nœud dans le réseau, sont élus pour jouer le rôle de fournisseurs de services cache. Cette élection se fait selon un algorithme exécuté périodiquement pour désigner à chaque fois un autre groupe de fournisseurs de services cache SCP (service cache providers), afin d'assurer un bon équilibrage de charge.

Quand un nœud est élu comme SCP, il diffuse un message d'invitation aux voisins à un ou plusieurs sauts afin de leur demander d'envoyer le résumé de leur cache. Le nœud qui reçoit plusieurs messages d'invitation peut répondre à trois fournisseurs, au plus, parce qu'ils sont nécessaires à valider, périodiquement, leur résumé. Si le fournisseur voit qu'un résumé de cache n'est pas encore validé après la fin de la troisième période, alors ce résumé sera supprimé.

En outre, quand un nœud se rend compte qu'il est hors portée de communication de tous les SCPs qui ont une copie de son résumé de cache, il diffuse une demande pour rejoindre un autre SCP.

### **3.2.1 Principe**

Quand un nœud lance une demande d'un document, il regarde d'abord dans son propre cache. S'il n'y a pas de copie du document demandé dans son cache local, le nœud envoie un message à rechercher le plus proche SCP, celui-ci consulte les résumés des caches dont il dispose. S'il y a une entrée pour le document demandé, donc c'est un succès et il répond avec l'identité du nœud ayant le document. Sinon, le demandeur contacte un autre nœud SCP. Si toujours aucun nœud ne trouve ce document dans son cache, il sera récupéré de la source. Lors de la réception du document demandé à travers un SCP ou depuis la source, le nœud demandeur vérifie si son espace libre dans le cache est suffisant pour contenir ce document, dans ce cas, il est inséré directement dans leur cache. Dans le cas contraire, la politique de remplacement de cache est invoquée pour faire place le nouveau document.

Le comportement du schéma de cache coopératif basé sur des fournisseurs de service cache est illustré dans la figure suivante :

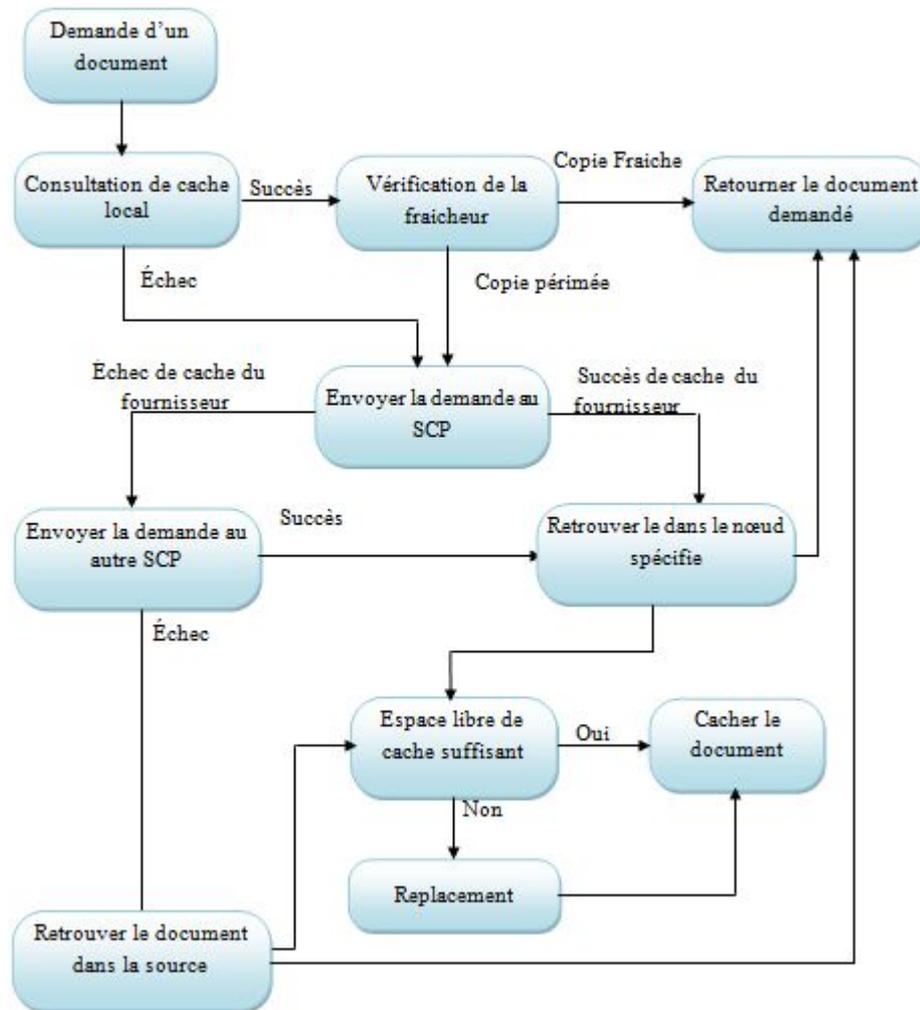


FIGURE 3.1 – Comportement d'un nœud effectuant une demande d'un document.

### 3.2.2 Algorithme d'élection des fournisseurs de service de cache

Avant de décrire les étapes d'élection des SCPs, Nous résumons les notations utilisées dans le tableau suivant :

N	Le nombre de nœuds
L	La distance du fournisseur de service cache en nombre de sauts
$ID_i$	Identifiant du nœud qui prend des valeurs entre 1 et N
$P_{fournisseurs}$	Pourcentage des fournisseurs de service de cache
$S_{Nb}(i, j)$	Les voisins de $MN_i$ placés à j sauts
$N_{tours}$	Le numéro de tour courant
$R_{div}(i)$	Le reste de la division de $(ID_i + N_{tours})$ par $(1/P_{fournisseurs})$

TABLE 3.1 – Liste de termes utilisés et leurs significations

L'élection des SCPs est exécutée périodiquement afin d'équilibrer la consommation d'énergie des nœuds. Chaque nœud calcule  $R_{div}(i)$  et ceux qui ont une valeur zéro seront élus comme SCPs. Après cette étape, tous les SCPs envoient des messages d'invitation aux voisins à un ou plusieurs sauts (selon  $j$  de  $S_{Nb}(i, j)$  dans le tableau 1,  $j$  est choisi de telle sorte que tous les nœuds puissent recevoir un message d'invitation) afin de les inviter à envoyer leurs résumé de cache.

Après avoir reçu plusieurs messages d'invitation, les nœuds non SCPs peuvent répondre, à trois fournisseurs, au plus, car ils sont tenus de valider leur résumé périodiquement.

L'organigramme suivant illustre les étapes de fonctionnement de cet algorithme :

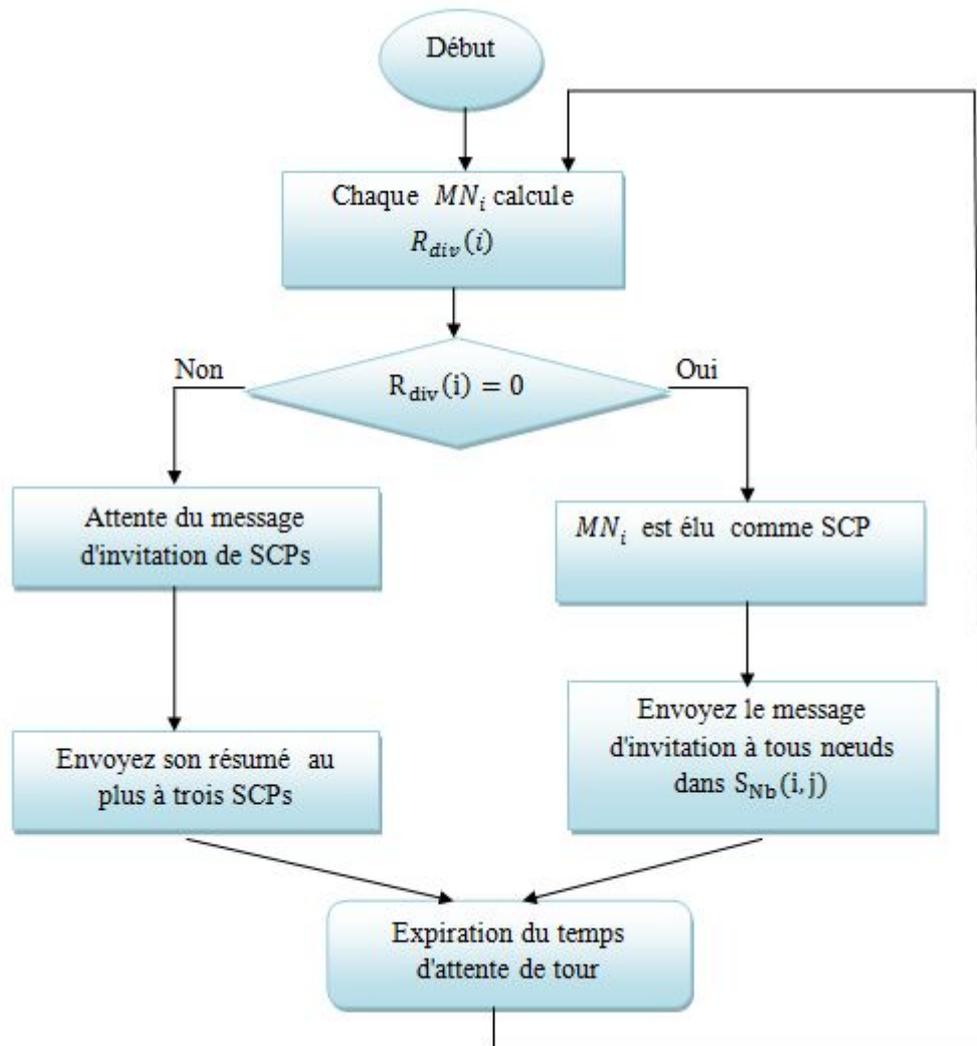


FIGURE 3.2 – Organigramme du mécanisme d'élection des SCPs.

### **3.3 Conclusion**

Dans ce troisième chapitre, on a présenté notre propre stratégie de cache coopératif qui vise à améliorer les performances (la latence, la bande passante, la consommation d'énergie, le temps d'attente et la disponibilité des documents) des réseaux ad hoc. Pour évaluer les performances et l'efficacité de notre proposition, nous allons effectuer une simulation qui fera l'objet du chapitre suivant.

# 4

## *Simulation et Evaluation de performance*

## 4.1 Introduction

Après avoir présenté le fonctionnement de notre approche, nous illustrons dans ce chapitre les principales étapes de réalisation de notre simulateur dont l'objectif est de permettre d'évaluer les performances et de montrer l'efficacité de la solution proposée.

## 4.2 La simulation

La simulation est la méthode d'évaluation de performances la plus dominante dans le domaine des réseaux ad hoc. Elle est largement utilisée pour évaluer les nouvelles architectures et protocoles de communication, car elle permet de tester à moindre coût ces nouveaux protocoles et d'anticiper les problèmes qui pourront surgir durant leur implémentation réelle. Pour le faire, elle construit un modèle du système réel en représentant toutes ses entités, leur comportement et leur interaction pour mener en suite des expériences sur ce modèle avec une simple modification des paramètres de simulation dont les résultats seront facilement analysables et interprétables.

Il existe plusieurs techniques de simulation :

- Simulation de Monte-Carlo.
- Simulation dirigée par le temps.
- Simulation par événements discrets.
- Simulation par trace.

### 4.2.1 Le but de notre simulation

Pour évaluer l'efficacité de notre mécanisme, nous allons le comparer avec le mécanisme de coopération à base de Cluster, en simulant les deux dans les mêmes conditions. Cette comparaison va se focaliser sur la latence perçue par les utilisateurs et le taux de succès des requêtes. Pour ce but nous avons utilisé le logiciel MATLAB.

## 4.2.2 Le choix de MATLAB

MATLAB est un logiciel de calcul numérique produit par MathWorks. Il est disponible sur plusieurs plateformes.

MATLAB 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 pré définies. On peut traiter la matrice comme une simple variable.

MATLAB contient une interface graphique puissante, et on peut l'enrichir en ajoutant des "boîtes à outils" (toolbox) qui sont 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.

## 4.2.3 Les paramètres de simulation

Le tableau suivant contient les paramètres de simulations qui ont été choisis.

Définition de la constante	Valeur initiale	Type	Unité de mesure
Nombre de nœuds	50	Nombre	Nombre
Portée des nœuds	20	Entier	Mètre
Position de la Source (sx,sy)	(0, 0)	Entier	
Taille de cache	2000	Entier	Octet
Taille max du document cache	100	Entier	Octet
Temps de simulation	6000	Entier	Seconde
Taille du réseau	100 * 100	Surface	$m^2$
Taux d'arrivé $\lambda$	0.5	Réel	Arrives / Seconde
Taux de service $\mu$	1	Réel	Serves / Seconde

TABLE 4.1 – Paramètres de simulation

#### 4.2.3.1 Hypothèses de modélisation

Dans le but d'évaluer les performances de ces deux protocoles, on s'est basé sur les hypothèses suivantes :

- Le réseau ad hoc est complètement connecté.
- Les évènements arrivent suivant une loi de poisson de paramètre  $\lambda$ , et ils sont servis suivant une loi exponentielle de paramètre  $\mu$ .
- A un instant donné, un nœud initiateur d'évènement est pris aléatoirement.

- La portée est constante pour tous les nœuds.
- La taille de cache est fixe pour tous les nœuds.
- Les évènements sont récupérés à partir d'un échéancier.

**L'échéancier** : Les évènements détectés dans le réseau sont rangés dans un échéancier. Chaque évènement est représenté par une notice décrite par un triplet (l'id du nœud demandeur, l'id du document demandé et le temps d'arriver de la demande).

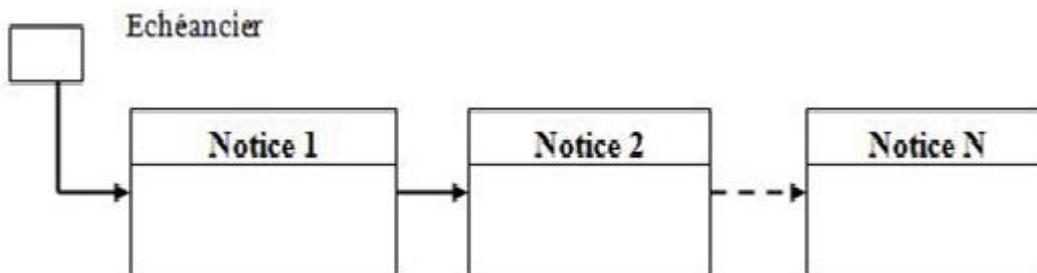


FIGURE 4.1 – Echéancier d'évènements.

L'id du nœud demandeur
L'id du document demandé
Le temps d'arriver de la demande

TABLE 4.2 – Notice d'évènement

#### 4.2.4 Algorithme de simulation

La technique de simulation choisie est celle à événements discrets où l'unité conceptuelle est un événement. Il s'agit de gérer l'échéancier où les événements sont consignés avec le temps d'activation et la procédure qui doit être appelée à ce moment là.

Avant l'exécution de la procédure d'activation (les protocoles invoqués) correspondante à l'évènement, on extrait de l'échéancier la notice d'évènement situé en tête de celui-ci et on ramène l'horloge du système à l'heure d'activation de la notice extraite.

```
1 Initialiser l'échéancier, l'horloge de simulation et les variables ;
2 Créer les événements et insérer leurs notices dans l'échéancier ;
3 while (non fin d'échéancier & non fin de simulation) do
4     Retirer la notice en tête de l'échéancier ;
5     Mettre à l'heure l'horloge de la simulation ;
6     Activer la procédure d'activation correspondante ;
7 end
```

FIGURE 4.2 – Procédure de simulation.

## 4.2.5 Les étapes de réalisation du simulateur

Les étapes décrivant la réalisation de notre simulateur sont illustrées par la figure ci-dessous :

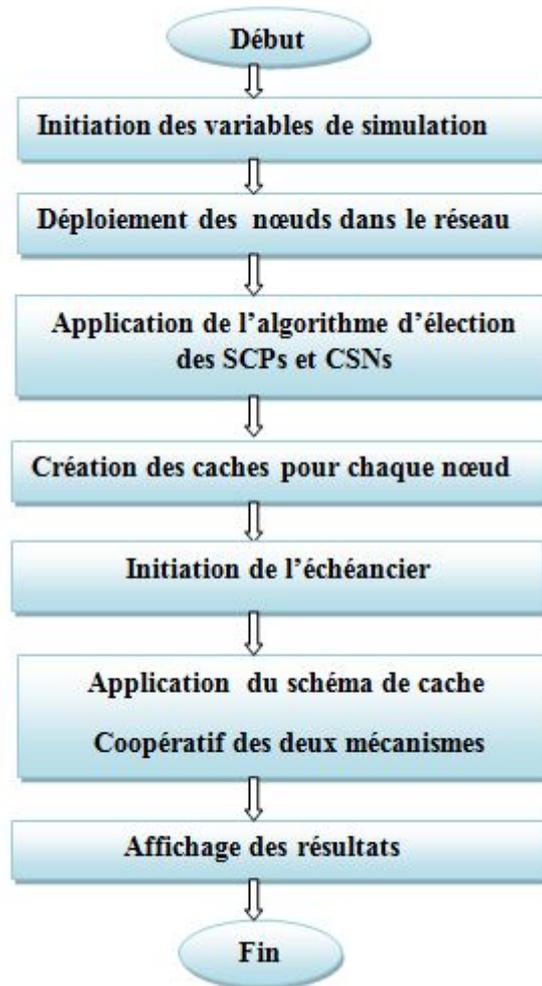


FIGURE 4.3 – Les principales fonctions du simulateur.

### 4.2.5.1 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,...) et leur initialisation, ainsi que la création des nœuds sous

forme d'une structure qui comporte (identité du nœud, leur coordonnées, leur caractéristique (SCP ou non) et leur cache) et leur dispersion aléatoire sur la zone du déploiement.

#### 4.2.5.2 Déploiement du réseau

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

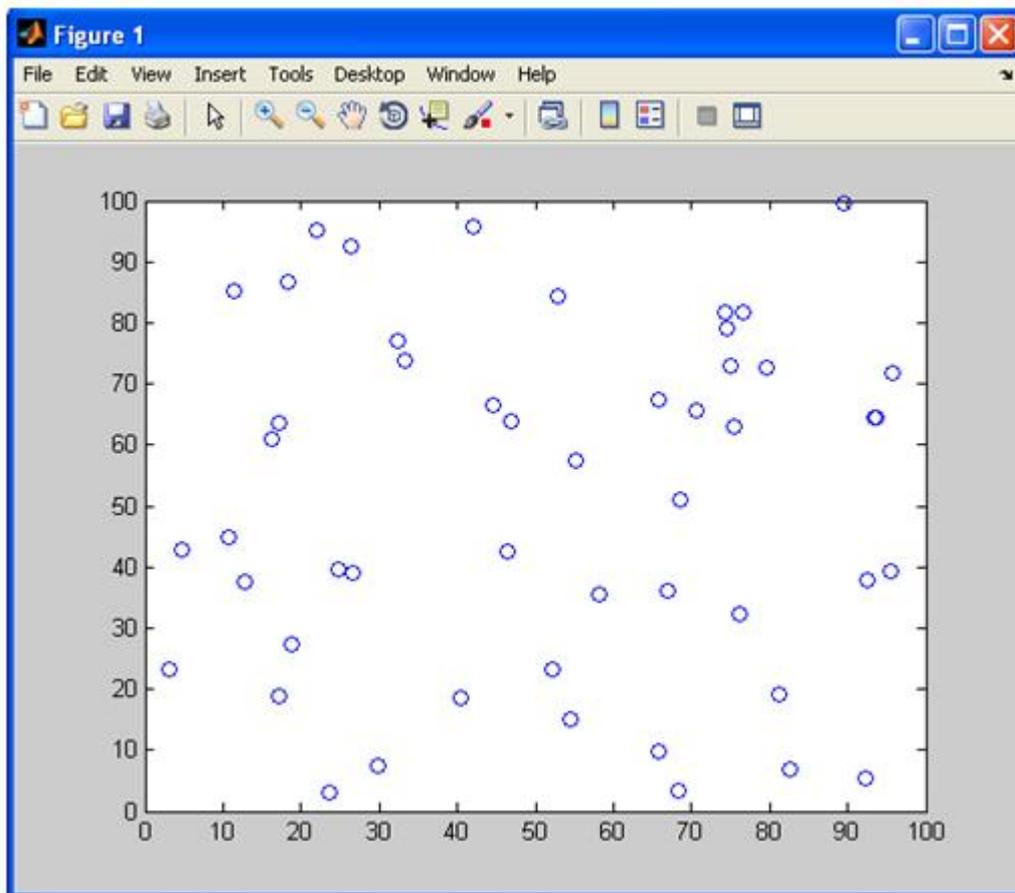


FIGURE 4.4 – Déploiement du réseau.

#### 4.2.5.3 Application de l'algorithme d'élection

Dans notre approche l'élection d'un SCP se base sur le calcul de reste de division  $(ID_i + N_{tours}) / (1/P_{fournisseurs})$  pour chaque nœud et ceux qui ont une valeur égale à zéro seront élus comme fournisseurs de service cache.

#### 4.2.5.4 Création des caches pour chaque nœud

Le cache de chaque nœud est représenté par un tableau qui contient l'identité de document, la taille de document et un TTL pour chaque document. Les caches des nœuds SCP et CSN possèdent des résumés (id des nœuds, id de document) des caches de leurs groupe (voisin).

Les tableaux ci-dessous montrent des exemples de cache d'un nœud SCP et un autre NONSCP

id du nœud	id des documents														
2	10	48	38	6	44	4	36	31	37	39	34	49	2	32	16
9	29	20	45	12	13	14	19	4	17	5	36	43	10	6	34
26	23	24	4	36	15	19	18	43	8	45	13	40	6	39	14
39	13	14	17	50	35	49	15	26	48	16	36	22	4	23	25

TABLE 4.3 – Exemple d'un cache d'un scp

id du document	taille du document	TTL du document
10	59.8947	3.3599
48	60.6815	7.4009
38	22.9529	2.0568
6	30.3709	3.8690
44	42.9925	5.5707
4	9.4661	3.3623
36	80.3004	1.2630
31	92.9566	7.5730
37	49.3723	6.2067
39	24.4911	5.1296
34	96.3458	5.9213
49	52.5924	3.0843
2	49.4009	6.6165
32	68.2344	4.5596

TABLE 4.4 – Exemple d'un cache d'un non scp

#### 4.2.5.5 Initiation de l'échéancier

Dans cette phase, un échéancier va être créé pour contenir tous les événements. L'arrivée des événements dans la file suivent une loi de poisson de paramètre  $\lambda$  ( $t_a = t_a - \log(\text{uniforme}())/\lambda$ ) et ils sont servis suivant une loi exponentielle de paramètre  $\mu$  ( $t_s = t_s - \log(\text{uniforme}())/\mu$ ).

id du nœud demandeur	19	50	8	42
id du document demandé	27	19	27	21
le temps d'arriver de la demande	0.6640	5.0104	5.7176	7.7051

TABLE 4.5 – Exemple d'échéancier

#### 4.2.5.6 Application du schéma de cache Coopératif

Le moteur central du simulateur est une procédure qui à chaque pas (itération) extrait de l'échéancier la notice d'événement situé à l'entête de celui-ci et provoque l'exécution de la procédure d'activation correspondante. Les mécanismes de coopération invoqués ont le but de chercher les documents dans le cache local, dans les caches d' SCPs ou du Cluster head et en cas d'échec dans la source. Ainsi l'horloge du système est avancée à l'heure d'activation de la notice extraite.

#### 4.2.5.7 Affichage des résultats

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

### 4.2.6 Les métriques d'évaluation de performances

La latence et le taux de succès sont les paramètres les plus importants lors de l'étude d'un mécanisme de coopération dans les réseaux ad hoc

- La latence : est le temps perçu un utilisateur.
- Le taux de succès : est le nombre de réponses reçus par le demandeur avec succès sur la totalité des demandes.

### 4.2.7 Résultats et interprétations

En se basant sur les paramètres d'évaluation cités précédemment, nous analysons les résultats de simulation obtenus qui représentent la latence et le taux de succès en fonction de nombres de demandes de documents pour les deux mécanismes de coopération, le mécanisme a base de cluster et notre mécanisme dans les figures ci-dessous :

La figure 4.5 montre une comparaison des résultats associés aux deux stratégies. Nous remarquons bien que la latence dans notre mécanisme est réduite par rapport à celle du mécanisme à base du cluster.

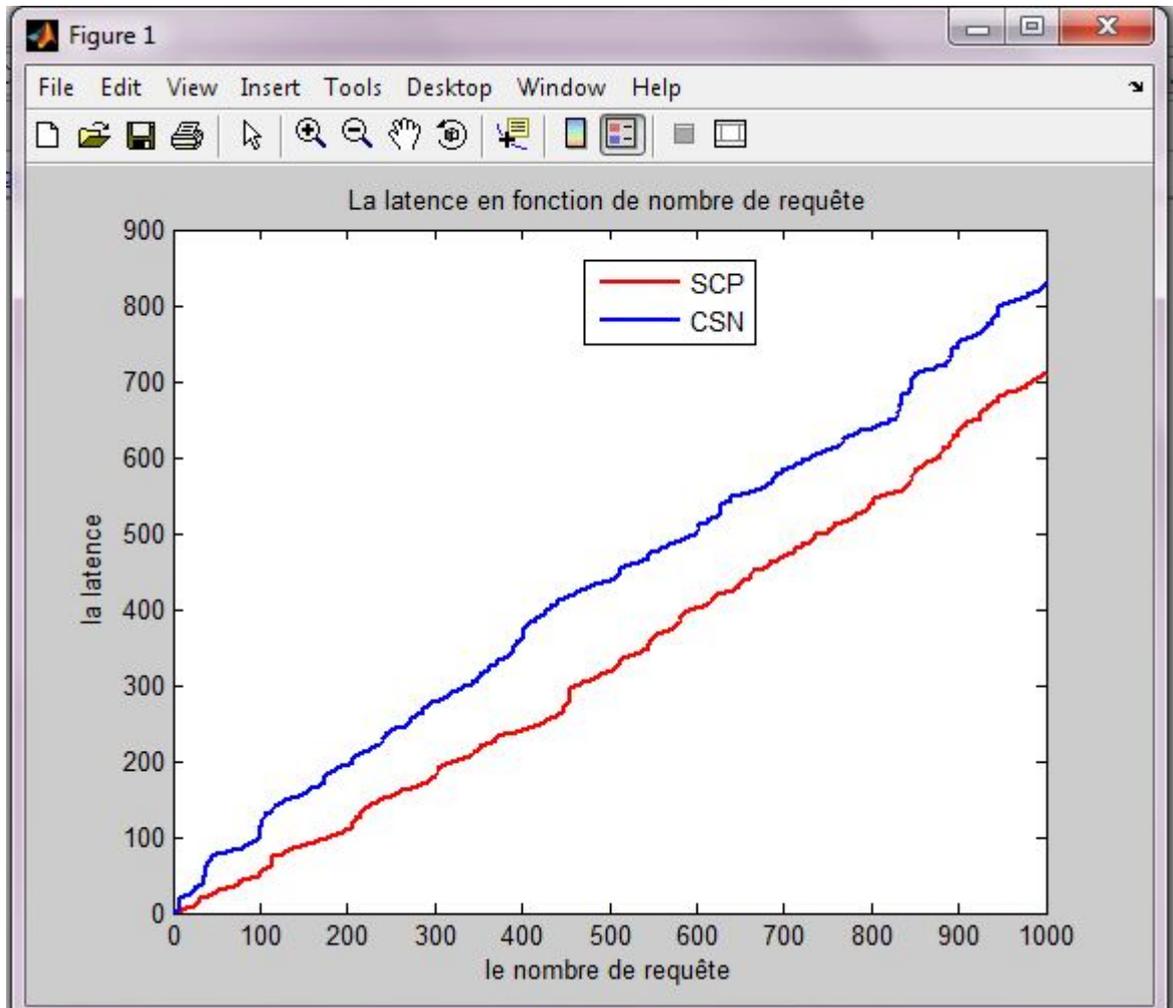


FIGURE 4.5 – La latence en fonction de nombres de requêtes.

Nous remarquons aussi dans la figure 4.6 que le taux de succès de notre mécanisme est plus élevé que celui à base de cluster.

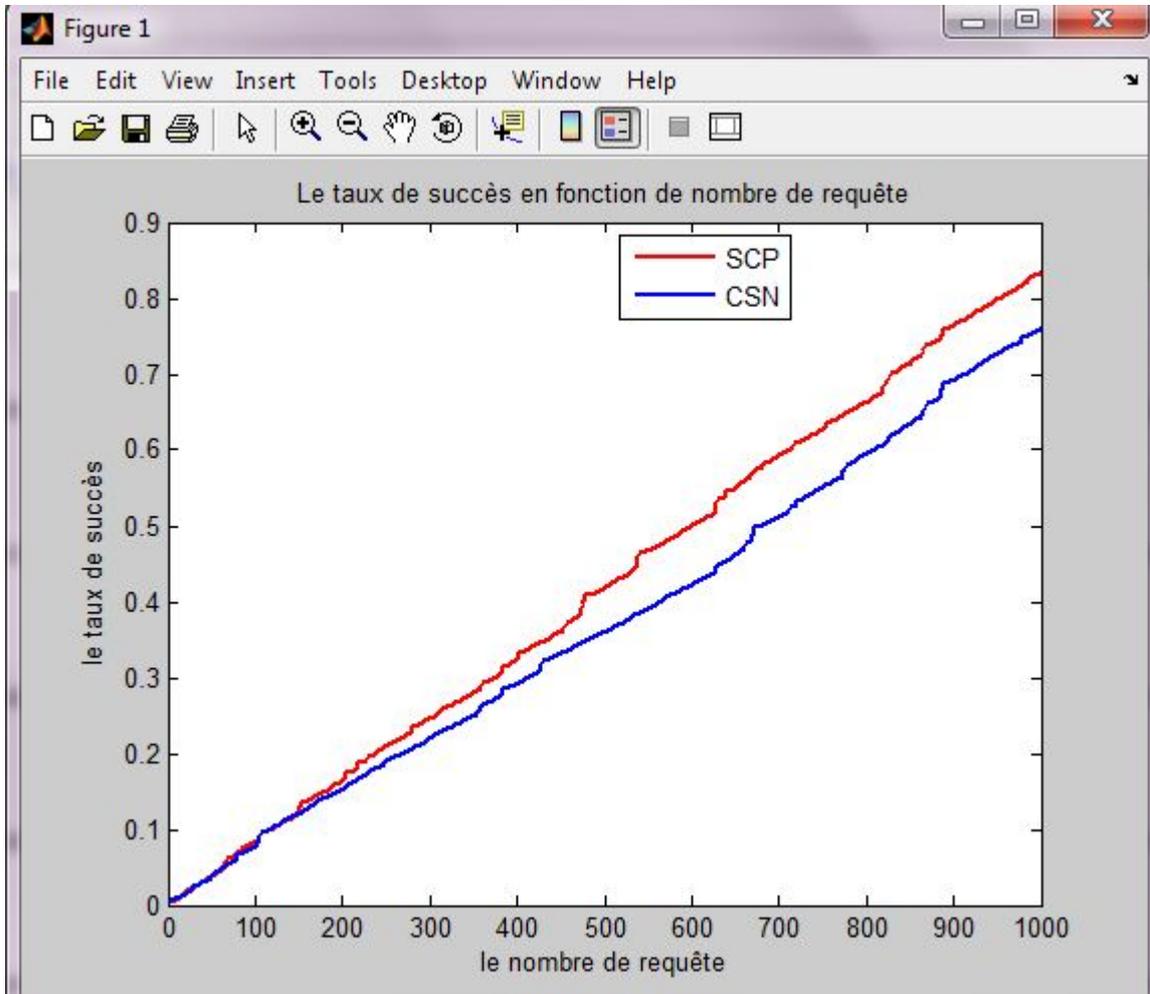


FIGURE 4.6 – Le taux de succès en fonction de nombres de requêtes.

Ces résultats dû au fait qu'un nœud demandeur dans notre mécanisme dans le cas d'un défaut de cache local, peut consulter plusieurs fournisseurs de service cache (au plus 3) pour chercher un document au lieu d'adresser directement la demande au serveur, alors qu'il le cherche dans un seul dans le mécanisme à base de cluster.

### **4.3 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons implémenté les deux mécanismes de coopération de cache des réseaux mobiles ad hoc en représentant les résultats obtenus. Après l'étude des performances de ces mécanismes, on peut conclure que le mécanisme de coopération à base de cluster est moins performant en terme de latence et taux de succès que celui proposé, et ce, par le fait que dans ce dernier chaque nœud peut contacter plusieurs fournisseurs de service cache (au plus 3), afin de récupérer le document demandé.

# *Conclusion Générale*

Aujourd'hui, les réseaux ad-hoc sont employés dans de nombreux contextes (réunions, services de secours, campagnes scientifiques sur le terrain, etc.). Les réseaux ad-hoc sont le plus souvent déployés sur des plateformes mobiles aux ressources limitées, que ce soit la batterie, la mémoire ou la puissance de calcul. Pourtant ces utilisations nécessitent surtout le partage des documents alors que les nœuds mobiles ne peuvent pas stocker tous les documents disponibles dans leur propre mémoire. Il faut donc trouver une solution pour que chaque nœud puisse accéder à toutes les données en les plaçant de façon adéquate sur le réseau.

Dans ce mémoire, nous avons présenté un état de l'art sur les réseaux sans fil, suivi d'une étude critique des différents mécanismes de coopération existants pour la gestion de l'information. Cette étude nous a permis de cerner notre propre vision sur le cache coopératif, qui permet à un nœud dans la situation d'un cache local miss, après une demande d'un document d'être en mesure d'atteindre ce document à partir de cache des autres nœuds et de proposer un mécanisme de coopération afin d'assurer un bon équilibrage de charge qui a pour but de réduire la latence perçue par l'utilisateur et d'augmenter le taux de succès (disponibilité des données).

Aussi, nous avons développé notre propre simulateur sous Matlab, implémentant deux mécanismes de coopération : le mécanisme de coopération à base des fournisseurs de service (notre proposition) et à base de cluster. Cette implémentation suivie d'une comparaison selon deux critères de performance qui sont la latence et le taux de succès. Les résultats de simulation obtenus nous ont permis de confirmer les principes de l'étude théorique.

Ce projet nous a permis d'enrichir nos connaissances dans différents domaines : Il nous a permis de nous familiariser avec le langage Matlab actuellement très sollicité par les informaticiens (beaucoup des simulateurs sont créés sous Matlab), de nous initier au domaine de recherche et aux nouvelles technologies sans fil en particulier les MANET.

Comme perspectives de notre travail, nous envisageons de prendre en considération une sémantique de recherche de document c'est-à-dire prendre en compte d'autres caractéristiques autres que l'identité du document.

Pour justifier encore l'efficacité de cette proposition en termes de performances, il sera intéressant de la comparer à d'autres mécanismes de coopération qui ont été proposés dans le cadre des environnements mobiles.

Autres perspectives, nous voulons implémenter notre proposition sous d'autres simulateurs comme NS2, OPNET, OMNET etc.

# Bibliographie

- [1 ] M. Frikha. Réseaux ad hoc routage, qualité de service et optimisation. Lavoisier. 2010.
- [2 ] S. Chettibi. Protocole de routage avec prise en compte de la consommation d'énergie pour les réseaux ad hoc. Mémoire de magistère université montouri Constantine. 2008.
- [3 ] M. Achir. Technologie basse consommation pour les réseaux ad hoc. Thèse de doctorat institut national polytechnique de Grenoble. 2005.
- [4 ] D. Duchamp, N.F. Reynolds. Mesure performance of wireless lan. United States. 1992.
- [5 ] S. Yahiaoui. Topologies Dynamiques pour la Découverte de Services dans les Réseaux Ad hoc Peer-to-Peer. Mémoire de Magistère. 2005.
- [6 ] K. Hpagha. Réseaux sans fil et mobiles. Hermès science publications. 2004.
- [7 ] A. Laouiti. Unicast et Multicast dans les réseaux ad hoc. Thèse de doctorat. 2002.
- [8 ] M. Badet, W. Bonneau. Mise en place d'une plateforme de test et d'expérimentation. Technologie de l'Internet. 2006.
- [9 ] B.Garguet-Duport. Les réseaux sans fil (WI-FI). Directeur informatique et télécoms de la communauté d'agglomération du pays Voironnais. 2004.
- [10 ] M. Lorrillere, J. Sopena, S. Monnet et P. Sens. Vers un cache réparti adapté au cloud computing. Université Pierre et Marie Curie. Janvier 2013.
- [11 ] O. Lobry. Support mémoire adaptable pour serveurs de données répartis. PhD thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, Octobre 2000.
- [12 ] L. D'orazio. Caches adaptables et applications aux systèmes de gestion de données répartis à grande échelle. Institut National Polytechnique de Grenoble. décembre 2007.
- [13 ] L.Khenous. Le Clustering dans les réseaux mobiles ad hoc. Mémoire de magistère. Université de Bejaïa. 2005.

- [14 ] A.Mursalin, T.I .Mohammad, Xuemin (Sherman) Shen\*, Ajit Singh. A bandwidth and effective hit optimal cache scheme for wireless data access networks with client injected updates. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1.2012.
- [15 ] N. Chand, R. C. JOSHI and M.MANOJ, Cooperative Caching Strategy in Mobile Ad Hoc Networks Based on Clusters. Department of Electronics and Computer Engineering, Indian Institute of Technology, Roorkee, India. 2006.
- [16 ] M. F. Arlitt, L .Cherkasova, J.Dilley, R, J. Friedrich, and T. Y. Jin, Evaluating content management techniques for Web proxy caches. ACM SIGMETRICS Perform.Eva.Rev.27, 4(Mar.)2000.
- [17 ] J. Chuang and Sirbu, M. Adding quality of service to network storage. In Proceedings of Workshop on Internet Service Quality Economics. 1999.
- [18 ] L. Yin, G. Cao, Supporting cooperative caching in ad hoc networks, IEEE Transactions on Mobile Computing 5 (1) 2006.
- [19 ] G. Radhamani and S. Umamaheswari. Comparison of Cooperative Caching Strategies in Mobile Ad-Hoc Network (MANET). School of Information Technology and Science, Dr. G.R. Damodaran College of Science, Coimbatore, India. 2010.
- [20 ] N. Chand, R. C. Joshi, M. Misra, Cooperative Caching in Mobile Ad Hoc Networks Based on Data Utility. International Journal of Mobile Information Systems 3(1), 19-37 (2007).
- [21 ] Y. -W. Ting, Y. -K. Chang, A Novel Cooperative Caching Scheme for Wireless Ad Hoc Networks : GroupCaching. In : International Conference on Networking, Architecture, and Storage (NAS 2007). IEEE, Los Alamitos (2007).
- [22 ] Y. Du, S.K.S. Gupta, COOP-A cooperative caching service in MANETs. In : International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services (ICAS/ICNS 2005). IEEE, Los Alamitos (2005).

- [23 ] H. Artail, H. Safa, K. Mershad, Z. Abou-Atme, N. Sulieman : COACS : A Cooperative and Adaptive Caching System for MANETs. IEEE Transactions on Mobile Computing 7(8) (August 2008a).
- [24 ] P. Michiardi, Coopération dans les réseaux ad hoc : Application de la théorie des jeux et de l'évolution dans le cadre d'observabilité imparfaite. Institut Eurecom France. 2004
- [25 ] F. Nait Abdesslam. Towards Routing-aware Adaptive Medium Access Control in Wireless ad hoc. International Journal Of Wireless And Mobile Communications, March 2004.
- [26 ] F. Nait-Abdesslam and H. Koubaa. RAMAC : Routing-aware Adaptive MAC in IEEE 802.11 Wireless ad hoc Network. In 8th International Conference on Cellular and Intelligent Communications Seoul, Korea. 2003.
- [27 ] F. Nait- Abdesslam and H. Koubaa. Enhanced Routing-aware Adaptive MAC with Traffic Differentiation and Smoothed Contention Window in Wireless Ad Hoc Networks. Proceeding of the 24th Conference on Distributed Computing Systems Workshop IEEE. 2004.

## Résumé

La mise en cache des données fréquemment consultées dans un réseau ad hoc est une technique qui permet d'améliorer de manière significative la disponibilité et l'accessibilité des données. La performance d'une telle technique est étroitement liée aux mécanismes de gestion qui lui sont associés, en particulier la politique de remplacement de cache utilisée, cette dernière peut être également améliorée si sa gestion est coopérative. Ce travail porte sur l'étude des mécanismes de coopération des caches dans les réseaux ad hoc, et la proposition d'un schéma de coopération à base de fournisseur de service cache.

Pour évaluer les performances de notre proposition, nous l'avons implémenté sous un simulateur que nous avons développé sous Matlab. Après avoir effectué des tests et des comparaisons par rapport au mécanisme de coopération à base de cluster suivant différents scénarios, nous avons prouvé que notre approche réduit la latence et augmente le taux de succès des requêtes.

**Mots-clés** : Les réseaux ad hoc, gestion coopérative, location des ressources, gestion des caches, simulation, Matlab.

## Abstract

Caching frequently accessed data in ad hoc network is a technique that can significantly improve the availability and accessibility of data. The performance of such a technique is closely linked to management mechanisms associated with it, especially the used cache replacement policy, it can also be improved if its management is cooperative. This work focuses on the study of caches cooperation mechanisms in ad hoc networks, and we proposed a cooperation scheme based service cache provider.

To evaluate the performance of our proposal, we have implemented in a simulator that we developed in Matlab. After conducting tests and comparisons with cooperation mechanism based on cluster according to different scenarios, we proved that our approach reduces the latency and increases the request hit rate.

**Keywords** : Ad hoc networks, cooperative management, rental resources, cache management, simulation, Matlab.