

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA- BEJAIA

Faculté des Sciences Exactes

Département d'Informatique



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER Professionnel
En Informatique

Option :

Sécurité et Administration des Réseaux

Thème

Optimisation de la Route dans la mobilité des réseaux

Présenter par :

M^r MAAMIR Mohamed

Soutenu le : 02/06/2013

Devant le jury composé de :

Président : M^r MOUMEN Hamouma
Encadreur : D^r BAADACHE Abderrahmane
Examineurs : M^r DEMOUCHE Mouloud

Année universitaire 2012/2013

Dédicaces

A mon père

Pour m'avoir poussé jusqu'au bout

A ma mère

Pour m'avoir toujours été un confort moral

*Que dieu leur préserve bonne santé et leur procure
longue vie*

A mon frère Abdelatif & ma sœur Fátimá

Pour m'avoir rendu la vie agréable

*En leur souhaitant la réussite dans leurs études et
leurs vies*

A toute ma famille

*A tous ceux qui ont cru en moi et tous ceux qui
m'ont soutenu dans les durs moments surtout*

Briz, Naoual, Soraya

*Je dédie le couronnement de mes années
d'études*

Moumou

Table des Matières

Dédicaces	2
Table des Matières	3
Figures	6
Tableaux	8
Abréviations et Acronymes	9
Introduction	11
Chapitre 1. Réseaux Véhiculaires: Caractéristiques et Architectures	14
1. Introduction	14
2. Caractéristiques et applications	14
3. Architectures de communication	16
3.1. Les réseaux véhiculaires à infrastructure	16
3.2. Les réseaux véhiculaires ad-hoc	18
3.3. Les réseaux véhiculaires ad-hoc hybrides.....	24
4. Conclusion	34
Chapitre 2. NETwork MObility.....	36
1. Introduction	36
2. Terminologie :	37
3. Les Usages	38
4. De Mobile IP à NEMO	38
5. Le groupe de travail NEMO de l'IETF	39
6. Architecture NEMO :	39
7. NEMO BSP (support de base).....	40
8. Limitations de NEMO BSP :	42

a)	Route sous-optimale:.....	42
b)	Délai des transferts:.....	43
Chapitre 3.	Optimisation de la route RO dans la mobilité des réseaux.....	44
1.	Introduction :	44
2.	Les défis de RO :	44
3.	Les enjeux de RO	45
a.	Signalisation:.....	45
b.	Besoins en Mémoire:	45
c.	Degré de RO:	45
d.	Header overheads :.....	46
e.	RO Intra:	46
f.	Déployabilité:	46
g.	Gestion des localisations:.....	46
h.	La transparence de localisation:.....	46
4.	Les régimes de RO :	47
4.1.	Délégation:.....	48
a)	Délégation Préfixe simple:.....	48
b)	Découverte de voisinage proxy (ND-Proxy):	49
c)	Le routage optimal pour la mobilité du réseau (Optinet):.....	49
d)	Optimisation itinéraire mobile IPv6 pour NEMO (MIRON):	50
e)	Ad hoc-basique:	51
f)	Inscription du chemin optimal (OPR):.....	51
g)	HIP-basique:	52
4.2.	Hiérarchique:.....	52
a)	NEMO Optimisée (ONEMO):.....	54
b)	Optimisation de Route en utilisant l'option arbre de l'information (ROTIO):	54
c)	RO pour réseau mobile imbriqué dans le domaine de mobilité locale au moyen d'ancrages locaux de la mobilité (LRO):	54

d) Protocole NEMO basé sur la localisation indépendante dans le réseau IPv6 (χ LIN6-NEMO):.....	55
e) Le routage hiérarchique dans les réseaux mobile (HMNR):.....	56
f) Optimisation de Route à l'aide d'additionnelle information sur la destination (ROAD):.....	56
g) Support de la mobilité hiérarchique pour l'optimisation de la Route (HMSRO):.....	57
h) Light-NEMO:.....	57
i) Optimisation en utilisant l'option du préfixe de l'information (RO-PIO):.....	57
j) Liaison hiérarchique dans les réseaux mobiles (HMNB):	58
k) HIP-basique:	58
l) HMIP-basique:.....	58
m) Optimisation d'itinéraire mobile routeur-assistée pour NEMO (MoRaRo):.....	59
4.3. Source de routage:.....	60
a) Optimisation itinéraire simple (S-RO):.....	61
b) χ MIPv6:.....	61
c) Chemin de contrôle d'en tête (PCH)-basique:	61
d) Protocol session d'initiation (SIP)-basique sur:.....	61
4.4. BGP-assistée:	62
a) IP cellulaire universelle pour la mobilité du réseau imbriqué (CIUP-NEMO):	63
b) IP large surface dans mobilité réseau (WINMO):	64
c) RO par multiples P2P connectés HA-basique:	64
4.5. Divers:.....	65
a) Un cache Route optimisée (ORC)-basique:.....	65
b) Récursive BU (RBU)-basique:.....	66
c) AODV-basique:	66
5. Orientation des futures recherches.....	67
CONCLUSION	69
Références	71

Figures

Chapitre 1.

Figure 1: Réseau véhiculaire avec GPRS	7
Figure 2: Réseau véhiculaire avec FlyBox	8
Figure 3: Exemple de VANET [KOSCH05]	9
Figure 4: Communication Véhicule-à-Infrastructure (VàI)	10
Figure 5: Communication Véhicule-à-Véhicule (VàV)	11
Figure 6: Communication multi-sauts inter-véhicules	12
Figure 7: Trajectoires des véhicules dans une ville	13
Figure 8: Les éléments constituant le véhicule intelligent	15
Figure 9: Réseau hybride MCN	18
Figure 10: Réseau hybride ICAR	19
Figure 11: Réseau hybride SOPRANO	19
Figure 12: Réseau hybride HNA	20
Figure 13: Architecture ad-hoc hybride C2C-CC [C2C-CC07]	21
Figure 14: Architecture ad-hoc hybride FLEETNET [FESTAG04]	22
Figure 15: Réseau véhiculaire BAS	23
Figure 16: Classification des architectures de réseaux ad-hoc hybrides	25

Chapitre 2.

Figure 1: Terminologie pour les réseaux mobiles	28
Figure 2: Architecture de NEMO montrant un niveau d'imbrication	30
Figure 3: Support de base de NEMO	32
Figure 4: Multiples tunnel dans le réseau mobile imbriqué	33

Chapitre 3.

Figure 1: Approche de Délégation pour l'optimisation des itinéraires	38
Figure 2: Approche hiérarchique pour optimiser les routes	44

Figure 3: Approche source de routage

51

Figure 4: Approche BGP-assistée

54

Tableaux

Chapitre 3.

Tableau I: Comparaison entre les classes	41
Tableau II: Comparaison entre les régimes dans la classe Délégation	41
Tableau III: Une comparaison des régimes dans la classe Hiérarchique	46
Tableau IV: Comparaison des régimes de RO dans la classe source de routage	53
Tableau V: Comparaison des régimes dans la classe BGP-assisté	56
Tableau VI: Une comparaison des régimes de RO n'appartenant pas à une classe particulière	58

Abréviations et Acronymes

AODV	Ad hoc On-Demand Vector
AR	Access Router
BA	Binding Acknowledgement
BGP	Border Gateway Protocol
BSP	Basic Support Protocol
BU	Binding Update
CN	Corresponding Node
CoA	Care-of-Address
COR	Cross-Over Router
CUIP	Cellular Universal IP
CUIP- NEMO	Cellular Universal IP for nested network mobility
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
HA	Home Agent
HIP	Host Identification Protocol
HMIP	Hierarchical Mobile Internet Protocol
HMIPv6	Hierarchical Mobile IPv6
HMNB	Hierarchical Mobile Network Binding
HMNR	Hierarchical Mobile Network Routing
HMSRO	Hierarchical Mobility Support for Route Optimization
HoA	Home Address
IETF	The Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
LCoA	Local CoA
LFN	Local Fixed Node
LMA	Local Mobility Anchor
LMN	Local Mobile Node
LRO	RO for nested mobile network in local mobility domain using local mobility anchors
MA	Mobility Agent
MANET	Mobile Ad Hoc Networks
MCN	Mobility Capable Nodes
MIP	Mobile IPv4
MIPv6	Mobile IPv6
MIRON	Mobile IPv6 Route Optimization for NEMO
MNN	Mobile Network Node
MNP	Mobile Network Prefix
MoRaRo	Mobile router-assisted route optimization for NEMO
MR	Mobile Router
mRSV	Mobile Rendezvous Servers

ND-Proxy	Neighbor Discovery proxy
NEMO	NETwork MObility
NEMO BSP	NEMO Basic Support Protocol
ONEMO	Optimized NEMO
OPR	Optimal Path Registration
Optimet	Optimal routing for network Mobility
ORC	Optimised Route Cache
P2P	Peer to Peer
PAN	Personal Area Network
PANA	Protocol for Carrying Authentication for Network Access
PDA	Personal Digital Assistant
QoS	Quality of Service
RA	Router Advertisement
RBU	Recursive BU
RCoA	Regional CoA
RIPng	Routing Information Protocol next generation
RO	Route Optimization
ROAD	Route Optimization using Additional Destination
ROPIO	Optimization using Prefix Information Option
ROTIO	Route Optimization using Tree Information Option
SIP	Session Initiation Protocol
S-RO	Simple Route Optimization
TLMR	Top Level MR
VMN	Visiting Mobile Node
WINMO	Wide-Area IP Network Mobility
χLING	NEMO protocol based on Location Independent Networking in IPv6
χOptinet	extended Optinet

Introduction

Les réseaux ont connu dans les 3 dernières décennies un essor fulgurant marqué en particulier par la généralisation des communications sans fil. Le succès de ces communications, porté dans un premier temps par la transmission séparée de la voix et des données, puis dans un second temps par toute la panoplie des applications multimédias, a été tel qu'en l'espace d'à peine une décennie, le nombre de terminaux sans fil dans le monde a plus que supplanté le nombre de terminaux fixes.

Du point de vue des origines technologiques, les réseaux sans fil peuvent être répertoriés suivant 2 grandes familles, à savoir, les réseaux issus du monde des télécommunications (GSM, GPRS, UMTS, etc.) et ceux issus du monde de l'informatique (Bluetooth, Wi-Fi, WIMAX, etc.). Face à l'imbrication et à la convergence de ces 2 mondes, il est aujourd'hui plus pertinent d'établir une classification de ces réseaux suivant des critères structurants beaucoup plus transversaux. Ainsi, si on considère la structure opérationnelle des réseaux sans fil comme seul facteur différenciant, alors on retrouve une classification dominée par 3 grandes familles d'architectures que sont: les architectures de réseaux à infrastructure dans lesquelles les terminaux communiquent obligatoirement par l'intermédiaire d'un nœud fixe relié au réseau filaire, les architectures de réseaux ad-hoc dans lesquelles les terminaux communiquent directement entre eux ou indirectement par l'intermédiaire d'autres terminaux, et les architectures hybrides ou ad-hoc hybrides qui sont la résultante de la combinaison des 2 premières familles d'architectures.

La connectivité sans fil a donné lieu à la demande d'une connectivité omniprésente à la fois des appareils statique et mobile IP-compatibles. Dans l'avenir, il peut être commun à plusieurs appareils qui sont connectés à un réseau local de se déplacer ensemble. Les exemples incluent des dispositifs reliés à bord des véhicules connectés à Internet LAN, une personne exploitant plusieurs appareils qui sont connectés à un réseau personnel (PAN), etc.

L'internet existant n'est pas conçu pour gérer la mobilité en raison de l'emplacement IP schéma d'adressage où les adresses IP sont liées à des zones géographiques. Un hôte se déplaçant entre les réseaux dans différentes zones géographiques a besoin d'obtenir une nouvelle adresse IP, et donc, la communication peut devenir incompétente, alors le maintien de l'accessibilité et la continuité de la session. Pour surmonter l'inefficacité d'adressage IP actuel, la puissance de la tâche internet (IETF) a conçu des solutions telles que le Mobile IP (MIP) et MIPv6 pour soutenir la mobilité d'un hôte.

La gestion de mobilité d'un certain nombre de dispositifs dans un réseau local mobile ou PAN utilisant des protocoles de mobilité d'accueil pour chaque dispositif de signalisation augmente le surcoût lors du transfert de la consommation d'énergie, et gérance. En outre, tous les hôtes du réseau

mobile ne peuvent être assez sophistiqués pour supporter des protocoles de mobilité ou qui ont des émetteurs-récepteurs puissants pour communiquer avec les points d'accès différents. IETF a développé un réseau de mobilité (NEMO), où un ou plusieurs routeurs, appelés routeurs mobiles, gère (ent) la mobilité de tous les hôtes d'un réseau. NEMO soutient le réseau mobile imbriqué, où un réseau mobile est connecté sous un autre réseau mobile. Plusieurs niveaux d'imbrication se produisent quand un certain nombre de réseaux mobiles sont connectés dans une hiérarchie.

IETF étendu MIPv6 pour concevoir NEMO Basic Support Protocole (NEMO BSP) pour gérer la mobilité du réseau, où les hôtes d'un réseau de téléphonie mobile sont accessibles via un agent d'accueil. Les paquets vers et depuis le réseau mobile se déplacent par l'intermédiaire d'un tunnel bidirectionnel entre un agent d'accueil et un routeur mobile. Acheminer des paquets par l'agent d'accueil résulte des problèmes de voie inefficace et les header overheads accrus due à l'encapsulation. Le problème s'intensifie avec plusieurs niveaux d'imbrication donnant lieu à l'encapsulation des paquets multiples qui se déplacent par des agents d'accueil multiples. Les itinéraires inefficaces également entraînent des latences de transfert intercellulaire grandes.

La voie inefficace augmente de bout-en-bout le retard, ce qui entraîne une dégradation des performances de transferts de données en temps réel et la reconnaissance basée sur le transfert de données. Le problème augmente encore avec l'augmentation du niveau d'imbrication. Les header overhead se résultent par l'inefficacité de la bande passante et augmente la possibilité de la fragmentation. Par conséquent, la plupart des efforts de recherche sur NEMO se concentrent sur l'optimisation de Routage (RO), c'est à dire résoudre le problème de la voie inefficace et les header overheads. Notre objectif dans ce mémoire est d'étudier l'état de l'art en RO au cours des cinq dernières années.

Le principe de base de RO est de permettre aux paquets d'atteindre directement le réseau mobile en évitant de multiples tunnels par des agents d'accueil. RO, cependant, il exige de relever les défis suivants:

- Comment les paquets peuvent atteindre le réseau étranger auquel le réseau de téléphonie mobile est connecté?
- Comment les paquets peuvent être acheminés à l'intérieur du réseau mobile?

En dehors de ces deux défis, il y a un autre défi celui de savoir comment acheminer des paquets entre deux hôtes à l'intérieur d'un réseau mobile sans avoir à traverser l'agent d'accueil. Plusieurs régimes de RO répondant aux trois défis ci-dessus ont été proposés dans la littérature.

Dans ce mémoire, notre objectif est de fournir un sommaire détaillé des régimes de RO, de les classer et de les comparer. Nous fournissons également des comparaisons qualitatives entre les régimes dans chaque classe.

Notre contribution consiste à identifier les stratégies adoptées par les régimes de RO, suivi par la classification des régimes fondés sur les stratégies. Notre classification permet une comparaison du régime aussi bien hiérarchique qu'individuelle. Nous avons également révélé le degré de RO, le déploiement et le type de RO pris en charge par chaque classe en général. La comparaison montre les différences entre les régimes en termes de questions, telles qu'un header supplémentaire, la signalisation et les besoins en mémoire. Cette comparaison implique la nécessité d'une évaluation de la performance des systèmes de pertinence dans des conditions telles que la disponibilité de la bande passante, des contraintes de ressources (telles que les contraintes de mémoire), et les schémas de mobilité. Les recherches futures sur l'RO peuvent utiliser les résultats dans la présente contribution en construisant et en étant plus concentré en utilisant la comparaison présentée dans ce mémoire.

Chapitre 1. Réseaux Véhiculaires: Caractéristiques et Architectures

1. Introduction

Dans le processus de généralisation des communications sans fil, les communications véhiculaires dont résultent les réseaux éponymes, émergent et s'imposent peu à peu au rang des nouvelles applications de réseaux sans fil les plus prometteuses. Ces réseaux, sans déroger aux caractéristiques générales et aux différentes classifications des réseaux sans fil, ouvrent ces derniers sur un écosystème entier de nouveaux services. Dans cette perspective, il est attendu que les réseaux véhiculaires soient déployés dans des configurations ou combinaisons de configurations mêlant réseaux à infrastructure, réseaux ad-hoc et réseaux hybrides.

Dans ce chapitre nous présenterons, avec des exemples et références associés, les caractéristiques, les applications et les principales architectures de communication des réseaux véhiculaires.

Pour ce qui est de la structure du reste de ce chapitre, nous commencerons dans la section 2 par présenter les caractéristiques générales et quelques exemples d'applications des réseaux véhiculaires. Dans la section 3, nous aborderons les architectures de ces réseaux et les applications associées. La section 4 quant à elle conclura le chapitre.

2. Caractéristiques et applications

Les réseaux véhiculaires se distinguent des réseaux sans fil traditionnels par un certain nombre de caractéristiques spécifiques dont on peut citer:

- Le potentiel énergétique: À la différence des réseaux sans fil traditionnels où la contrainte d'énergie représente un facteur limitant important, les entités des réseaux véhiculaires disposent de grandes capacités énergétiques qu'elles tirent du système d'alimentation des véhicules. Même en cas d'arrêt du moteur et donc d'arrêt du système d'alimentation, il est toujours possible pour une plateforme embarquée de recourir à l'important dispositif de batteries dont seul un véhicule du fait de sa taille, peut disposer. Les plateformes embarquées dans les véhicules étant pleinement alimentées, elles peuvent, tout aussi pleinement, tirer parti de capacités de calcul plus massives et de multiples interfaces de communication.

- L'environnement de communication et le modèle de mobilité: Alors que les environnements de communications dans les réseaux sans fil traditionnels se résument généralement à des espaces complètement ouverts et sans obstacles ou à des espaces clos en intérieur, les réseaux véhiculaires imposent la prise en compte d'une plus grande diversité environnementale. Du fait de la mobilité des véhicules, il est en effet possible de passer d'un environnement urbain caractérisé par de nombreux obstacles à la propagation des signaux, à un environnement périurbain ou autoroutier présentant des caractéristiques différentes. Il est également nécessaire de prévoir dans les réseaux véhiculaires une volatilité des conditions climatiques et des contraintes topologiques. En plus de cette diversité environnementale, les réseaux véhiculaires se distinguent également des réseaux sans fil ordinaires par un modèle de mobilité dont une des traductions les plus évidentes est l'importante vitesse des nœuds qui réduit considérablement les durées de temps pendant lesquelles les nœuds peuvent communiquer. Ces conditions sont de nature à poser pour les réseaux véhiculaires d'importants problèmes de connectivité couplés à une aggravation de l'instabilité de la propagation radio (ex: multi-path fading, shadowing, path loss, etc.) [OISHI06],
- Le modèle de communication: Les réseaux véhiculaires ont été imaginés principalement pour les applications liées à la sécurité routière (ex: diffusion de messages d'alerte). Dans ce type d'application, les communications se font presque exclusivement par relayages successifs d'une source vers une multiplicité de destinataires. Le modèle de transmission en Broadcast ou en Multicast est donc appelé à dominer largement dans les réseaux véhiculaires, ce qui n'est par exemple pas sans conséquence sur la charge du réseau et le modèle de sécurité à mettre en œuvre.
- La taille du réseau: Etant donné les avancées importantes réalisées dans le domaine des communications sans fil et les bas coûts des équipements associés, les véhicules qui intègrent déjà massivement des systèmes GPS et des équipements Bluetooth, seront très probablement équipés et ce, tout aussi massivement, de plateformes de communication leur permettant de constituer de véritables réseaux. Ce faisant, et compte tenu de l'importance sans cesse grandissante de la densité et du parc des véhicules, on peut s'attendre à ce que la taille des réseaux véhiculaires dont les déploiements restent encore très confidentiels, soit d'une tout autre ampleur. L'importance potentielle de la taille des réseaux véhiculaires constitue donc une caractéristique majeure à prendre en compte dans la conception de ces réseaux.

Au-delà des caractéristiques générales introduites ci-dessus, les réseaux véhiculaires se distinguent également par la variété des applications ou des services appelés à y être opérés. Ces services vont de ceux liés à la sécurité routière (ex: diffusion des messages d'alerte: alerte collision,

alerte travaux, alerte accident, etc.) et permettant de bâtir un système de transport intelligent (en anglais, Intelligent Transportation System "ITS"), à ceux visant le confort, la performance ou le divertissement (ex: péage électronique, gestion de flotte, accès Internet, jeux en ligne, etc.). Ces différents services étant généralement liés aux architectures des réseaux véhiculaires, ils seront déclinés plus spécifiquement dans la section 3 qui traite de ces architectures.

3. Architectures de communication

3.1. Les réseaux véhiculaires à infrastructure

Les réseaux véhiculaires dont les déploiements sont les plus actifs se traduisent dans des architectures de réseaux à infrastructure. Il s'agit dans la plupart des cas d'une réutilisation des technologies des réseaux mobiles de télécommunications dans l'implémentation de certaines applications ou certains services spécifiques aux réseaux véhiculaires. Ainsi par exemple, les architectures présentées par [VINAY07] et [MAHFO08] et dont la Figure 1 donne une illustration, permettent de développer, via le réseau GPRS (General Packet Radio Service), des applications de surveillance de l'état des véhicules, de diagnostic à distance des pannes, d'émission automatique des appels d'urgence, de localisation des véhicules, de gestion de flotte de véhicules d'entreprise, etc.

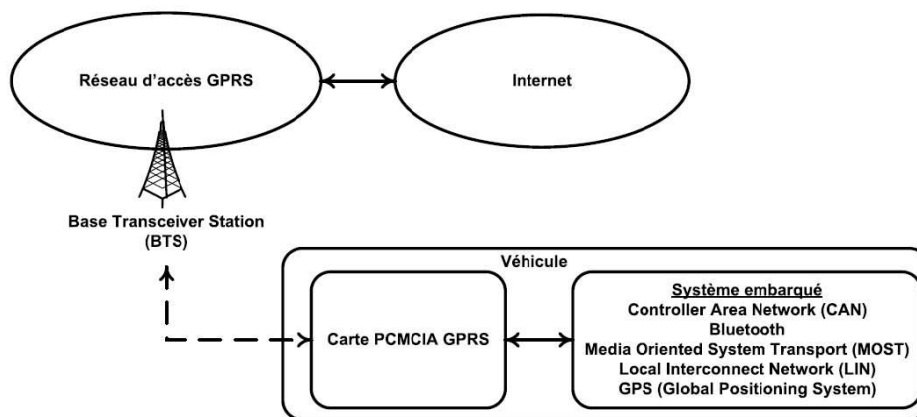


Figure 1: Réseau véhiculaire avec GPRS

Pour des applications telles que l'accès au courrier électronique, l'écoute de la musique en ligne, les jeux en réseau et plus généralement l'accès Internet, des opérateurs en partenariat avec des constructeurs automobiles ont mis en place des solutions permettant leur exploitation via le réseau mobile 3G (ex: UMTS) ou 3G+ (ex: HSPA). L'opérateur Orange par exemple, a conçu une

passerelle miniaturisée appelée FlyBox fournissant une connectivité 3G/3G+ et permettant de créer un réseau Wi-Fi à l'intérieur des véhicules (voir Figure 2). Plus concrètement, la Flybox est un modem routeur avec module téléphonique intégré qui se connecte au réseau mobile grâce à une carte SIM (Subscriber Identity Module) incluse. Elle permet de sélectionner le meilleur réseau disponible (ex: EDGE, 3G, 3G+) pour atteindre des débits jusqu'à 7 Mbits/s. La Flybox permet ainsi aux passagers d'accéder, en Wi-Fi, à l'internet haut débit en situation de mobilité et de connecter jusqu'à 4 terminaux simultanément en Wi-Fi ou par ports Ethernet. De fait, n'importe quel terminal Wi-Fi (SmartPhone, PC portable, PDA, etc.) ou Ethernet dans le véhicule peut profiter de l'accès à Internet.

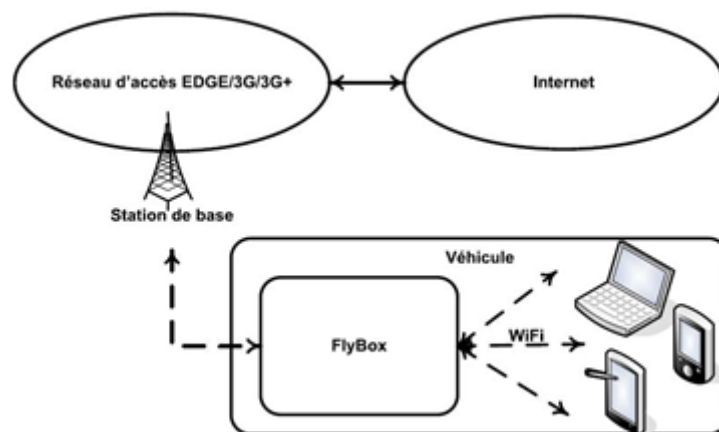


Figure 2: Réseau véhiculaire avec FlyBox

De nombreux autres projets développant des réseaux véhiculaires à infrastructure ont vu le jour en Europe ces dernières années. Le projet DRiVE (Dynamic Radio for IP Services in Vehicular Environments) [DRIVE] par exemple s'est attaché à promouvoir la convergence entre différentes technologies (GSM, UMTS, DAB et DVB-T) afin de jeter les bases du développement de services IP innovants à destination des véhicules. Le projet GST (Global Systems for Telematics) [GST] dont l'opérateur Orange fut un des acteurs, s'est intéressé dans le cadre du développement des applications liées à la sécurité routière sur le réseau GSM, à des problématiques de sécurisation de l'infrastructure réseau et service, de sûreté de fonctionnement et de facturation.

3.2. Les réseaux véhiculaires ad-hoc

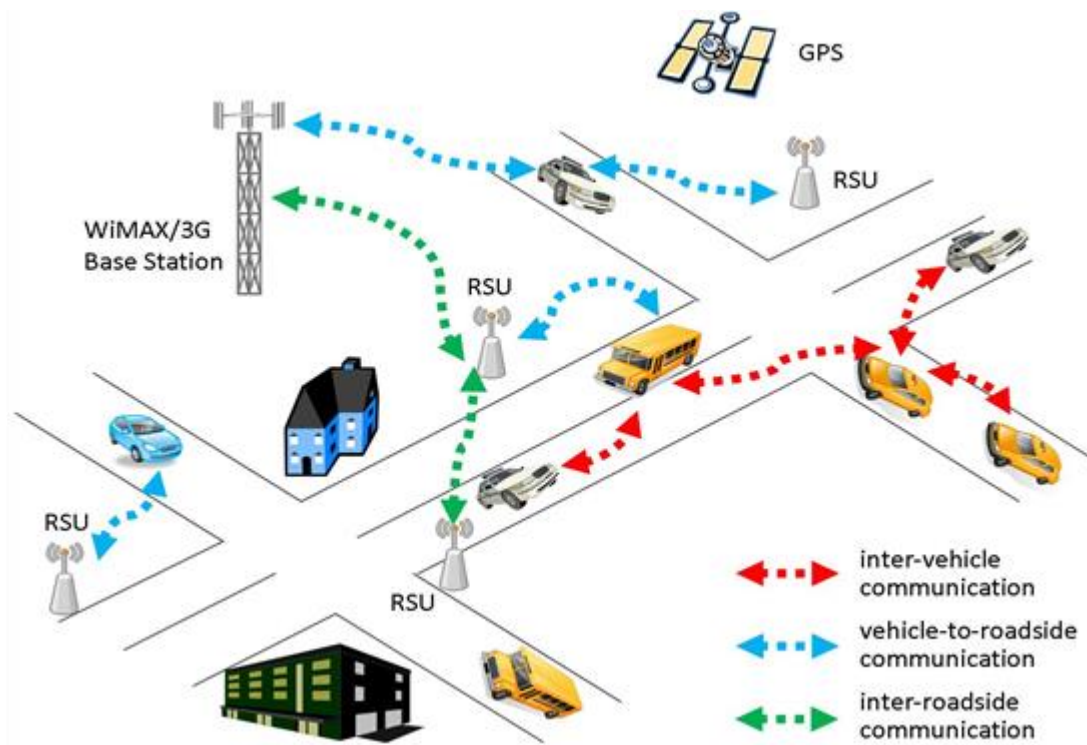


Figure 3: Exemple de VANET [KOSCH05]

Les réseaux véhiculaire ad-hoc, plus connus sous la dénomination VANET (Vehicular Ad-hoc Networks), reprennent les mêmes principes architecturaux que les MANETs (voir Figure 3).

Les réseaux ad hoc mobiles (MANET) sont des réseaux sans infrastructure fixe, composés d'entités mobiles, appelées aussi nœuds. Ces nœuds communiquent entre eux directement sans l'intervention de points d'accès stationnaires. Dans les années 2000, les réseaux ad hoc mobiles ont été déployés en particulier dans des environnements fortement dynamiques tels que les réseaux inter-véhicules (VANETs - Vehicular Ad hoc Networks).

Les premières applications conçues pour les VANETs ont concerné la sécurité routière (systèmes de transports intelligents (STI)). L'objectif majeur de ces applications est de fournir aux véhicules présents dans le réseau, des informations utiles concernant l'état de la circulation routière (info trafic). FleetNet (2001) a été le premier projet STI pour les VANETs. Plus tard, d'autres projets ont également été conçus comme CarTALK 2000, PReVENT, NOW (Network on Wheels), etc. Actuellement, les réseaux VANETs attirent l'attention de grands constructeurs d'automobiles comme Volvo, BMW, Renault, Mercedes-Benz et beaucoup d'autres. Dans ce contexte, le consortium Car2Car (C2C), réunissant la plupart des constructeurs d'automobiles européens, travaille pour définir et promouvoir des standards pour les technologies sans fil de véhicules.

Aux États-Unis, la Commission Fédérale des Communications (FCC) a alloué en 1999 un spectre de 75 Mhz entre les fréquences 5.850 Ghz et 5.925 Ghz. Ce spectre est divisé en 7 canaux

de 10 Mhz chacun, dont un canal appelé canal de contrôle (Control Channel – CCH) réservé spécialement pour les Systèmes de Transports Intelligents (STI). Les 6 canaux restants sont utilisés pour d'autres types d'applications (exemple : les applications multimédias). Ces canaux sont appelés canaux de services (Service Channels – SCH).

Le standard WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) décrit l'ensemble des standards IEEE 1609.x (.1/.2/.3/.4) déployés au niveau de la couche MAC (niveau 2) et de la couche réseau (niveau 3) du modèle OSI. Au niveau de la couche physique (niveau 1), c'est le standard IEEE 802.11p qui est utilisé. L'ensemble de WAVE et IEEE 802.11p, forme le standard DSRC (Dedicated Short Range Communication).

DSRC est actuellement considéré comme le standard le plus approprié pour les communications sans fil dans les réseaux ad hoc de véhicules. Grâce au standard DSRC, il est possible d'établir une communication véhicule-à-véhicule (VàV) ainsi qu'une communication véhicule-à-infrastructure (VàI). Le standard DSRC est compatible avec les contraintes des réseaux de véhicules fortement dynamiques. En effet, il offre une fiabilité de communication ainsi qu'une faible latence lors de l'établissement de la communication. Les caractéristiques de DSRC sont :

(i) il supporte une vitesse des véhicules dépassant 200km/h, (ii) il offre une portée radio variant entre 300 et 1000 mètres, (iii) il garantit un temps de latence pour l'établissement de la communication ne dépassant pas 50 ms, enfin, (iv) il permet un débit théorique (bande passante) atteignant 6 Mbps. Le standard DSRC utilise deux catégories d'entités pour les communications VàV et VàI : RSU (Road Side Units) et OBU (On Board Units). Les RSUs sont des points d'accès stationnaires placés dans le réseau routier. Ils jouent le rôle de nœuds intermédiaires pour interconnecter les véhicules. En revanche, les OBUs sont les véhicules mobiles dans le réseau routier. Un réseau VANET est généralement composé d'un ensemble d'OBUs et de RSUs (Figure 4).

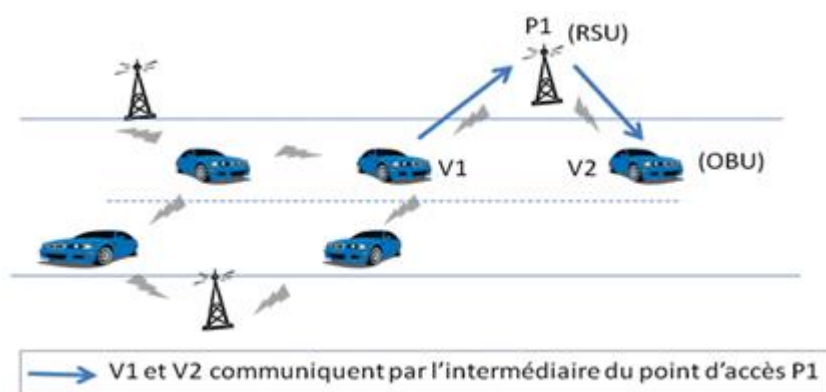


Figure 4: Communication Véhicule-à-Infrastructure (VàI)

Néanmoins, il est également possible d'établir une communication véhicule-à-véhicule uniquement via des OBUs, sans avoir recours à des bornes stationnaires RSU (Figure 5).

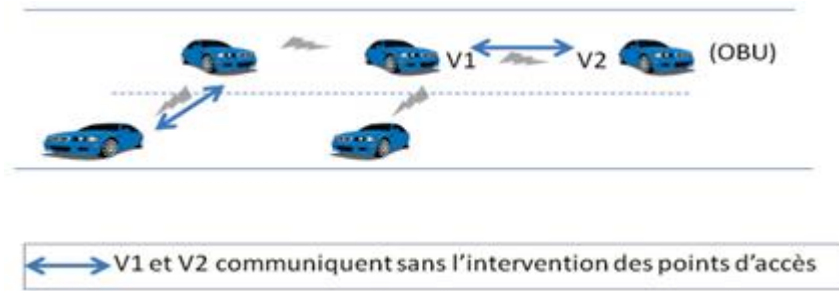


Figure 5 : Communication Véhicule-à-Véhicule (VàV)

La communication inter-véhicules s'effectue grâce à la connectivité radio inter-véhicules. Le rayon de transmission radio est déterminé selon le standard de communication sans fil utilisé. Plusieurs terminologies peuvent être utilisées pour désigner un rayon de couverture radio. Dans ce mémoire, les termes « zone de transmission », « rayon de transmission » et « portée radio » sont les plus souvent utilisés. Une communication inter-véhicules est dite directe (ou à un-saut) lorsque les deux nœuds, source et destinataire, sont à portée radio l'un de l'autre. Deux nœuds sont dits distants lorsqu'ils ne sont pas à portée radio l'un de l'autre. Ces nœuds peuvent cependant communiquer par une communication dite multi-sauts. Ainsi, une communication multi-sauts est assurée par un ensemble de nœuds intermédiaires participant à la construction d'un chemin de communication (ou chemin de routage) reliant les deux nœuds en question.

Contrairement aux systèmes de transport intelligents (STI) qui sont en phase d'industrialisation, les applications multimédias sont encore en cours d'étude. L'objectif de ces deux types d'application est différent. Le principal objectif des systèmes de transport intelligents est de prévenir les véhicules des accidents routiers ou de fournir aux véhicules présents dans le réseau, des informations concernant l'état de la circulation. La transmission des données dans ce type d'application s'effectue par une propagation du message vers une région bien définie, appelée aussi région cible (exemple : région d'un accident sur une autoroute). Les paquets sont généralement textuels, de petite taille et ne nécessitent donc pas une bande passante large pour assurer une transmission bout-à-bout réussie. Enfin, les messages sont envoyés de manière proactive, sans demande explicite du destinataire (envoi dit « push »), ce qui explique qu'aucune réponse ne soit attendue en retour.

En revanche, les applications d'échange de données volumineuses sont généralement composées de deux phases de transactions (requête/réponses). La dissémination de la requête dans le réseau est ainsi suivie d'une phase de transfert des données recherchées. De plus, ces applications nécessitent de garantir une qualité de service (QoS). En pratique, la qualité de service des applications d'échange de données déployées dans des environnements fortement dynamiques, doit assurer : l'acheminement bout-à-bout réussi des paquets, la réduction de la perte des paquets, ainsi que la réduction des délais de transmission. Et encore, la QoS au niveau applicatif concerne la gestion des

données ainsi que l'usage approprié de la bande passante partagée. Ces conditions deviennent particulièrement problématiques dans les réseaux ad hoc de véhicules fortement dynamiques. Les contraintes importantes à considérer dans les réseaux VANETs sont :

La forte mobilité des véhicules dans le réseau : Dans l'exemple de la Figure 6, le nœud « S » est la source et le nœud « D » est le destinataire. Le chemin multi-sauts reliant les nœuds distants « S » et « D » est construit par les nœuds intermédiaires « A » et « B ». Un tel chemin de routage doit être maintenu jusqu'à l'achèvement du transfert bout-à-bout des paquets. Les données à transmettre sur le chemin de routage étant lourdes (exemple : données multimédias de grande taille), ce transfert nécessite une durée de communication relativement importante. Or, en raison de la forte mobilité des véhicules, le maintien du chemin de routage peut nécessiter des reconfigurations fréquentes (remplacement ou ajout des nœuds intermédiaires) ; ces reconfigurations rendent la procédure de maintien très complexe.

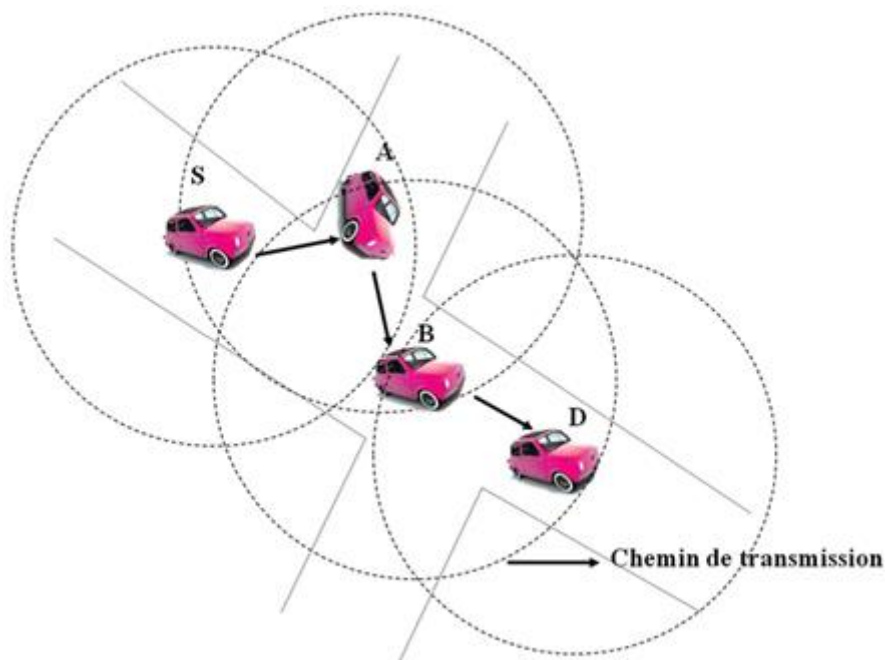


Figure 6 : Communication multi-sauts inter-véhicules

Le partage de la bande passante : la capacité de la bande passante attribuée aux véhicules s'affaiblit lors de surcharges. D'une part, une surcharge du réseau peut être due à une trop forte densité des véhicules dans le réseau (nombre de communications simultanées très grand). D'autre part, une surcharge peut être la conséquence d'un usage non approprié de la bande passante (transmission de données redondantes, pertes de paquets, etc.)

Dans ce contexte, pour mieux présenter les problématiques que nous souhaitons étudier dans ce mémoire, nous présentons dans ce qui suit, deux cas d'utilisation concernant des applications multimédias pour les VANETs.

3.2.1. EXEMPLES DE CAS D'UTILISATION

- Système de partage de données multimédias :

Jean conduit son véhicule en ville pour aller à son bureau ; il reçoit sur son téléphone (PDA) un message d'un ami l'invitant à assister au concert d'un artiste. Intéressé, il souhaite télécharger via une communication pair-à-pair une des chansons de cet artiste. Malheureusement, il réalise qu'il est en dehors de la zone de couverture d'une connexion 3G. Il établit alors une connexion ad hoc avec d'autres véhicules qui sont dans son voisinage.

Jean génère sa demande sous forme d'une requête textuelle. La requête est propagée vers tous les véhicules du réseau VANET. Ce scénario est représenté dans la Figure 7. Nous représentons les trajectoires des 6 véhicules dans le réseau, V1 représentant le véhicule de Jean. Nous supposons que tous les véhicules sont équipés d'un système de navigation qui peut également fournir une estimation des trajectoires futures des véhicules. Une méthode classique est de propager la requête de manière « broadcast » (diffusion globale) vers tous les véhicules, c'est-à-dire vers les véhicules V2, V3, V4, V5 et V6.

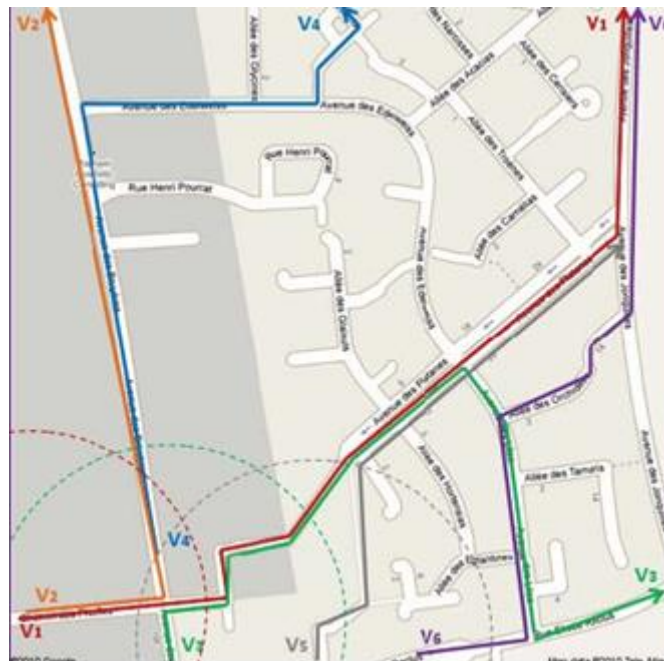


Figure 7 : Trajectoires des véhicules dans une ville

Considérons que les véhicules V3 et V4 possèdent la (ou les) réponse(s) à la requête de Jean. Un mécanisme de transfert de données est nécessaire pour que le téléphone de Jean (V1) puisse récupérer les données des véhicules V3 et V4. Le véhicule V4 selon sa trajectoire future prévue, s'éloigne du véhicule V1. Après une certaine durée, les véhicules V1 et V4 ne seront donc plus à portée radio l'un de l'autre. Pour que le véhicule V4 puisse transmettre les données au véhicule V1, un chemin de routage est donc nécessaire.

Les questions qui se posent sont : comment choisir les véhicules intermédiaires adéquats pour construire un chemin de routage fiable entre le véhicule V1 et le véhicule V4 ? Dans un réseau fortement dynamique, quel mécanisme faut-il adopter pour maintenir un chemin de communication fiable tout au long du transfert de données sans avoir recours à des reconfigurations fréquentes du chemin de routage ?

- Applications interactives temps-réel (multi-joueurs) :

Considérons maintenant que Jean part en vacances de Lyon à Nice en voiture avec sa famille. C'est une période de départ en vacances, la densité de la circulation est forte, ce qui provoque un embouteillage sur l'autoroute. Son fils, Patrick, s'ennuie ; il souhaite lancer une requête dans le réseau ad hoc vers des véhicules au voisinage de la voiture de son père, pour chercher des passagers dans d'autres véhicules qui souhaiteraient jouer à un jeu. Sa demande est diffusée vers tous les véhicules afin que les utilisateurs intéressés se connectent à l'interface du jeu.

De la même manière que pour l'application de partage de données multimédias, l'application multi-joueurs nécessite une connectivité stable. De plus, une contrainte supplémentaire s'impose dans ce type d'application : l'interactivité et la synchronisation des interfaces. Ces applications sont de type continu et l'état de l'application change en temps réel, ce qui nécessite une mise à jour continue et un échange fiable d'informations en temps réel sur la bande passante. Ainsi, une large capacité de la bande passante est nécessaire pour diminuer les délais de transmission et assurer par la suite la synchronisation des interfaces.

Il est indispensable lors de la mise en œuvre d'une application de transfert de données volumineuses d'assurer une connectivité stable, afin de garantir une transmission fiable des données tout en réduisant les délais et la surcharge de la bande passante. Cette qualité de service (QoS) impose de travailler au niveau de la couche réseau (niveau 3) et de la couche application (niveau 7).

Pour la mise en place d'un tel réseau, certains équipements électroniques doivent être installés au sein de véhicules (voir Figure 8), tel: les dispositifs de perception de l'environnement (radars, caméras), un système de localisation GPS, et bien sûr une plateforme de traitement.

Plusieurs technologies peuvent être mises en œuvre pour l'établissement des communications véhiculaires, tel : les réseaux sans-fil de type 802.11, WIMAX, Bluetooth. Cependant, il existe une nouvelle famille de standards qui sont en cours de standardisation par l'équipe de travail IEEE1609.

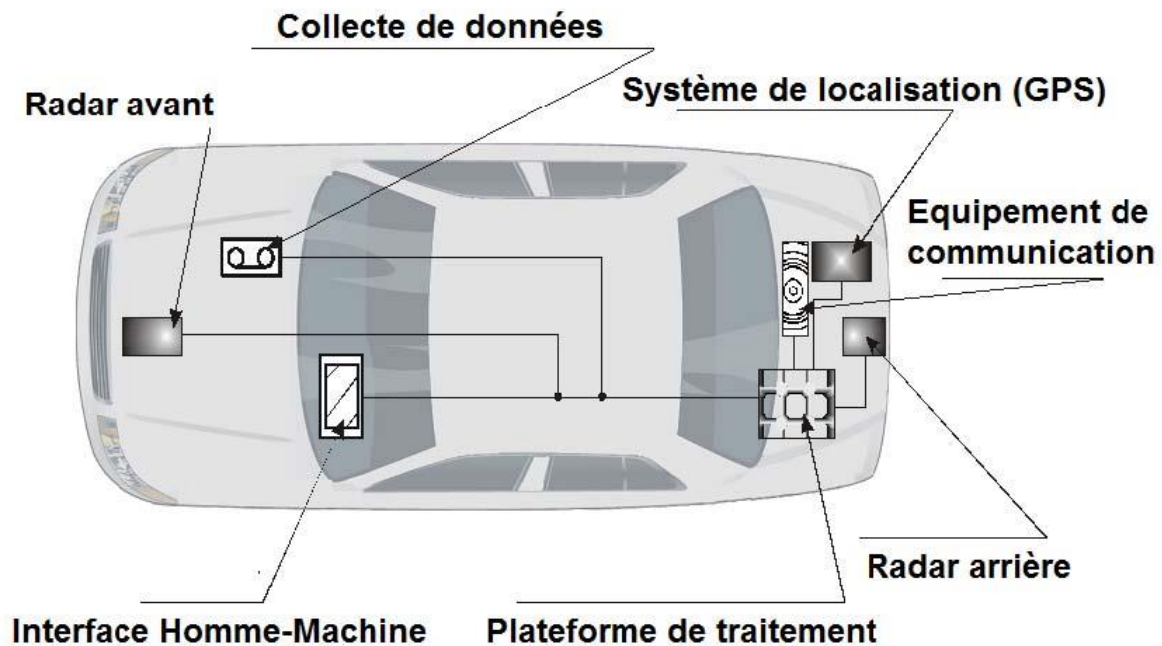


Figure 8: Les éléments constituant le véhicule intelligent

3.3. Les réseaux véhiculaires ad-hoc hybrides

Avant de nous intéresser aux réseaux véhiculaires ad-hoc hybrides, il convient dans un premier temps de cerner le concept architectural ad-hoc hybride ainsi que ses applications. Nous commencerons donc dans cette section par introduire les architectures de réseaux ad-hoc hybrides pour ensuite revenir au cas particulier des réseaux véhiculaires.

3.3.1. Le concept architectural ad-hoc hybride

Les réseaux hybrides ou réseaux ad-hoc hybrides, sont des réseaux sans fil ayant une organisation duale recoupant à la fois celle des réseaux à infrastructure et celle des réseaux ad-hoc. Plus concrètement, en plus des communications sur un saut entre terminaux et infrastructure fixe et des communications multi-sauts entre terminaux, dans les réseaux hybrides, les terminaux sont également susceptibles de communiquer avec l'infrastructure fixe sur plusieurs sauts par l'intermédiaire d'autres terminaux ou de nœuds relais dédiés. Dans ce type de réseau, les technologies utilisées pour les communications sur un saut entre les terminaux et l'infrastructure fixe et celles utilisées pour les communications multi-sauts peuvent être de divers ordres. C'est ainsi qu'apparaissent les concepts d'architectures "intra-technologie" (en anglais, intra-technology) et d'architectures "inter-technologies" (en anglais, inter-technology) [DUDA06], Dans le premier type

d'architectures (i.e. architectures "intra-technologie"), la même technologie est utilisée à la fois pour les communications sur un saut avec l'infrastructure fixe et pour les communications multi-sauts. C'est par exemple le cas des réseaux hybrides constitués sur la base de la norme IEEE 802.11 pour les communications avec les points d'accès et pour les communications en mode ad-hoc. Dans le second type d'architectures (i.e. architectures "inter-technologies"), des technologies distinctes sont utilisées pour les communications sur un saut avec l'infrastructure fixe et pour les communications multi-sauts. C'est notamment le cas lorsqu'un réseau hybride est mis en œuvre à partir d'une technologie radio 3G pour les communications sur un saut avec la station de base et d'une autre technologie telle que l'IEEE 802.11 pour les communications en mode ad-hoc.

Les motivations qui président à la conception et au déploiement des architectures de réseaux ad-hoc hybrides sont multiples et de divers ordres. On peut citer:

- L'amélioration de la qualité de service: Le couplage du mode ad-hoc et du mode infrastructure peut concourir à améliorer de manière sensible les performances des communications en termes notamment de délai et de débit. C'est par exemple le cas des terminaux (situés en limite de zone de couverture de l'infrastructure fixe) qui, en basculant en mode ad-hoc pour atteindre l'infrastructure fixe, peuvent augmenter leur débit et réduire significativement les délais de transmission.
- L'équilibrage des charges entre les cellules d'un réseau à infrastructure: Un terminal situé dans la zone de couverture d'une infrastructure fixe surchargée peut avantageusement passer en mode ad-hoc pour atteindre une infrastructure fixe voisine qui elle serait moins chargée. Il en résulte ainsi une réduction des échecs de communication et une optimisation de l'utilisation des ressources.
- L'extension de la zone de couverture, la réduction des coûts de déploiement et l'accès ubiquitaire aux services: Des terminaux situés en dehors de la zone de couverture de l'infrastructure fixe peuvent malgré tout bénéficier des services (ex: Internet) de cette infrastructure via des communications multi-sauts. Une telle possibilité est de nature à optimiser le déploiement de l'infrastructure fixe et donc réduire les coûts associés. De plus, bénéficier des services d'un opérateur même en dehors de toute zone de couverture, est un pas supplémentaire vers l'objectif ultime de l'accès ubiquitaire aux services.
- La simplification des protocoles des réseaux ad-hoc: La nature des réseaux ad-hoc impose la conception et la mise en œuvre de protocoles totalement distribués. La complexité de ces protocoles et leur coût de mise en œuvre peuvent se montrer réducteurs dans des contextes de réseaux ad-hoc énergiquement contraints. En offrant la possibilité de s'appuyer sur une infrastructure fixe, les

réseaux hybrides peuvent concourir à simplifier les protocoles des réseaux ad-hoc et donc faciliter leur mise en œuvre. Cette simplification est opérée en concentrant certains traitements sur l'infrastructure fixe qui peut ainsi assister les terminaux du réseau ad-hoc dans l'exécution des protocoles.

- Le contexte technologique et de marché favorable: De plus en plus de terminaux sans fil sont équipés de plusieurs interfaces de communication leur permettant de fonctionner en mode infrastructure et en mode ad-hoc. C'est par exemple le cas des portables, des PDAs et autres SmartPhones qui intègrent de plus en plus une interface GSM ou 3G et une interface Wi-Fi.

L'intérêt porté aux architectures de réseaux ad-hoc hybrides a encouragé nombre de travaux aussi bien dans le monde académique que dans celui de l'industrie. Les principaux thèmes de ces travaux s'articulent autour de la spécification des architectures, du routage et de la gestion des ressources radio. Dans [ANAN01] par exemple, une architecture hybride appelée MCN (Multi-hop Cellular Network) permettant aux terminaux (i.e. MNs "Mobile Nodes") à l'intérieur d'une cellule de communiquer sur plusieurs sauts avec la station de base de cette même cellule, est proposée. Comme illustré sur la Figure 9 l'architecture définit un canal de contrôle et un canal pour la transmission des données. La portée de transmission de la station de base et des terminaux sur le canal des données est réduite par rapport à leur portée de transmission sur le canal de contrôle qui, elle, couvre l'ensemble de la cellule. Cette caractéristique permet de tirer parti de la réutilisation spatiale lors de la transmission des données et ainsi potentiellement d'augmenter les débits. En plus de cette spécification architecturale, un protocole de routage dans lequel le calcul des routes est réalisé par la station de base, est proposé. Finalement, la principale faiblesse identifiée dans l'architecture proposée, est le partage du canal de contrôle dont la seule saturation suffirait à mettre les communications en échec.

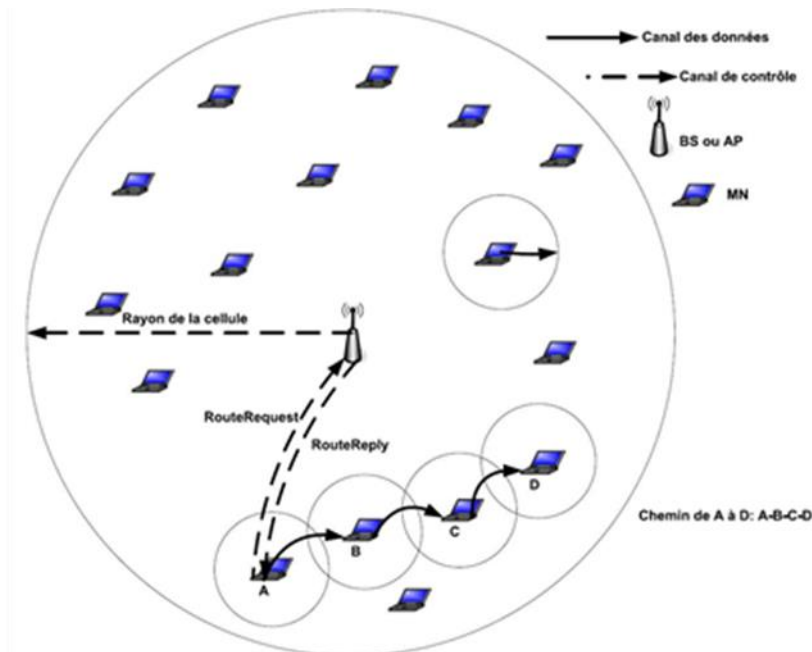


Figure 9: Réseau hybride MCN

Dans la foulée de l'architecture MCN, une architecture assez proche appelée UCAN (Unified Cellular and AdHoc Network Architecture) est proposée dans [LUO03]. À la différence de l'architecture MCN, dans l'architecture UCAN, la communication en mode ad-hoc pour atteindre la station de base n'est utilisée que si la qualité du canal radio avec l'infrastructure est insuffisante. Dans ce cas en effet, les paquets sont acheminés par l'intermédiaire des terminaux pour lesquels le canal radio avec l'infrastructure est de bien meilleure qualité. Des débits plus importants et des réductions de délais peuvent ainsi être obtenus. Notons toutefois qu'ici les communications en mode infrastructure utilisent une technologie 3G alors que les communications en mode ad-hoc utilisent l'IEEE 802.11. Cette complexité matérielle (puisqu'il faut jusqu'à 2 interfaces par terminal) est de nature à épuiser assez rapidement les faibles batteries des terminaux. Une autre architecture baptisée ICAR (Integrated Cellular and Ad-hoc Relaying) et permettant aux réseaux cellulaires d'approcher des débits proches de la capacité théorique, est proposée dans [WU01]. Cette architecture permet de réaliser un équilibrage des charges dynamique entre les différentes cellules du réseau. Comme présenté sur la Figure 10, des nœuds dédiés appelés ARS (Ad hoc Relaying Stations), sont déployés à des endroits stratégiques pour relayer, lorsqu'il y a lieu, les excédents de trafic des cellules surchargées vers des cellules mitoyennes moins chargées. Les ARS communiquent dans ce contexte en mode infrastructure avec les stations de base et en mode ad-hoc avec les terminaux et d'autres ARS. Au-delà des débits plus importants obtenus et d'une meilleure gestion de la capacité radio, cette architecture impose malgré tout, une complexité matérielle non négligeable au niveau des terminaux mobiles.

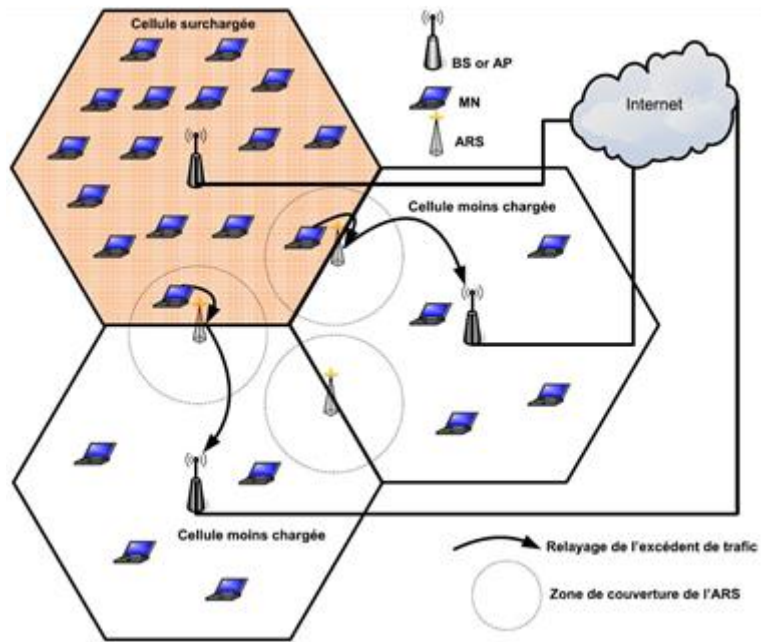


Figure 10: Réseau hybride ICAR

Une architecture encore plus générale que les architectures précédentes est proposée dans [ZADEH02], Cette architecture qui est promue sous l'appellation SOPRANO (Self-Organizing Packet Radio Ad hoc with Overlay), généralise pour tous les terminaux du réseau, des communications multi-sauts avec la station de base via des nœuds relais dédiés (voir Figure 11). Dans cette architecture, seuls les nœuds relais dédiés doivent disposer de 2 interfaces (i.e. une interface pour le mode infrastructure et une interface pour le mode ad-hoc) chacun. Les terminaux ne doivent disposer chacun que d'une unique interface leur permettant de communiquer en mode ad-hoc avec les nœuds relais, charge ensuite à ces derniers de relayer les paquets des terminaux vers la station de base. En plus de l'extension de la zone de couverture des stations de base, cette architecture permet non seulement un équilibrage des charges entre les différentes cellules, mais aussi l'obtention de débits plus élevés du fait de la réutilisation spatiale; tout ce ceci sans induire la moindre complexité matérielle pour les terminaux.

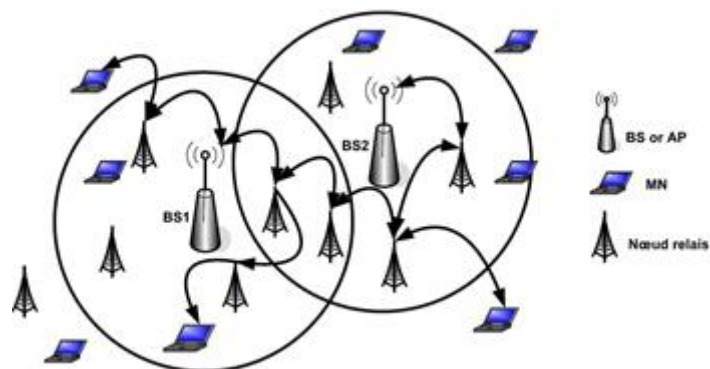


Figure 11: Réseau hybride SOPRANO

Les auteurs de [ZOIC05], proposent et étudient quant à eux, une architecture hybride appelée HNA (Hybrid Network Architecture). Comme illustré sur la Figure 12, cette architecture mêle la technologie IEEE 802.16 [IEEE-802.16] pour constituer un réseau maillé de collecte Internet et la technologie IEEE 802.11 pour constituer à la fois des Hot Spots² et des communications en mode ad-hoc. Les terminaux situés à l'intérieur comme à l'extérieur des zones de couverture des Hot Spots peuvent accéder à Internet grâce à la définition d'un protocole de routage hiérarchique appelé FMARP (Flexible Mobile Access Routing Protocol) basé sur la construction d'un arbre logique ayant comme racine, la passerelle du réseau (en anglais, Gateway). L'intérêt principal de ce type d'architecture est de permettre l'extension de la zone de couverture des services, en particulier jusqu'aux zones où l'infrastructure filaire est inexistante ou défectueuse.

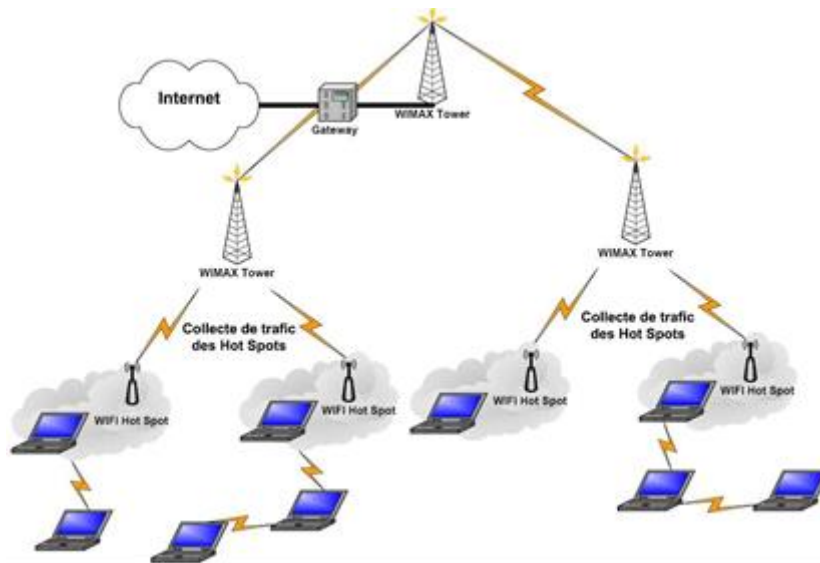


Figure 12: Réseau hybride HNA

Au-delà des différentes propositions architecturales précédentes, des efforts de standardisation dans le domaine des réseaux ad-hoc hybrides sont également réalisés. Ainsi le groupe de travail IEEE 802.11s [IEEE-802.11s] s'attache à la spécification des réseaux maillés (en anglais, mesh networks) dans les réseaux locaux 802.11 alors le groupe de travail IEEE 802.11u [IEEE-802.11u] s'intéresse dans ce contexte à l'interconnexion avec d'autres types de réseaux (ex: 3G, WIMAX, etc.) dits externes. Des tentatives de standardisation associées aux réseaux ad-hoc hybrides au niveau de la couche IP et des couches supérieures sont également menées au sein de l'IETF (Internet Engineering Task Force) et de l'IRTF (Internet Research Task Force) au travers par exemple des groupes de travail AutoConf [AUTOCONF] et MOBOPTS [MOBOPTS],

3.3.2. Le concept ad-hoc hybride appliqué aux réseaux véhiculaires

Les réseaux véhiculaires ont été définis dans des architectures ad-hoc hybrides pour opérer à la fois des applications liées à la sécurité routière nécessitant une configuration ad-hoc du réseau et des applications s'inscrivant davantage dans un contexte de fourniture de service depuis l'infrastructure fixe. C'est par exemple le cas de l'architecture cible définie dans le cadre du consortium européen C2C-CC (Car2Car Communication Consortium) [C2C-CC] dont les principales ambitions sont: (i) la création d'un standard européen ouvert pour les communications V2V (Véhicule-to-Véhicule) ou IVC (Inter-Véhicule Communication) et les communications V2I (Véhicule-to-Infrastructure) ou V2R (Véhicule-to-Road), (ii) le développement de prototypes et de démonstrateurs pour les applications des réseaux véhiculaires, (iii) l'attribution d'une bande de fréquence exclusive et libre pour les applications des réseaux véhiculaires, et (iv) le développement de stratégies de déploiement et de modèles économiques pour la pénétration du marché. Cette architecture envisage l'utilisation d'une variété de technologies dont principalement l'IEEE 802.11p (WAVE "Wireless Access in Vehicular Environments") [IEEE-802.11p] qui spécifie des communications en mode infrastructure et en mode ad-hoc (voir Figure 13). Dans ce contexte, chaque véhicule embarque une plateforme de communication appelée OBU (On Board Unit). Cette plateforme est utilisée par une ou plusieurs applications appelées AUs (Applications Units). Quant aux points d'accès disposés le long des routes et constituant l'infrastructure fixe, ils sont nommés RSUs (Road-Side Units).

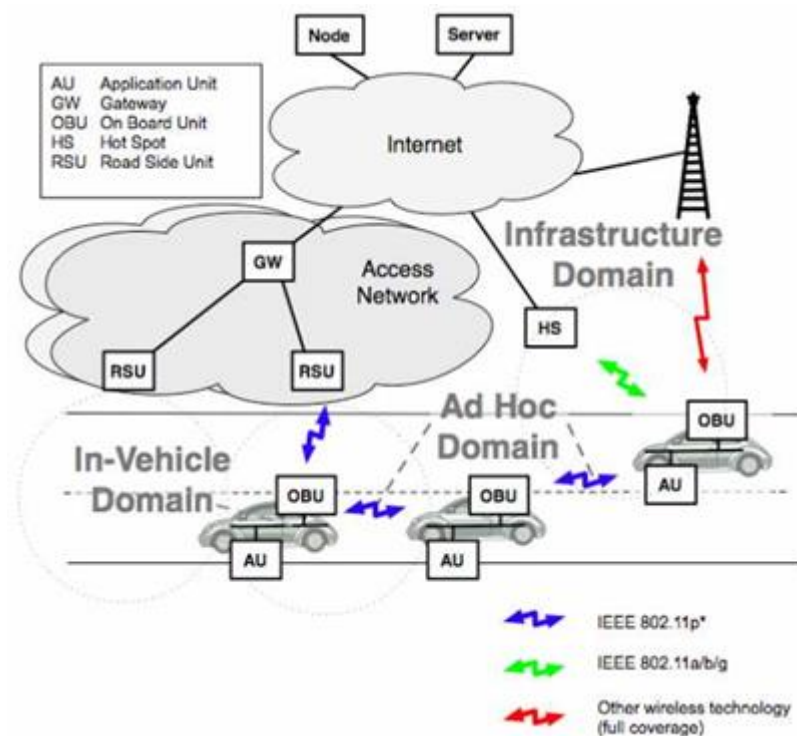


Figure 13: Architecture ad-hoc hybride C2C-CC [C2C-CC07]

L'architecture ad-hoc hybride envisagée au sein du C2C-CC est également reprise dans le projet allemand NOW (Network-On-Wheels) [NOW] dont les travaux se font en étroite collaboration avec le consortium. Les protocoles et systèmes (ex: protocole de routage géographique, protocole de sécurité, antenne radio, etc.) développés au sein de ce projet intéressent aussi bien les applications liées à la sécurité routière que les applications de divertissement; et ce, que ce soit dans les modes de communication ad-hoc (i.e. V2V) ou infrastructure (i.e. V2I). Notons que le projet FleetNet [FLEETNET] avant le projet NOW avait déjà développé et intégré une architecture hybride dans laquelle les communications avec l'infrastructure et l'Internet se faisaient en GPRS et les communications ad-hoc en 802.11 (voir Figure 14). Les protocoles de routage géographiques conçus et implémentés dans ce projet ont été validés dans le cadre d'un démonstrateur de 6 véhicules équipés de systèmes de positionnement GPS pour alimenter ces protocoles. Les applications visées étaient essentiellement l'échange de messages entre véhicules pour la conduite coopérative, la gestion de flottes et l'accès Internet.

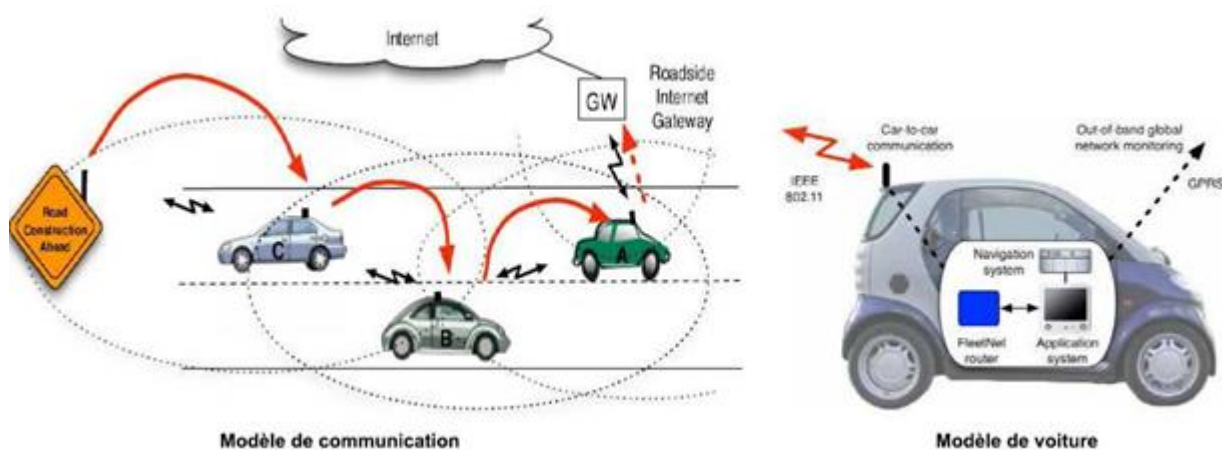


Figure 14: Architecture ad-hoc hybride FLEETNET [FESTAG04]

Des architectures ad-hoc hybrides ont également été choisies pour les réseaux véhiculaires dans l'optique première de l'extension de la zone de couverture des services, de l'optimisation du déploiement des stations de base ou des points d'accès et de l'adaptation à la forte dynamique des nœuds. Ainsi par exemple, le projet BAS (Business As uSual) [LI04] a développé un réseau véhiculaire ad-hoc hybride organisé autour de bus de transport public et de points d'accès disposés le long des routes pour fournir un accès à Internet (voir Figure 15). Afin que les passagers des bus puissent se connecter indépendamment de leur présence ou non dans la zone de couverture de l'infrastructure fixe, un protocole de routage géographique permettant d'accéder à l'infrastructure fixe par l'intermédiaire d'autres bus en mode ad-hoc, a été défini. À ce protocole, s'est également greffé un protocole de découverte de l'infrastructure fixe défini spécialement pour les bus situés en dehors de la zone de couverture de cette infrastructure.

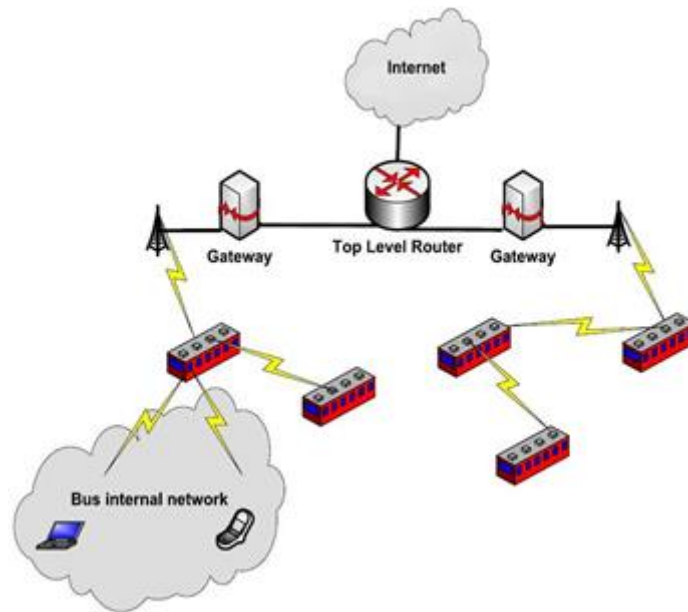


Figure 15: Réseau véhiculaire BAS

En plus des différents projets ci-dessus, notons qu'à travers le monde, divers autres projets sur les réseaux véhiculaires supposent des architectures de réseaux ad-hoc hybrides. C'est le cas notamment des projets européens COMeSafety [COMESAFE], COOPERS [COOPERS], CVIS [CVIS], GeoNet [GEONET] et SAFESPOT [SAFESPOT], du projet américain VII [VII], du projet ISO CALM [CALM], du projet ETSI ITS [ITS] pour ne citer que ceux-là.

3.3.3. Approche de classification des architectures ad-hoc hybrides

L'étude des différentes architectures de réseaux ad-hoc hybrides nous a amené à identifier trois types d'architectures à savoir:

- Les architectures ad-hoc intra-cellulaires dans lesquelles les communications entre des terminaux et l'infrastructure fixe se font en mode ad-hoc alors même que ces terminaux sont dans la zone de couverture (i.e. à un saut) de cette infrastructure fixe. Un des principaux objectifs de ce type d'architecture est d'accroître les performances par la réutilisation spatiale. On remarquera que ce type d'architecture est généralement marqué par l'utilisation d'une technologie de type WWAN (Wireless Wide Area Network) pour les communications en mode infrastructure et d'une technologie de type WLAN (Wireless Local Area Network) pour les communications en mode ad-hoc. Les architectures MCN [ANAN01], C2C-CC [C2C-CC07] et FleetNet [FESTAG04] en sont des exemples.

- Les architectures ad-hoc inter-cellulaires dans lesquelles les communications en mode ad-hoc permettent à des terminaux situés dans la zone de couverture d'un point d'accès (ou d'une station de base) d'atteindre un autre point d'accès (ou une autre station de base) dont la zone de couverture ne couvre pas ces terminaux. Un des principaux avantages de ce type d'architecture est l'équilibrage des charges entre les cellules. Les technologies mises en œuvre pour les différents modes de communication sont généralement les mêmes que celles utilisées dans le cas ad-hoc intra-cellulaire. Les architectures ICAR [WU01] et SOPRANO [ZADEH02] en sont des exemples.
- Les architectures ad-hoc extra-cellulaires dans lesquelles les communications en mode ad-hoc sont utilisées entre des terminaux situés en dehors de toute zone de couverture de l'infrastructure fixe. Un des principaux objectifs avec ce type d'architecture est l'extension de la zone de couverture des services. On remarquera que dans ce type d'architecture les communications en mode ad-hoc et en mode infrastructure utilisent généralement la même technologie; technologie qui le plus souvent est de type WLAN ou WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Les architectures SOPRANO [ZADEH02], HNA [ZOIC05], BAS [LI04] et C2C-CC [C2C-CC07] à travers sa composante WAVE [IEEE-802.11p] en sont des illustrations. Dans chacun des scénarii architecturaux précédents, il peut être fait usage de nœuds relais dédiés ou de terminaux remplissant également des fonctions de relais en plus du traitement de leurs propres trafics. De plus, dans les architectures ad-hoc intra-cellulaires et ad-hoc inter-cellulaires plus spécifiquement, on peut identifier deux configurations possibles: (i) une configuration mono-mode dans laquelle les communications des terminaux se font exclusivement en mode ad-hoc et (ii) une configuration bi-mode dans laquelle les communications des terminaux peuvent être en mode ad-hoc ou en mode infrastructure. La Figure 16 illustre cette classification des architectures ad-hoc hybrides ainsi que les avantages caractérisant chacune des principales classes.

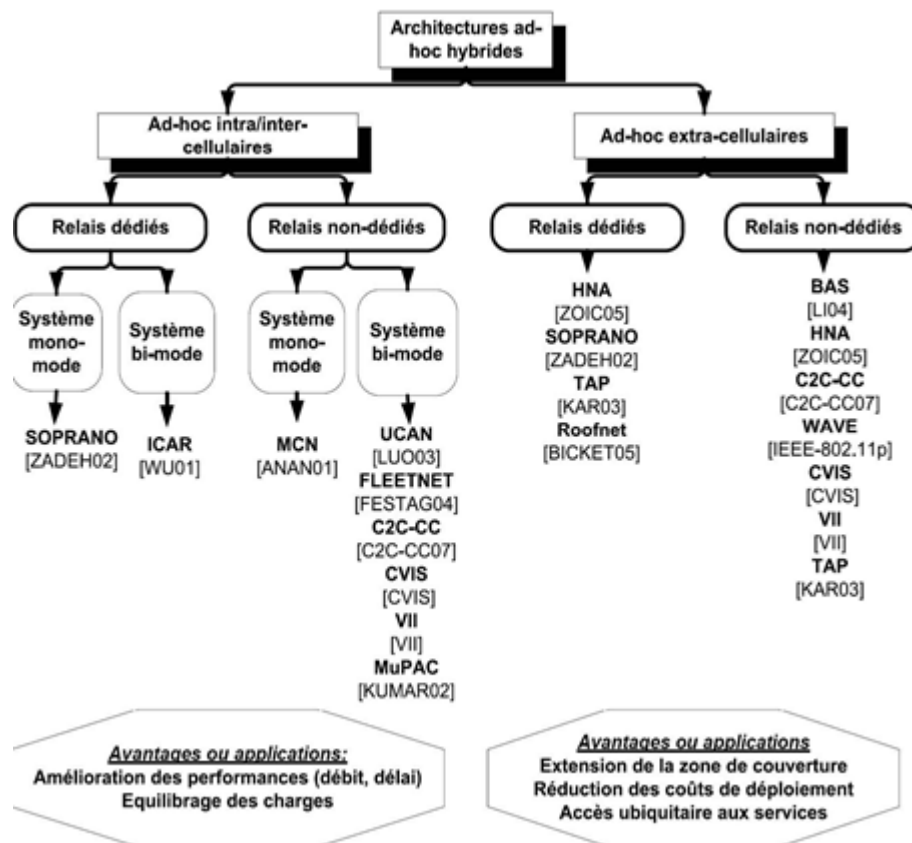


Figure 16: Classification des architectures de réseaux ad-hoc hybrides

4. Conclusion

Bien que les réseaux véhiculaires diffèrent quelque peu des réseaux sans fil traditionnels, notamment par leur potentiel énergétique, il est intéressant de constater que ces réseaux n'ont encore pu voir le jour sur le marché que dans des architectures à infrastructure. Cette tendance confirme la nécessité de s'atteler au développement des réseaux véhiculaires ad-hoc hybrides si l'on souhaite voir se matérialiser l'important potentiel applicatif des VANETs. En effet, les réseaux ad-hoc hybrides apparaissent comme une option crédible permettant de tirer parti concomitamment des avantages applicatifs et des caractéristiques des réseaux à infrastructure et des réseaux ad-hoc mais aussi d'engranger des gains de performance (ex: débit, délai, optimisation de l'exploitation des ressources radio, etc.) et des avantages de la rationalisation du déploiement des points d'accès ou des stations de base. Cette perspective que présentent les réseaux ad-hoc hybrides est de nature à assurer des débouchés commerciaux au concept des communications ad-hoc et ainsi garantir des déploiements substantiels. Les projets actuellement en cours sur les réseaux véhiculaires ne s'y trompent pas puisqu'ils s'inscrivent en grande majorité dans un contexte architectural ad-hoc hybride même si les applications commerciales les plus porteuses (i.e. applications non liées à la sécurité routière) sont encore très peu prises en compte. Les réseaux ad-hoc hybrides et en

particulier leur déclinaison dans les réseaux véhiculaires restent donc un champ d'investigation prometteur appelant encore de nombreux investissements.

A la fin de ce chapitre on réalise qu'on a eu au moins une idée générale par-rapport aux topologies réseaux les plus connus. On pourra alors entamer la découverte de ce qu'on appelle la mobilité réseau.

Chapitre 2. Mobilité des Réseaux

1. Introduction

Par mobilité dans Internet, on considère généralement le déplacement dans la topologie Internet d'un équipement de type ordinateur ou téléphone portable. Or, la notion de mobilité peut s'étendre aux réseaux eux-mêmes dès lors que les réseaux dans lesquels sont déployés ces équipements deviennent eux-mêmes mobiles. C'est le cas pour les réseaux de capteurs embarqués dans les véhicules, les réseaux d'accès déployés dans les transports, ou les réseaux personnels (PANs). Le besoin de connecter ces réseaux à Internet est suscité soit par les fabricants de véhicules, soit par les compagnies de transport, soit par les usagers eux-mêmes. Ceci permet alors la collecte de données et le déploiement d'applications multimédia en tout lieu et à tout instant.

Tout équipement, qu'il soit fixe ou mobile par rapport au réseau dans lequel il s'attache, est donc en mesure de se déplacer géographiquement et topologiquement. Le déplacement géographique peut impliquer le changement de technologie d'accès, donc de qualité de service, de bande passante, de règles d'usages (contrôle d'accès), et une vulnérabilité accrue face aux failles de sécurité. Le déplacement géographique a en général pour conséquence un déplacement dans la topologie Internet ce qui implique un changement d'adresse IP. Or, l'adresse IP est utilisée à la fois pour déterminer la position de l'équipement dans la topologie Internet, et pour identifier les sessions établies avec cet équipement. Un mécanisme de gestion de la mobilité est alors indispensable pour fournir une connectivité Internet permanente sans rompre les communications en cours suite à ce changement d'adresse IP.

Le but de ce chapitre est donc de mettre l'accent sur la notion de réseau mobile qui, étant relativement récente, n'est pas forcément connue de tous. Dans un premier temps, on entame par une brève partie de terminologie (section 2), puis nous décrivons quelques usages possibles des réseaux mobiles (section 3) puis nous présentons quelques généralités sur l'organisation de l'Internet, l'adressage et la problématique de la mobilité liée au modèle d'adressage dans TCP/IP (section 4). Partant de là, et avant de dresser l'architecture de NEMO (section 6) on mettra la lumière sur le groupe de travail NEMO au sein de l'IETF (section 5). S'en suit une définition et description de NEMO BSP (section 7). Avant de conclure ce chapitre, nous présenterons quelques limitations de NEMO BSP pour pouvoir accéder au chapitre suivant qui se focalisera sur l'optimisation de NEMO BSP (section 8).

2. Terminologie :

Un réseau mobile est défini comme un ensemble de sous-réseaux connectés à l'Internet par l'intermédiaire d'un ou plusieurs routeurs mobiles (MR : Mobile Router) qui changent leurs points d'ancrage (AR : Access Router) à l'Internet. Les termes MNNs (nœud du réseau mobile) et CN (nœud correspondant) désignent respectivement tout nœud localisé à l'intérieur du réseau mobile et tout nœud communiquant avec un ou plusieurs MNNs. Les interfaces d'un MR connectées sur un sous-réseau mère ou un sous-réseau étranger sont nommées interfaces externes tandis que toutes les autres interfaces sont nommées interfaces internes. Toute interface devant obtenir une adresse sur le lien auquel elle se raccroche, le préfixe de l'interface externe sera le même que celui du sous-réseau mère ou celui du sous-réseau étranger tandis que celui de l'interface interne et de tous les MNNs sera le même que celui du réseau mobile, nommé MNP (Mobile Network Prefix). Ces termes sont illustrés sur la figure 1 Terminologie pour les réseaux mobiles montrant un réseau mobile se déplaçant de son sous-réseau mère vers un autre sous-réseau.

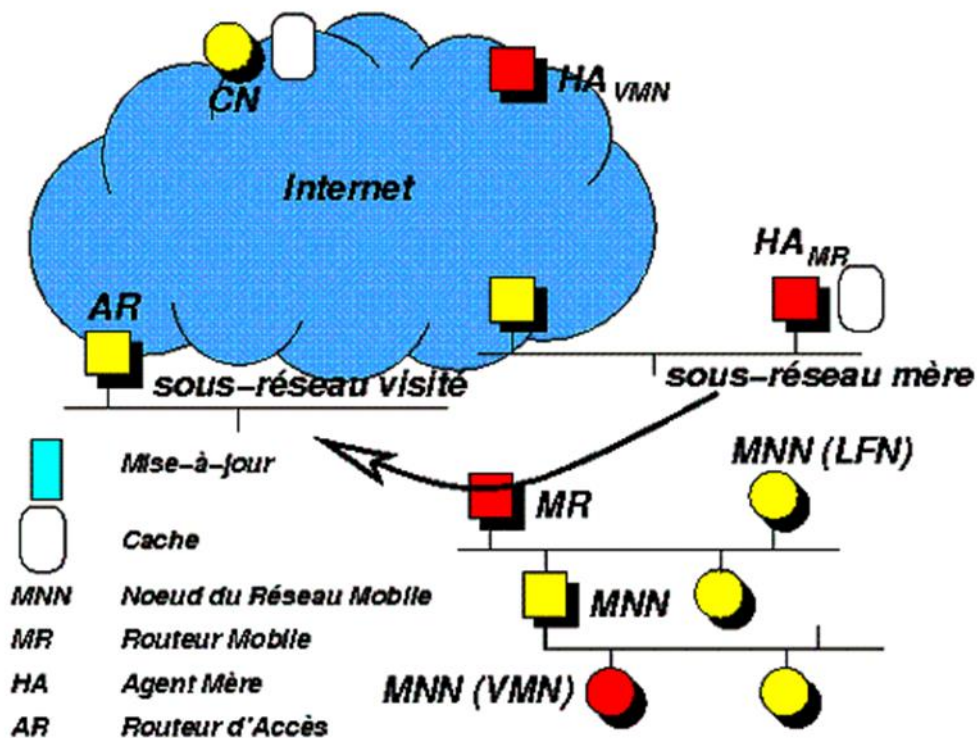


Figure 1 : Terminologie pour les réseaux mobiles

3. Les Usages

Les usages possibles des réseaux mobiles sont très variés. Ceux-ci incluent entre autres les réseaux de capteurs déployés dans les véhicules (avions, trains, bateaux, voitures) qui ont besoin d'interagir avec des serveurs dans l'Internet, par exemple pour assurer la transmission de données nécessaires à la navigation; les réseaux d'accès déployés dans les transports publics (bus, trains et taxis) offrant une borne d'accès à l'Internet aux passagers; ou encore les réseaux personnels (Personal Area Networks : PANs) constitués d'un ensemble d'appareils électroniques de petite taille (cardio-fréquence mètre, montre, téléphone cellulaire, assistant personnel, appareil photo numérique, etc) portés par les personnes.

4. De Mobile IP à NEMO

La problématique des réseaux mobiles a fait sommairement son apparition à l'IETF à plusieurs reprises avant de véritablement prendre son envol à partir de 2000.

Les concepteurs de MIPv6 proposent de gérer la mobilité des réseaux de manière similaire à celle des stations, mais ceci est présenté de manière très succincte, en partant de l'observation qu'un réseau mobile n'est rien d'autre qu'un réseau rattaché à un routeur mobile, c'est-à-dire un nœud comme une autre. A chacun de ses déplacements, il suffirait donc au MR d'obtenir une adresse temporaire MR_CoA et de l'enregistrer auprès de son HA comme dans le cas d'une station mobile. Cette analyse n'a cependant pas été suffisamment poussée par leurs auteurs pour considérer les caractéristiques et les problèmes spécifiques à la mobilité des réseaux. De nombreux problèmes subsistent donc.

Il s'est en effet avéré que MIPv6 n'est pas adapté au support de la mobilité des réseaux comme cela a été démontré dans [Ernst01f-fr] et [Ernst03f], Le document qui en a été extrait pour être soumis au groupe de travail Mobile IP en août 2000 a, en particulier, mis en avant les insuffisances de MIPv6 pour supporter les stations situées derrière le routeur mobile. D'une part, la spécification ne permet pas au HA de rediriger les paquets destinés aux nœuds situés derrière le MR, et d'autre part le mécanisme d'optimisation du routage est inadéquat. Le support des réseaux mobiles nécessite donc une solution spécifique, mais dont le concept n'est pas forcément très éloigné.

La communauté IETF a donc pris conscience du besoin de traiter le cas des réseaux mobiles comme un sujet à part entière. Pour éviter les interférences avec le développement de Mobile IP, elle a créé, en octobre 2002, un nouveau groupe de travail nommé NEMO (NEtwork MObility). Les

contours de son champ de travail ont été difficiles à établir notamment à cause de la confusion souvent faite entre réseaux mobiles et réseaux ad-hoc.

5. Le groupe de travail NEMO de l'IETF

Le groupe de travail NEMO a décidé lors de sa création d'aborder le problème en deux étapes afin de produire une solution déployable rapidement :

- Support de Base (Basic Support) : Dans un premier temps, le groupe a standardisé dans le RFC 3963 une solution simple permettant de maintenir les sessions pour l'ensemble des MNNs, sans optimisation de routage.

- Support Étendu (Extended Support): Dans un second temps, le groupe se doit d'étudier les problèmes d'optimisation, en particulier l'optimisation du routage.

6. Architecture NEMO :

La figure 2 montre l'architecture NEMO, où un ou plusieurs routeurs, appelés routeur mobile (MR) (comme TLMR et MR1), agissent comme des passerelles pour les nœuds de réseau mobile (MNNs). Lorsque le point d'attache d'un réseau de téléphonie mobile change en raison de la mobilité, MR effectue le transfert en maintenant le mouvement transparent pour les MNN. La liste suivante énumère les types possibles des MNN:

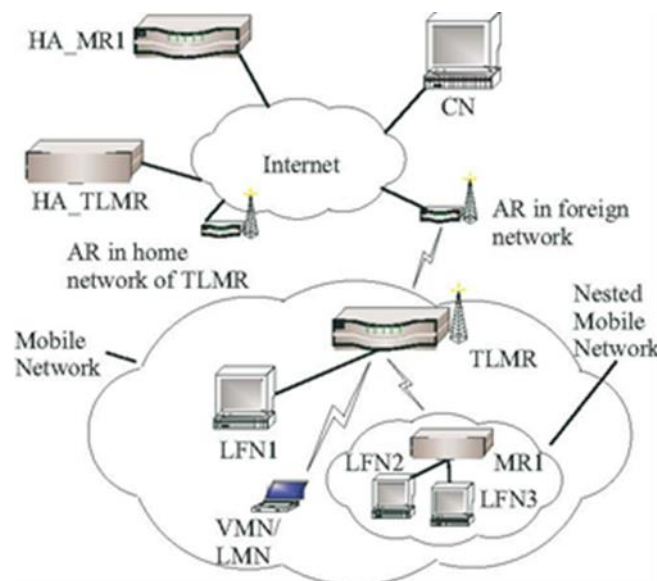


Figure 2 : Architecture de NEMO montrant un niveau d'imbrication

- Nœud fixe local (LFN): Ces nœuds ne se déplacent pas en ce qui concerne le réseau mobile.

- Nœud Mobile Local(LMN): Ces nœuds résident habituellement dans le réseau de téléphonie mobile, mais peuvent se déplacer vers d'autres réseaux.
- Nœud mobile visiteur (VMN): Ces nœuds appartiennent à un autre réseau, mais est actuellement rattaché au réseau mobile.
- MR: Un MNN peut agir comme un MR pour former un réseau imbriqué mobile.

LMN, les VMN et RM en œuvre des protocoles de mobilité; nous allons nous référer à ces nœuds comme mobilité des nœuds Capable (MCN).

Un MR s'attache à l'autre par résonance magnétique pour former un réseau imbriqué mobile. Un certain nombre de MR connectés en série peut se traduire par de multiples niveaux d'imbrication. Un niveau supérieur MR (TLMR) se fixe directement sur le réseau câblé à travers les routeurs d'accès (ARS). Dans la figure 2, le réseau de téléphonie mobile sous MR1 est imbriqué sous réseau mobile de TLMR; réseau mobile de MR1 est imbriqué dans un parmi de ces niveaux.

Le réseau auquel un réseau mobile est généralement relié est appelé le réseau domestique. Un MR est enregistré avec un routeur, appelé Agent d'accueil (HA), dans son réseau domestique. Dans la figure 2, HA_TLMR et MR1 sont Pour les routeurs mobiles TLMR et MR1, Un nœud qui communique avec les MNN est appelé nœud correspondant (CN), qui peut aussi être un MNN. Les CN et les MNN communiquent en utilisant NEMO BSP comme décrit dans Section I-2.

7. NEMO BSP (support de base)

La solution pour le support de base est définie sur le modèle MIPv6 (protocole de gestion de la mobilité des stations) selon des règles préalablement édictées par le groupe de travail dans un document dressant la liste des fonctions requises [Ernst-id], La règle fondamentale est de ne pas imposer de modifications sur les nœuds localisés derrière le routeur mobile (MNNs) et de maintenir les sessions, sans optimisation de routage.

Cette solution permet la seule redirection des paquets destinés aux MNNs vers la position courante du MR. Elle consiste à établir un tunnel bidirectionnel entre le HA et le MR. Le principe de base est que tous les nœuds du réseau mobile partagent le (ou les) même préfixe d'adresse IP (MNP)

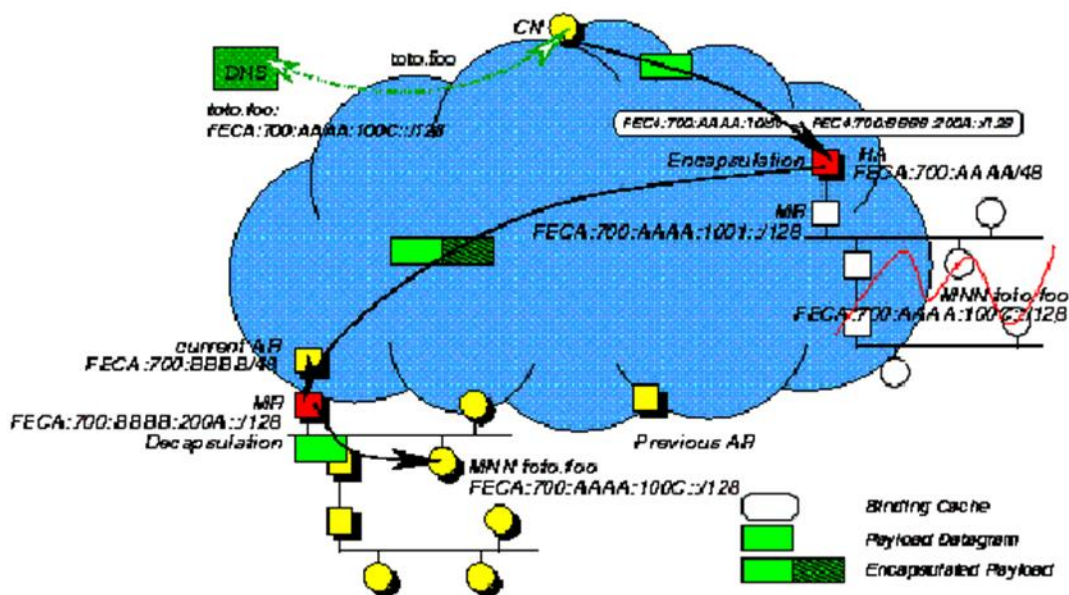


Figure 3 : Support de base de NEMO

Comme dans MIPv6, le support de base gère le problème de la mobilité en allouant deux adresses à chaque interface externe du MR (ou des MRs dans le cas où il y en aurait plusieurs). La première MR_HoA est une adresse permanente qui identifie le MR dans le sous-réseau mère. Elle identifie soit l'interface externe et a pour préfixe celui du sous-réseau mère, soit l'interface interne du MR [RFC 3810], et elle a pour préfixe MNP comme chacun des MNNs du même réseau mobile.

La seconde (MR_CoA) est temporaire (CoA) et est obtenue dans le sous-réseau visité sur lequel l'interface externe du MR prend ancrage. Le protocole établit ainsi une relation entre le préfixe MNP utilisé comme identificateur, et l'adresse temporaire MR_CoA, utilisée pour le routage. Seuls les MRs qui changent leur point d'ancrage obtiennent cette nouvelle adresse, les autres MNNs conservent leur seule adresse MNNMNP ; la gestion de la mobilité leur est ainsi transparente (cf. figure 3).

Le MR fait ensuite parvenir l'adresse temporaire primaire MR_CoA au moyen d'un message de mise-à-jour des préfixes (PBU) à son agent mère (HA). Les PBUs sont des paquets spéciaux contenant un en-tête d'extension Mobility Header. Lorsque HA reçoit un PBU valide (i.e. obéissant aux tests de conformité liés à la sécurité, particulièrement l'authentification de l'émetteur par son destinataire), l'entrée correspondante au MNP est ajoutée ou mise à jour dans son cache (Binding Cache). Elle instruit le HA d'encapsuler les paquets à destination des stations résidants dans le réseau mobile vers la destination effective du réseau mobile (i.e. MRc) dans la mesure où le préfixe de l'adresse de destination correspond à celui enregistré dans le cache.

Lors d'une communication entre un MNN et un CN, le CN n'a pas connaissance de l'adresse de routage temporaire MR_CoA. Les paquets sont donc envoyés normalement vers l'adresse MNNMNP du MNN et routés jusqu'au sous-réseau ayant pour préfixe MNP. Ils parviennent ainsi sur le sous-réseau mère du MR. Les paquets y sont interceptés par le HA puis encapsulés vers MR_CoA comme cela est montré sur la figure 3. A la réception d'un paquet encapsulé, le MR le décapsule et le transmet sur son interface interne. Le paquet que reçoit le MNN ne contient donc plus MR_CoA ; l'opération lui est ainsi transparente. Dans le sens inverse, les paquets sont également encapsulés du MR à son HA.

8. Limitations de NEMO BSP :

NEMO BSP est une extension de MIPv6 qui permet au MIPv6 d'agir comme un routeur avec une capacité délégation d'adresse. Par conséquent, NEMO BSP hérite des limitations de MIPv6 ainsi que d'avoir ses propres limites qui sont décrites ci-dessous.

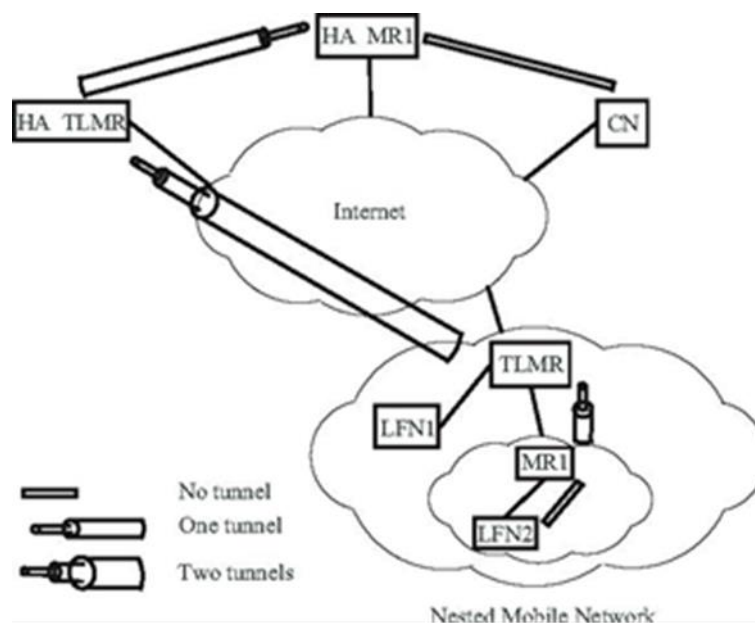


Figure 4 : Multiples tunnel dans le réseau mobile imbriqué

a) Route sous-optimale:

À travers la figure 4, c'est évident que les paquets envoyés par les CN atteignent le réseau mobile à travers un ou plusieurs tunnels bidirectionnels entre le HA et le MR (en raison de nidification). Ainsi, le chemin parcouru par les paquets peut être sous-optimal lorsque le réseau mobile et le CN sont dans le même réseau (ou topologiquement proches) ce qui est loin de HA. La route sous-optimale résulte l'inefficacité telle qu'un grand retard pour traverser bout-à-bout, la

charge supplémentaire sur les infrastructures est susceptible à relier à l'échec. En outre, l'exigence de tous les paquets en provenance ou vers le réseau mobile de passer à travers HA crée des goulots.

Les header overheads est un autre problème associé aux problèmes de la route sous-optimale. Comme un paquet passe à travers chaque tunnel, il est encapsulé dans la taille de paquet accrue résultant l'augmentation de la taille du paquet. L'encapsulation résulte dans les header overheads qui diminuent l'efficacité de la bande passante, et augmente les chances de fragmentation. En outre, les paquets encapsulés sont également décapsulés autant de fois que le nombre d'encapsulations. L'encapsulation et la décapsulation nécessitent tous les deux un traitement additionnel à HA et à MR.

b) Délai des transferts:

Le transfert d'un MR est similaire à celui d'un nœud MIPv6. Quand un MR passe d'un réseau à l'autre, il doit découvrir un routeur d'accès pour obtenir un CoA, et effectuer l'enregistrement avec le HA. Cette procédure de transfert aboutit à un retard qui interrompt les connexions en cours. Les Problèmes de route sous-optimale, traités à la Section I-3-a, renforce le retard.

Le problème de réduction du délai des transferts n'est pas unique à NEMO, et il a été dûment étudié pour MIPv6. Les problèmes de la route sous-optimale sont encore aggravés lorsque la nidification (unique à NEMO) se produit et, par conséquent, RO est un domaine actif de recherche dans NEMO.

Chapitre 3. Optimisation de la route RO dans la mobilité des réseaux

1. Introduction :

Dans la section précédente, nous avons parlé de l'approche suivie par l'IETF, emprise plus par des soucis de coût du déploiement que d'efficacité, et qui vise donc à imposer un minimum de changements. Il existe cependant une multitude d'approches, dont certaines mériteraient une étude approfondie.

Il n'est pas possible d'établir une liste exhaustive des solutions proposées pour supporter la mobilité des réseaux et permettant l'optimisation du routage, car celles-ci sont déjà nombreuses. Elles peuvent néanmoins être regroupées par catégories. La taxinomie que nous proposons ci-dessous est largement inspirée par l'étude des solutions permettant la mobilité des stations. Il nous paraît en effet naturel de faire un parallèle entre la mobilité des réseaux et celle des stations à cause des similitudes de la problématique et des approches existantes. Une telle étude, dont les résultats sont développés dans le chapitre précédent montre que le problème et de routage peut être résolu de plusieurs manières.

L'Optimisation de la Route nécessite le relèvement de plusieurs défis posant des problèmes affectant les performances et l'applicabilité des régimes. Pour le gain de compromis RO avec la performance et l'applicabilité, plusieurs régimes ont été proposés.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les régimes de RO, mais il est plus judicieux de déterminer d'abord les défis et de connaître les enjeux.

2. Les défis de RO :

RO exige le contournement des HA quand les paquets sont envoyés entre le CN et les MNN. Contourner les HA donne lieu à deux défis majeurs suivants qui doivent être abordés par les régimes de RO:

- Comment un paquet étant destiné à un MNN atteint le TLMR attacher au réseau étranger auquel est attaché le MNN (directement ou indirectement)?

- Comment le paquet est-il acheminé à l'intérieur du réseau de téléphonie mobile, après avoir atteint le TLMR?

Les défis sont relevés par la majorité des régimes RO qui mettent l'accent sur l'optimisation de la route entre un CN en réseau filaire et un MNN. Parler des défis mentionnés au-dessus n'est pas suffisant pour optimiser la route entre deux MNN (intra réseaux mobile de communication) qui implique plus d'encapsulation / décapsulation, et une plus longue route que celles requises dans la transmission de paquets entre un CN dans le réseau filaire et un MNN. Le défi de RO dans le cas de réseau intra mobile (RO Intra) est de savoir comment acheminer des paquets entre deux MNN sans laisser de paquets en dehors du réseau mobile; certains régimes RO ont également relevé le défi. Bien que notre accent soit mis sur RO entre le CN et les MNN, les régimes basés sur RO intra sont inclus, car ils optimisent aussi la route pour la communication entre un CN et un MNN.

Nous rapportons si un régime effectue RO Intra lorsqu'on entame les régimes.

3. Les enjeux de RO

Relever les défis mentionnés dans Section III-2 soulève plusieurs défis signalés à l'addition aux header overheads (II-8) et les enjeux RO Intra (III-2) comme donnés ci-dessous.

a. Signalisation:

Lorsqu'un réseau mobile bouge, y a seulement le mouvement de MR qui est visible, car il on a besoin pour effectuer la signalisation avec son HA. Les régimes RO peuvent exiger plus que signalisation de NEMO BSP pour transmettre le préfixe de réseau étranger au CN, et d'exposer la route à partir de TLMR à MNN. Les paquets de signalisation rivalisent avec des paquets de données par-rapport à la bande passante non seulement à l'intérieur du réseau mobile, mais aussi sur Internet.

b. Besoins en Mémoire:

Ces schémas ont pour but de maintenir les informations de différents états en ce qui concerne la route et les paires CN-MNN. Le maintien de ces informations d'état nécessite de la mémoire qui peut être un facteur limitant dans des environnements contraints de mémoire impliquant de petits appareils, par exemple, de petits capteurs et les PDA.

c. Degré de RO:

Dans un effort pour les questions de compromis, comme la signalisation, certains régimes permettent à un ou à deux niveaux de tunnel ou à une non-optimalité d'itinéraire entre un CN et un

MNN. Bien que le niveau de tunnel ou de l'étendue de la non-optimalité soient petites, elle donne lieu aux inefficacités, comme grand retard du temps bout-à-bout, chargé sur l'infrastructure, une susceptibilité accrue aux pannes de liaison, et les header overheads traités à la Section II-8-a. Pour caractériser le degré de RO, on utilise le terme *optimal* et le *proche de l'optimum* pour les routes qui sont optimales et non-optimales (dans une certaine mesure).

d. Header overheads :

Header overheads est l'information supplémentaire qui est mise dans le header pour RO. Les header overheads consomment la bande passante et augmentent les possibilités de la fragmentation.

e. RO Intra:

L'optimisation de la route entre deux MNN au sein d'un réseau mobile est appelé RO Intra. En mettant l'accent sur l'optimisation de la route entre un CN et un MNN, quelques-uns des régimes ne tiennent pas compte de RO Intra.

f. Déployabilité:

Les régimes proposent de nouvelles fonctionnalités pour les hôtes et les routeurs existants sur Internet, pour les entités de mobilité tels que les MR, HA, et même ils proposent de nouvelles entités. Des changements dans les entités de mobilité sont tolérables car ils vont être introduits dans l'infrastructure existante si le support NEMO est exigé. Les changements dans les fonctionnalités dans les hôtes et les routeurs dans les infrastructures existantes ne peuvent pas être facilement applicables tenant compte la question de déployabilité.

g. Gestion des localisations:

La gestion des emplacements est le suivie de l'emplacement d'un MNN pour assurer la continuité d'accessibilité et le maintien de session. Dans NEMO BSP et certains régimes RO, la gestion de localisation est effectuée par HA. D'autre part, certains régimes proposent la gestion de localisation par les CN, TLMRS, les routeurs (le plus proche de CN) dans l'Internet, ou par certaines entités nouvelles. La gestion des emplacements se fait par HA, TLMR ou par de nouvelles entités, elle est facilement déployable, mais sensibles à l'échec. La gestion des emplacements par les CN ou les routeurs d'Internet est moins sujette à des défaillances à cause de la non-utilisation de la gestion de localisation, mais nécessite des changements dans les routeurs existants et les hôtes soulève la question de déployabilité.

h. La transparence de localisation:

Dans NEMO BSP, les MNN sauf les MR, et les CN sont transparents pour changer d'emplacement. Dans un effort pour optimiser la route, quelques-uns des régimes sacrifient la

transparence de localisation entraînant l'obligation de soutien à la mobilité des deux MNN et CN, cela rend les régimes difficiles à déployer en raison des changements requis dans la fonctionnalité des hôtes dans l'Internet.

Les huit questions mentionnées ci-dessus sont utilisées comme critères de comparaison entre les régimes dans le présent chapitre. D'autres critères spécifiques à une classe sont introduits plus tard pour la comparaison entre les régimes.

4. Les régimes de RO :

Pour relever les défis mentionnés dans Section III-2, plusieurs régimes de RO ont été proposés dans la littérature. Pour troquer les questions mentionnées dans la Section III-3, les régimes suivent des approches variées. Basée sur l'approche utilisée, les différents régimes de RO qui ont été proposées peuvent généralement être classés comme suit:

- Délégation
- Hiérarchique
- Le routage source
- BGP-assisté

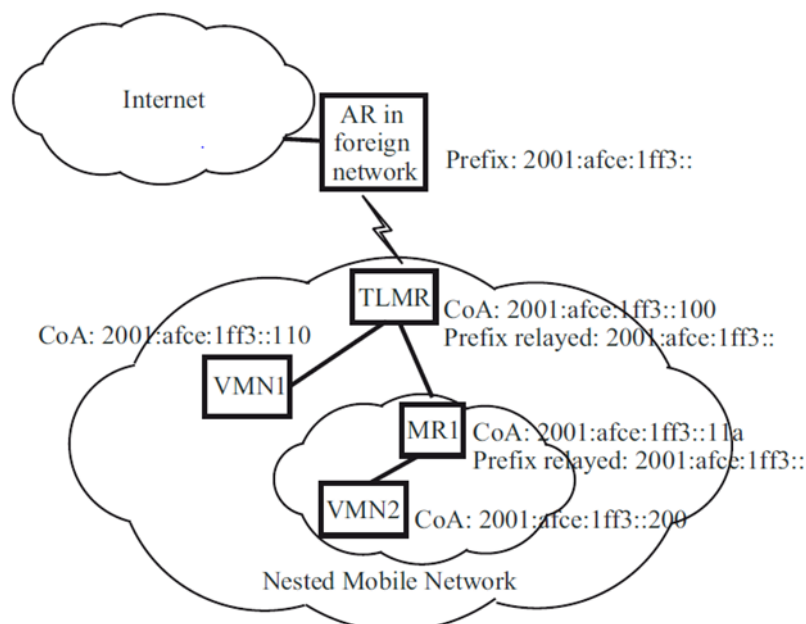


Figure 1 : Approche de Délégation pour l'optimisation des itinéraires.

Basé sur des questions (voir la Section III-3) sur lesquelles les classes varient, le tableau I présente un résumé comparatif des classes. Dans le reste de ce chapitre, nous présentons le principe de base de chaque classe, une description et une comparaison des régimes.

4.1. Délégation:

Dans cette classe, le préfixe du réseau étranger est délégué à l'intérieur du réseau mobile. Les MCN obtiennent les CoA à partir du préfixe et envoient les BU respectivement aux HA et aux CN. Par conséquent, tous les paquets venant de CN, adressés au CoA, atteignent le réseau étranger sans passer par les HA. Par exemple, comme le montre la Figure 1, préfixe 2001: AFCE: 1ff3 :: est transmis par TLMR à l'intérieur de son réseau mobile. VMN1 et MR1 obtiennent CoA 2001: AFCE: 1ff3: 110 et 2001: AFCE: 1ff3: 11a, respectivement, MR1, à son tour, transmet le préfixe à l'intérieur de son réseau. La procédure d'obtention de CoA à partir de préfixe réseau étranger et l'acheminement des paquets à l'intérieur du réseau de téléphonie mobile varie selon les régimes de cette classe résultant à des changements par-rapport à la signalisation et aux besoins en mémoire. Une comparaison basée sur les différences est présentée dans le tableau II.

Le concept de délégation préfixe est simple, il fournit un itinéraire optimal caractérisé par une baisse des header overheads tout en sacrifiant la transparence de localisation. Ce qui donne que l'envoi de BU au CN exige une signalisation supplémentaire avec présence exigée d'un support de protocole (Gestion de localisation par HA) pour CN, ce qui rend ces régimes difficiles à déployer. D'ailleurs les régimes non plus, ne se concentrent pas sur RO Intra.

a) Délégation Préfixe simple:

Dans délégation Préfixe simple, proposé par Lee et al. [1], Un préfixe qui peut être regroupé au préfixe du réseau étranger est hiérarchiquement délégué aux MR. Les MR publient le préfixe délégué à l'intérieur de son propre réseau en utilisant l'option Préfixe délégué dans le header. Depuis, le préfixe est hiérarchiquement délégué, la transmission de paquets à l'intérieur du réseau mobile peut être faite sur la base de préfixe d'adresse de destination. Finalement, ce régime nécessite un délégrant préfix dans chaque réseau mobile, ce qui entraîne une charge supplémentaire qui consiste à effectuer des fonctionnalités supplémentaires liées à la délégation préfixe. Son coût de signalisation est proportionnelle au nombre des MCN, et moyen par-rapport au montant de signalisation des autres régimes dans cette classe. Le besoin en mémoire requis est faible car seulement les préfixes MR attachés qui doivent être suivis jusqu'au saut suivant. L'avantage de la signalisation n'étant pas de coûts élevés a causé la non-optimalité de route par-rapport aux LFN alors que le chemin des MCN est parfaitement optimisée.

Le régime, proposé par Mimoune et al. [2], est très semblable au régime délégation Préfixe simple en termes de délégation de préfixe et l'obtention de CoA. Contrairement au système où les CN sont misent à jour par les MCN, MR avertis les routeurs de rebord dans le réseau à domestique concernant le préfixe délégué. Le routeur de rebord fait une entrée qui trace le préfixe domestique vers le préfixe délégué, et en informe les autres routeurs de rebord qui à leurs tours informe le CN

au sujet du préfixe juste après que la communication commence. Le CN obtient les CoA de MNN obtenus en combinant son HoA et le préfixe informé par le routeur, il peut envoyer des paquets en utilisant les CoA de MNN. Bien que le régime réduise la charge de signalisation qui est répartie entre les routeurs de rebord, les fonctionnalités du CN et les routeurs doit être modifiée nécessitant un changement dans l'infrastructure.

b) Découverte de voisinage proxy (ND-Proxy):

Dans ce schéma, proposé par Jeong et al. [3], RO est réalisé par la publicité du préfixe de réseau étranger à l'intérieur du réseau mobile. Chaque MR obtient un CoA à partir du préfixe annoncé et annonce le préfixe à l'intérieur de son réseau mobile. Tous les MCN utilisent le préfixe annoncé pour obtenir les CoA. Le routage des paquets est différent de la délégation préfixe simple (lorsque le préfixe est hiérarchiquement délégué), car toutes les adresses sont obtenues à partir d'un préfixe unique. Lorsque TLMR reçoit un paquet destiné à un MNN et le prochain saut vers la destination n'est pas présent dans la table de routage, il émet alors une requête de découverte de voisinage. Un MR attaché ci-dessous répond si c'est le CoA de MNN recherché, qui est directement sous le MR. Sinon, le MR retransmet le message de recherche aux MR ci-dessous, et là effectivement les MR sont comme proxy (mandataire) pour les MNN en ce qui concerne la découverte du voisinage.

Le Routage utilisé dans ND-Proxy va introduire du retard au début de la communication. Mais, il a l'avantage de ne pas nécessiter un déléguant préfix dans tous les réseaux mobiles. La Condition de signalisation est similaire à celle de délégation préfixe simple alors que le besoin en mémoire est légèrement supérieur à la délégation préfixe simple pour le maintien des entrées de routage pour tous les MNN communiquant en dessous de l'MR.

Dans un autre schéma proposé par Song et al. [4], les MR annoncent seulement les préfixes AR aux MR attachés qui effectuent l'optimisation des routes pour le compte des MNN en envoyant BU au niveau des CN correspondants, comme les MR ont besoin d'envoyer le BU à tous les CN, et de suivre tous les CN, la signalisation et les besoins en mémoire pour le régime est élevé dans ce schéma.

c) Le routage optimal pour la mobilité du réseau (Optinet):

Perera et al. [5], ont proposé une architecture appelée Optinet qui est similaire à la délégation Préfixe simple, mais à la procédure préfixe délégation différente. Contrairement à la préfixe délégation simple, un client DHCP dans un MR obtient un préfixe du réseau qu'il attache à (soit un réseau mobile ou un réseau câblé). Petander et al. [6], ont étendu Optinet (χ Optinet) qui réduit la signalisation en limitant l'obtention des CoA aux nœuds qui sont activement communiquant avec le CN au cours de transfert. En outre, χ Optinet optimise la route pour les LFN

Classe	Degré de RO	Intra RO	Signalisation	Header overheads	Déployabilité	Emplacement
Délégation	Optimal	Non	Haute	Faible	Difficile	Non
Hiérarchique	proche de l'optimum	Oui	Faible	Moyen	Facile	Oui
Routage source	Optimal	Non	Haute	Forte	Difficile	Non
BGI-assistée	Proche de l'optimum	Oui	Faible	Faible	Difficile	Oui

Tableau I : Comparaison entre les classes

Régime	Signalisation	Besoins en mémoire	Overheads
délégation préfixe simples	Moyen	Plus Faible	Plus de retard de bout en bout LFN
ND-Proxy	Moyen	Faible	Retard supplémentaire au début de la communication
Optimet	Haute	Haute	Aucun
Miron	Haute	Haute	Aucun
Ad hoc-Basique	Moyen	Faible	Plus de retard de bout en bout LFN, l'inondation des messages de protocole ad-hoc
OPR	Faible	Haute	Traitement par paquet
HIP-Basique	Haute	Haute	Traitement par paquet

Tableau II : Comparaison entre les régimes dans la classe Délégation

en ayant le MR qui effectue une signalisation de RO pour le compte des LFN. Contrairement à d'autres régimes dans Section III-4-1, Optimet exige un client DHCP et un serveur à chaque réseau mobile. Par ailleurs, l'optimisation des itinéraires LFN nécessite l'envoi des BU pour les CN, le suivi des communications LFN-CN résulte respectivement en grande quantité de signalisation et des besoins en mémoire

d) Optimisation itinéraire mobile IPv6 pour NEMO (MIRON):

Dans le régime MIRON, proposé par Calderon et al. [7], comme ND-proxy, les MCN obtiennent le CoA à partir du préfixe du réseau d'accès étranger. Lors de la fixation à un MR, un MCN obtient un CoA à partir de préfixe local de MR, et envoie un BU à son HA. Le MR intercepte le BU et notifie MCN pour obtenir un nouveau CoA en utilisant le PANA et le DHCP. Le MCN envoie une requête DHCP pour obtenir un CoA au lieu de transmettre le préfixe (comme ND-Proxy) à l'intérieur du réseau mobile, ce régime transmet la requête au serveur DHCP sur le réseau étranger. Le CoA concerné est ensuite transféré vers le MCN. La transmission est effectuée par le client DHCP et les composants du serveur dans les MR. Après l'obtention d'un CoA, le MR avise les MCN attachés à obtenir un CoA. Cette procédure d'obtention de CoA est répétée à chaque transfert et elle prend plus de temps que dans les autres régimes présentés dans la Section III-4-1. Comme χ Optinet, MIRON optimise l'itinéraire pour les LFN en ayant le MR qui se charge d'effectuer des signalisations RO pour les LFN attachés, d'où la signalisation et le besoin en mémoire sont élevés.

e) Ad hoc-basique:

En ad hoc-basique le schéma proposé par Su et al. [8], comme ND-Proxy, les MCN obtiennent un CoA à partir du préfixe du réseau étranger. Contrairement à ND-proxy, par-rapport à l'acheminement à l'intérieur du réseau mobile, la route entre le MNN et le AR dans le réseau étranger est découvert en utilisant le protocole ad hoc. La découverte du chemin exige trop de messages qui consomment de la bande passante et qui introduisent de retard au début de la communication ou après l'interruption de la communication causée par le transfert. En outre, les protocoles des réseaux ad hoc sont destinés à des réseaux instables, et à ceux qui ne profitent pas de la nature hiérarchique des réseaux mobiles imbriqués. Etant donné que ces protocoles n'optimisent pas la route pour les LFN, l'exigence de signalisation est semblable à la délégation Préfixe simple de plus un grand retard bout-à-bout des paquets LFN. Puisque ces protocoles exigent le maintien des entrées de routage pour tous les MNN communicants, le besoin en mémoire est semblable à ND-Proxy.

f) Inscription du chemin optimal (OPR):

Dans ce régime proposé par Park et al. [9], comme dans ND-Proxy et dans ad hoc-basique, le préfixe du réseau étranger est annoncé à l'intérieur du réseau mobile. La différence entre OPR et les régimes ND-Proxy et ad hoc basique, réside dans la transmission unique du préfixe aux MR, résultant un mouvement transparent des autres MNN. Pour assurer la transparence de mouvement, les MR traduisent le préfixe des adresses source /destination des paquets entrants / sortants de son réseau. La transparence de mouvement entraîne une charge supplémentaire qui pèse sur la mémoire, ceci est dû au maintien d'une table de traduction et le traitement des coûts par paquet pour la traduction des adresses. La signalisation est faible dans OPR et ça par-rapport aux régimes qui ont déjà été vu dans la Section III-4-1 en raison du non envoi des BU au niveau des CN. Pour compenser cela, les CN sont informés du changement de l'adresse traduite (comme pour CoA dans d'autres régimes) en marquant le header du paquet. Cela évalue la mémoire haute de MR en raison de la gestion d'état de chaque paire communicante CN-MNN plus les overheads de traitement pour chaque paquet.

Kim et al. Ont proposé un régime qui améliore la performance de l'OPR en réduisant d'avantage le nombre de BU. Afin de réduire le BU. [10], le régime proposé par Kim exige que tous les HA rejoignent un groupe multicast, qui est géré soit par AR ou par HA cela dépend du moment où le groupe multicast soit formé. Pour la mise à jour de localisation, AR envoie un BU au groupe multicast qui atteint tous les HA. Toutefois, ce régime nécessite qu'une fonctionnalité des AR soit modifiée pour RO, et donc pas facilement déployable.

g) HIP-basique:

L'optimisation d'itinéraires dans le Protocole d'Identification de l'Hôte (HIP-basique) est proposée par Novaczki et al. [11], Comme les MR dans d'autres régimes de cette classe, les serveurs Rendez-vous mobiles (mRSVs) dans HIP-NEMO obtiennent un préfixe par le réseau étranger et délèguent des parties de préfixe aux mRSV attachés pour l'identification à l'intérieur du réseau mobile. Pour l'optimisation de route, le mRSV utilise le préfixe comme identificateur d'emplacement des MNN lors de l'envoi des mises à jour de localisation pour les CN et les RSV (agit comme HA et DNS), et traduit l'adresse source / destination des paquets sortants / entrants. Quand un mRSV s'attache à un AR, il obtient un nouveau préfixe, effectue la mise à jour de localisation en signalant avec les CN et les RSV auprès des MNN, et met à jour le préfixe des mRSV attachés qui feront également la même chose. La Mise à jour de Localisation attaché au réseau mobile et à la délégation de signalisation aux mRSV est effectuée selon le HIP. La signalisation pour ce régime est la même que MIRON en raison de l'envoi des mises à jour de localisation à l'ensemble des CN. Les besoins en mémoire et la surcharge de traitement par paquets sont comme pour OPR, en raison d'une similitude dans le processus de traduction d'adresse. Bien que les entités qui gèrent les fonctionnalités de mobilité tels que la mise à jour de localisation, la cartographie d'adresse sont des entités définies dans HIP, l'approche de base est essentiellement la même que les autres régimes dans cette classe, ce qui justifie que ce régime soit dans cette classe.

4.2. Hiérarchique:

Dans la classe hiérarchique, un paquet, plutôt que de voyager à travers toutes les HA, atteint le réseau étranger, soit à partir des HA des MNN (première HA) ou juste voyager à travers HA de MNN et TLMR. Contrairement à l'approche délégation, un MR n'envoie pas son CoA au niveau des CN. Plutôt, un MR envoie des CoA ou HoA de TLMR pour HA. Les CN utilisent des HoA de MNN pour envoyer des paquets à un MNN. Les paquets envoyés par le CN pour MNN, atteignent les HA de MNN qui acheminent les paquets à CoA de TLMR ou HoA. Les paquets, acheminés à CoA, rejoignent directement le réseau étranger, alors que les paquets, acheminés à HoA, atteignent HA de TLMR qui les achemine à TLMR. En arrivant à TLMR, les paquets sont acheminés vers MNN par les MR qui maintiennent une table de routage contenant la cartographie du préfixe MNN jusqu'au saut suivant de MR.

La figure 2 montre une vue abstraite de la classe hiérarchique. Le CoA de TLMR est passé à HA_MR1 et HA_VMN par MR1 et VMN. Ainsi MR1 et VMN envoient leurs CoA à TLMR pour activer le transfert à l'intérieur du réseau mobile. Par conséquent, un paquet envoyé à VMN parvient d'abord à HA_VMN qui achemine le paquet au TLMR pour la transmission vers le VMN. Ainsi, la

voie de communication est divisée en deux parties: la route entre TLMR et HA_VMN, et la route entre TLMR et VMN. Ceci dit qu'au minimum il existe un tunnel entre le TLMR et HA_VMN. La route entre le CN et MR1 est similaire à celle qui est entre CN et VMN.

Les systèmes de cette classe diffèrent essentiellement dans l'usage de CoA_TLMR ou de HoA pour le routage, les techniques de transmission d'adresse de TLMR aux MR et de routage de paquets à l'intérieur du réseau mobile résultent des changements dans la signalisation, dans les besoins en mémoire et aussi dans le degré de RO. Ainsi, et en fonction d'utilisation de HoA ou sinon de CoA du TLMR, le nombre de tunnels utilisés pour la communication diffère selon le régime, le nombre de tunnels affecte le degré de RO et les header overheads. Les entités de gestion de localisation varient également selon les régimes. Un résumé comparatif basé sur ces différences est présenté dans le tableau III.

Les régimes dans cette catégorie nécessitent moins de signalisation que les régimes délégation-basique car aucun BU n'est envoyé aux CN à l'exception de quelque uns. Cela rend également les CN transparent à la mobilité des MNN communicants, ce qui donne la transparence de localisation et la déployabilité facile. De plus, aucun BU n'est envoyé à HA pour le mouvement intra réseau mobile en raison de l'adresse TLMR inchangée, ce qui entraîne une réduction de signalisation ; ce qui ressemble à MIPv6 hiérarchiques, d'où le nom hiérarchique. Finalement, les régimes de cette classe se concentrent sur RO Intra. Certain régimes ont le défaut du paquet passant par un ou deux tunnels, résultant en route presque optimale et à des header overhead.

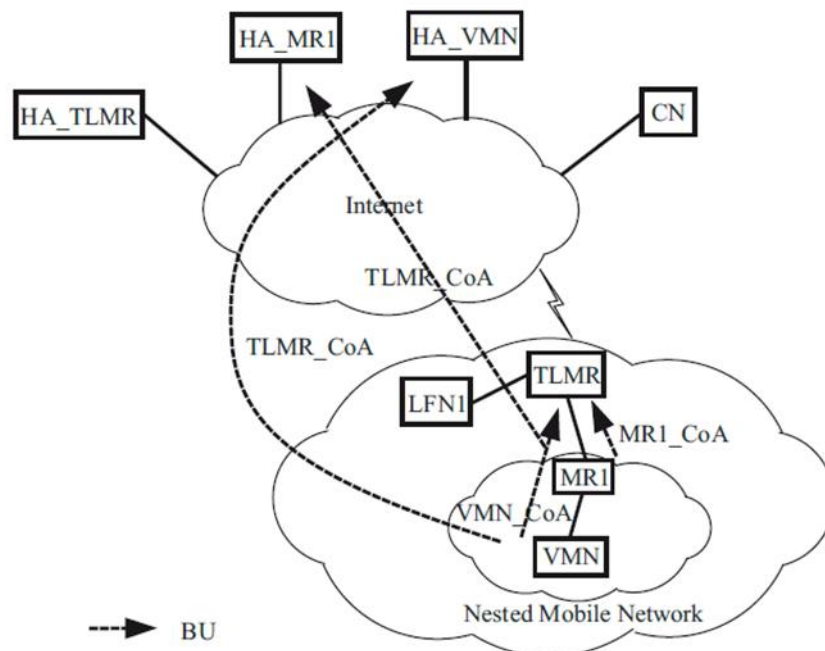


Figure 2 : Approche hiérarchique pour optimiser les routes.

a) NEMO Optimisée (ONEMO):

Ce régime, proposé par Watari et al. [12], utilise un message étendu RA pour transmettre le CoA de TLMR aux MR imbriqués. Contrairement aux autres régimes de cette classe, au lieu d'envoyer le CoA à HA, les MR imbriqués envoient le CoA au routeur le plus proche de CN qui achemine les Paquets (envoyé par CN) à TLMR. Le routeur qui permet de suivre l'emplacement de MR, est découvert par le MR dès qu'il reçoit le premier paquet à travers HA. La découverte est initiée par le MR en envoyant un message à une adresse quelconque qui est formée à partir du préfixe de CN. La découverte du routeur et l'envoi de CoA exigent des signalisations supplémentaires; nous le considérons donc comme signalisation moyenne (au lieu de bas) dans le tableau III. Le routeur achemine les paquets -envoyés par le CN à MNN- pour TLMR qui acheminera les paquets à l'intérieur du réseau mobile. Contrairement à la plupart des régimes dans cette classe, la capacité de déploiement de ce système est difficile en raison de l'exigence de l'appui d'un routeur dans chaque réseau CN.

b) Optimisation de Route en utilisant l'option arbre de l'information (ROTIO):

Dans ROTIO, proposé par Cho et al. [13], le HoA de TLMR et le CoA des intermédiaires MR (les MR entre le TLMR et un MNN) sont transportés vers le MR en utilisant des messages RA qui contiennent l'option arbre de l'information représentant la structure de nidification. Chaque MR ajoute son CoA au RA qui était envoyé par le TLMR, et transmette le RA vers le niveau bas d'imbrication. Ainsi, un MR connaît le CoA des MR intermédiaires par RA, et envoie deux BU: un à son HA contenant HoA de TLMR, et un autre au TLMR contenant la liste des CoA des MR ci-dessus. Par conséquent, l'emplacement de MR est suivi par le HA du MR, HA_TLMR et le TLMR, et HA de MR peut acheminer des paquets à HoA de TLMR. Le TLMR, connaissant la structure d'imbrication du réseau mobile à travers les BU, peut router des paquets à l'intérieur du réseau mobile. L'inconvénient de ce système est les paquets qui passent par deux tunnels, un entre HA de MR et HA de TLMR, et un autre entre HA_TLMR et TLMR. Un tunnel supplémentaire par rapport à ONEMO est compensé par la baisse de la signalisation au niveau de transfert de TLMR.

c) RO pour réseau mobile imbriqué dans le domaine de mobilité locale au moyen d'ancrages locaux de la mobilité (LRO):

Dans LRO proposé par Li-hua et al. [14], un préfixe utilisé dans le domaine de la mobilité

Régime	Degré de RO	Tunnel	Signalisation	Besoins en mémoire	Gestion de la localisation
ONEMO	Proche de l'optimum	Un	Moyen	Faible	HA et le Routeur dans le réseau de CN
ROTIO	Proche de l'optimum	Deux	Plus Faible	Faible	HA, HA de TLMR et TLMR
LRO	Proche de l'optimum	Un	Faible	Faible	HA et LMA
χ LIN6-NEMO	proche de l'optimum	Aucun	Haute	Haute	Mappage des agents
HMNR	Proche de l'optimum	Un	Moyen	Faible	HA et TLMR
ROAD	Optimal	Aucun	Haute	Faible	HA et CN
HMSRO	Proche de l'optimum	Un	Faible	Faible	HA et TLMR ou AR
Light-NEMO	Proche de l'optimum	Un	Faible	Faible	HA et TLMR
Light-NEMO	Optimal	Aucun	Haute	Haute	HA et CN
ROPIO	Proche de l'optimum	Un	Moyen	Faible	HA et TLMR
HMNB	Proche de l'optimum	Deux	Plus Faible	Faible	HA, HA de TLMR et TLMR
HIP-Basique	Optimal	Aucun	Haute	Haute	TLMR et CN
HMIP-Basique	Proche de l'optimum	Deux/Trois	Faible	Faible	HA et MAP
MoRaRo	Optimal	Aucun	Haute	Haute	TLMR et CN

Tableau III : Une comparaison des régimes dans la classe Hiérarchique

locale est annoncé à tous les MR par un renforcement des RA. Les MR obtiennent CoA à partir du préfixe, et envoie BU à son HA. Un autre BU est envoyé à Local Mobility Anchor (LMA) contient des entrées telles que CoA, HoA, et le préfixe domicile de MR et l'adresse de HA ; par conséquent, le LMA crée un BE contenant les entrées, et effectue la gestion de localisation avec HA. Un paquet, envoyé du CN à LFN, atteint HA de LFN qui achemine le paquet au MR. Le paquet atteint le LMA qui recherche la destination (CoA) en BE. Concernant la recherche de l'adresse en BE, LMA transmet le paquet à MR à travers les MR intermédiaires et les routeurs qui ont déjà le routage d'entrée (créé à partir de BU envoyé par MR à LMA) pour le CoA. Sur réception des paquets de domaine local, le LMA décapsule le paquet à la recherche de son BE pour le préfixe de la destination intérieure. S'il est trouvé, alors il dirige le paquet vers le domaine local, sinon, l'encapsulation du paquet est restaurée à nouveau et transmise à HA. Par conséquent, le régime peut traiter RO Intra d'une manière proche de l'optimum, mais implique un tunnel dans tous les cas.

d) Protocole NEMO basé sur la localisation indépendante dans le réseau IPv6 (χ LIN6-NEMO):

Dans χ LIN6-NEMO proposé par Banno et al. [15], comme ONEMO, les MR obtiennent le préfixe du réseau étendu étranger par le biais de RA, et envoie le préfixe (par BU) à l'agent de cartographie (les MA) qui agit (par exemple effectue la gestion de localisation) comme le HA. Les MA interceptent les paquets qui sont envoyés par le CN pour MNN, remplacent le préfixe de l'adresse de destination par le préfixe du réseau étranger, et transmettent les paquets vers le MNN. Contrairement aux autres modèles de cette catégorie, les paquets atteignent TLMR par MA (donc, près de la route optimale) sans aucun tunnel en raison de la procédure de remplacement de préfixe. TLMR reporte le paquet à l'intérieur du réseau de téléphonie mobile après la restauration du préfixe

de l'adresse de destination pour le préfixe MNN. La localisation indépendante de gestion réseau est réalisée en utilisant toujours le préfixe du réseau à l'emplacement actuel de MNN. La traduction de préfixe est transparente à la couche de transport ou au-dessus où une adresse d'emplacement indépendante, est formée en combinant un identificateur d'emplacement indépendant et un préfixe. Le régime diminue le risque de point de défaillance unique en utilisant les MA multiples dispersés dans l'Internet, ce qui augmente la signalisation nécessaire pour mettre à jour tous les MA. En outre, les besoins en mémoire sont élevés en raison d'un suivi des préfixes MNN par le TLMR pour transmettre les paquets à l'intérieur du réseau mobile.

e) Le routage hiérarchique dans les réseaux mobile (HMNR):

Dans HMNR proposé par Jeong et al. [16], comme ONEMO, l'étendu RA est utilisé pour transmettre CoA TLMR aux MR. Les MCN envoient BU contenant des CoA de TLMR aux HA (contrairement au ONEMO où CoA TLMR est envoyé à un routeur). Par conséquent, à la fois HA et TLMR en combinaison gardent la trace de l'emplacement du MNN. Les paquets envoyés à partir de CN à MNN atteignent HA qui achemine les paquets à TLMR. Pour acheminer les paquets de TLMR à MNN, chaque MR maintient une table de routage du préfixe d'un MR à l'adresse du saut suivant. Le tableau est construit par les MR des BU envoyés des MR ci-dessous. La Mémoire nécessaire pour la table est faible parce que le nombre des MR est faible dans un réseau mobile. Mais les BU envoyés des MR ci-dessous, en plus des BU () envoyés aux HA aboutissent à la signalisation montante qui est un peu plus élevée que () LRO. Kim et al. [17], ont proposé un autre régime qui est similaire à HMNR en termes de transport CoA TLMR aux MR pour l'envoi à leur HA. Contrairement à HMNR où CoA est obtenu à partir du préfixe d'accueil du réseau mobile, tous les MR obtiennent CoA à partir de préfixe de TLMR, un protocole de routage, de préférence RIPng est utilisé pour acheminer les paquets à l'intérieur des réseaux mobiles.

f) Optimisation de Route à l'aide d'additionnelle information sur la destination (ROAD):

ROAD, proposé par Park et al. [18], est très similaire à HMNR à l'exception que ce régime propose aux MCN d'envoyer BU, contenant le CoA TLMR, pour les CN qui utilisent le CoA comme adresse de destination des paquets envoyés à MNN. BU contient également les HoA MCN et CoA qui sont mis dans un en-tête supplémentaire de paquets envoyés par le CN. Chaque MR a un préfixe-CoA (de niveau inférieur des MR) de mappage qui est utilisé pour remplacer la destination et la source des paquets entrants et sortants, contrairement à la plupart des régimes de cette classe, ce régime évite de acheminer les paquets à travers le HA pour sécuriser la route optimale au coût de la signalisation par l'envoi de BU aux CN.

g) Support de la mobilité hiérarchique pour l'optimisation de la Route (HMSRO):

Kuo et al. [19], ont proposé HMSRO qui est très semblable au régime HMNR à l'exception du processus de construction de la table de routage. Contrairement AU HMNR, un MR construit la table de routage à l'aide des BU, envoyée par les MR de TLMR, résultant en moins grand nombre de BU (c.-à-dire signalisation) par rapport à HMNR. Un schéma proposé par Kim et al. [20], est similaire à HMSRO avec trois exceptions :

- Adresse AR est utilisée à la place de la CoA TLMR.
- le routage de source est utilisé pour la route de paquets à l'intérieur du réseau mobile.
- Les MCN peuvent envoyer BU au niveau des CN résultant de l'accroissement de signalisation.

h) Light-NEMO:

Light-NEMO, proposé par Jouaber et al. [21], est similaire à HMSRO à l'exception de la création d'une entrée de routage par l'intermédiaire des MR par BU envoyé par un MCN à son HA. En outre, chaque MR échange l'adresse source par son propre CoA; éventuellement HA obtient le CoA TLMR, qui est utilisé par le HA pour acheminer des paquets au réseau mobile. Light-NEMO est prolongée pour enlever le tunnel HA-TLMR en ayant les MCN effectué le RO MIPv6, et comme MIRON, les MR effectuent RO au nom des LFN. Par conséquent, contrairement à la plupart des régimes dans cette classe l'exigence de signalisation et de la mémoire est élevée. Contrairement à HMSRO, en étendue Light-NEMO, le CN assure la gestion d'emplacement avec HA.

i) Optimisation en utilisant l'option du préfixe de l'information (RO-PIO):

Dans ROPIO, proposé par Lu et al. [22], le préfixe TLMR et CoA sont annoncés (à l'aide PIO) aux MR imbriqués qui obtiennent CoA à partir du préfixe TLMR. MR imbriqués envoient un BU contenant son CoA à TLMR et un autre contenant CoA TLMR à HA. Ainsi, HA et TLMR en combinaison gardent la trace de l'emplacement MR. Les paquets envoyés à partir du CN atteignent HA qui achemine les paquets à TLMR. TLMR Décapsule et achemine le paquet vers la imbriquée MR. Les paquets sur le chemin inverse sont acheminés à HA par MR, et sont décapsulés par TLMR qui vérifie si le préfixe de destination est enregistré avec lui. Si oui, alors le paquet est acheminé au MR correspondant au préfixe enregistré (RO Intra). Sinon, le paquet est encapsulé à HA avec l'adresse source modifiée à CoA TLMR. Le schéma est similaire à HMSRO à l'exception du processus de transport de CoA TLMR aux imbriqués MR, et donc la signalisation et les besoins en mémoire sont similaires à HMSRO.

j) Liaison hiérarchique dans les réseaux mobiles (HMNB):

Jeong et al. [23], Proposé HMNB qui est similaire à HMNR et HMSRO à l'exception que dans HMNB, comme ROTIO, les MR envoient HoA TLMR (au lieu de CoA) pour les HA. Ainsi, les MR n'ont pas besoin d'envoyés aucun BU lorsque le TLMR change de réseau, résultant en moins de signalisation. L'inconvénient de ce système c'est le chemin des paquets à travers deux tunnels à la différence de celui de HMNR et HMSRO. Selon la fréquence de transfert, le régime propose de basculer entre HMNR et HMNB, avec le compromis de signalisation et un tunnel supplémentaire.

k) HIP-basique:

Host Identity Protocol (HIP) qui prend en charge la mobilité et multi-homing pour les hôtes, il est utilisé pour NEMO dans le schéma proposé par Ylitalo et al. [24], Dans HIP, chaque hôte utilise une adresse unique au niveau des couches supérieures, les changements de localisation sont gérés de manière transparente au niveau des couches inférieures. Au début de la communication dans HIP, les hôtes (peut être un MNN) établissent une clé qui est utilisée pour l'actualisation de localisation. Le principe de base de HIP-basique NEMO est l'utilisation de la clé pour autoriser MR à effectuer la mise jours d'emplacement pour le compte des MNN. L'autorisation aura lieu quand un MNN rejoint le réseau de téléphonie mobile; en imbriquée NEMO, l'autorisation est effectuée à différents niveaux. Quand un paquet est envoyé à partir d'un MNN au CN, chaque MR utilise la traduction du préfixe de l'adresse source afin d'éviter le tunnel. Niveau par niveau l'autorisation et la traduction préfixe exigent le maintien de toutes les sessions HIP passant par un MR. Bien que le régime ne ressemble pas directement les autres régimes dans la classe hiérarchique, le régime est inclus ici parce que la signalisation est réalisée par le TLMR au nom de tous les MNN. En outre, comme la plupart des régimes en classe hiérarchique, le TLMR effectue la gestion d'emplacement. Les inconvénients majeurs de ce régime sont les difficultés en large déploiement en raison de l'exigence de HIP dans les hôtes et la signalisation haute pour mettre à jour les CN et une grande mémoire pour TLMR pour maintenir les états pour toutes les sessions HIP en cours à travers elle.

l) HMIP-basique:

RO basée sur HMIPv6 où les MCN obtiennent deux CoA-a-CoA régional (RCoA) obtenu à partir du préfixe du point d'ancrage la mobilité (MAP), et un local CoA (LCoA) obtenu à partir du préfixe de réseau mobile. Les MCN également envoient deux BU, un à MAP et un autre à HA. MAP crée BE de BU qui contient RCoA, LCoA et les préfixes de MR, il permet également d'extraire la structure arborescente (utilisé pour le routage en-tête) du réseau mobile. HA crée un BE à partir contenant HoA et RCoA. Ainsi, HA et MAP gardent la trace d'un MCN.

Les paquets envoyés par le CN aux MNN, atteignent HA qui acheminent les paquets vers le MAP en utilisant RCoA; MAP utilise LCoA pour acheminer les paquets vers le réseau mobile avec

la spécification de la route à l'intérieur du réseau mobile à l'aide de l'en-tête de routage. Les paquets envoyés à partir du réseau mobile à CN sont acheminés par chaque MR intermédiaire pour éviter les infiltrations de filtrage, et le MAP libère les paquets de tunnel avant de les transmettre au CN. Contrairement aux autres modèles de cette catégorie, le MAP exécute les fonctionnalités RO de TLMR pour éviter d'envoyer BU à HA pour le mouvement dans un même domaine, conquérant de la signalisation faible mais au coût des tunnels supplémentaires.

Le schéma proposé par Kim et al. [25], diffère du schéma proposé dans le routage des paquets à l'intérieur du réseau mobile. Les paquets envoyés à partir de MNN au CN sont acheminés par le MR à son HA en utilisant RCoA au lieu de LCoA comme source pour éviter le tunnel.

Régimes proposés par Park et al. [26], et Hu et al. [27], étendent le régime HMIP pour réduire BU lorsque le réseau de téléphonie mobile se déplace hors du domaine du MAP, et aussi évité l'acheminement ce qui fait, éviter l'introduction de filtrage. Le régime étendu propose que les VMN et les LMN envoient LCoA (au lieu de RCoA) à HA dans BU résultant aucun BU lorsque le réseau mobiles se déplace sous un MAP différent.

m) Optimisation d'itinéraire mobile routeur-assistée pour NEMO (MoRaRo):

Dans MoRaRo, proposé par Kafle et al. [28], après avoir reçu le premier paquet par HA, un MCN envoie CoA TLMR au CN. MCN envoie également son HoA, CoA, et l'adresse de CN pour TLMR qui crée un cache de liaison utilisé pour acheminer des paquets aux MNN, et envoyer les BU au CN pour le compte des MNN. Par conséquent, le CN avec la TLMR effectuent la gestion des emplacements pour les MNN. Chaque MR, s'inscrit dans le MR attaché ci-dessus avec son préfixe et tous les préfixes qui sont accessibles à travers lui, et donc les MR sont en mesure de router les paquets à l'intérieur du réseau mobile.

Contrairement à la plupart des régimes (sauf HIP-basique et ROAD) dans cette catégorie, le CN peut envoyer des paquets aux MNN sans (tunnelage) utilisant les CoA TLMR, mais au prix d'une augmentation de signalisation qui est le résultat d'envoi de BU au niveau des CN. HoA de MNN est placé dans un en-tête supplémentaire dans le paquet, et utilisé par TLMR pour acheminer des paquets au MNN. Comme MIRON, le régime propose également RO pour les LFN en ayant les MR agissant comme proxy résultant en besoin de mémoire haute pour le suivi des communications LFN-NC.

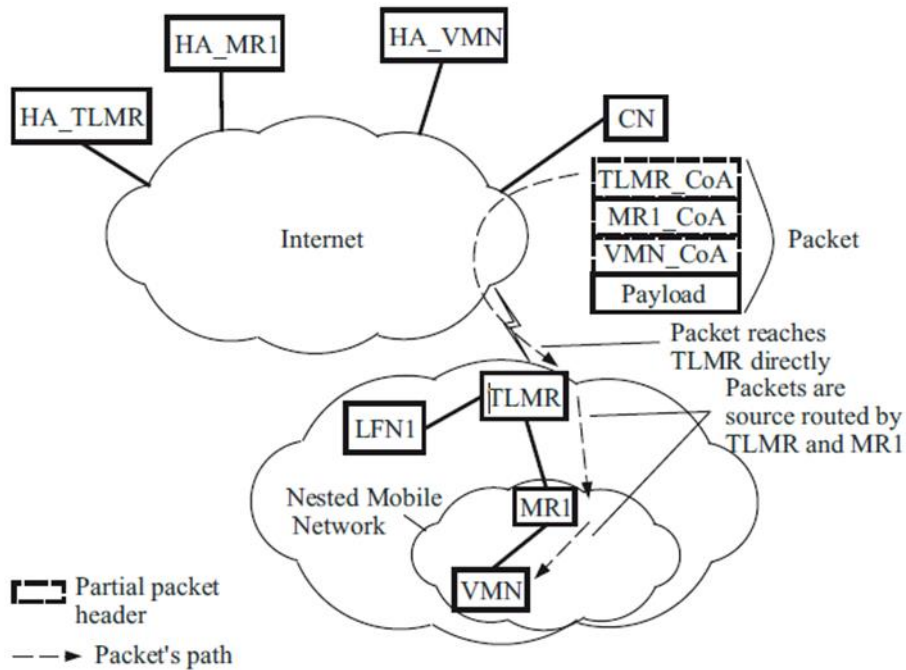


Figure 3 : Approche source de routage.

4.3. Source de routage:

Dans cette classe, RO est obtenu en envoyant les CoA des MR au CN qui - comme le routage source - insère les CoA dans l'entête du paquet afin de refléter la structure de nidification des MR. Ceci, cependant, résulte dans les frais généraux de l'en-tête accru. Les paquets de la portée du CN atteignent le TLMR dans un itinéraire optimal (sans passer par les HA); le routage dans le réseau de téléphonie mobile se fait en utilisant les CoA dans l'entête du paquet. La Quantité de mémoire requise pour les entrées de routage est faible parce que chaque MR a besoin de garder une trace des seuls MR attachés comme prochain saut. Les schémas dans cette classe notifient les CN sur les CoA des MR de diverses manières qui seront détaillées dans les descriptions des régimes. La notification des CoA au niveau des CN sacrifie la transparence de localisation et la déployabilité, et augmente la signalisation. Les méthodes de notification du CN résultent dans les différences de signalisation et les frais généraux. En outre, les régimes ont aussi besoin de mémoire différente pour le routage des paquets à l'intérieur du réseau mobile, comme indiqué dans le tableau IV.

La figure 3 montre le principe de base de l'approche de routage source où les CoA de TLMR, MR1 et VMN sont insérés dans les paquets. Les paquets, en arrivant à TLMR, sont routés par la source (en utilisant les CoA) à l'intérieur du réseau mobile par TLMR et MR1.

a) Optimisation itinéraire simple (S-RO):

En S-RO, proposé par Kim et al. [29], d'abord les MR envoient leurs CoA à leurs HA. Les paquets envoyés à partir du CN sont ainsi encapsulés par les HA, les MR décapsulent les paquets, et envoient les BU à la source des paquets décapsulés. Le CN obtient alors les CoA des MR, et envoie les paquets directement au TLMR avec la liste des CoA dans l'en-tête de paquet. Ce schéma souffre d'un retard important pour le CN pour recevoir tous les CoA pour l'optimisation itinéraire complet; ce qui est particulièrement vrai pour le niveau d'imbrication supérieur. L'envoi des BU aux HA et CN résulte à grande quantité de signalisation.

b) χ MIPv6:

En xMIPv6, proposé par Gu et al. [30], les MR envoient les BU contenant les CoA des MR au-dessus à leurs correspondants HA. Un MR obtient les CoA des MR-dessus à partir de MR auquel il est fixé. Les paquets envoyés à partir du CN à un MNN atteignent le HA qui insère les CoA dans l'en-tête des paquets. Contrairement à S-RO, χ MIPv6 n'a pas besoin du BU à partir de tous les MR, ce qui entraîne l'avantage de la signalisation et la réduction et le plus petit temps au HA pour obtenir les CoA de tous les MR-dessus. Contrairement aux autres modèles de cette catégorie, les paquets seront toujours passés par un tunnel entre un HA et le MR correspondante.

c) Chemin de contrôle d'en tête (PCH)-basique:

Na et al. [31], ont proposé un schéma où le CoA de MR est inséré dans des paquets par le correspondant HA quand un paquet se déplace à partir d'un MNN à un CN. Après avoir traversé tous les HA, l'entête du paquet contient les CoA de tous les MR-dessus. Le Chemin de contrôle est réalisé par un routeur spécifique (entre le dernier HA et le CN) qui extrait les CoA à insérer dans l'entête du paquet envoyé par le CN pour MNN. Comme χ MIPv6, ce schéma a l'avantage de la signalisation faible en raison de l'absence de BU par les MR.

d) Protocol session d'initiation (SIP)-basique sur:

Huang et al. [32], ont proposé un SIP-basique RO qui, contrairement à d'autres, utilise la procédure d'établissement de session SIP pour découvrir un itinéraire optimisé au début de la communication des données. Un MNN (client SIP) envoie une demande SIP au CN (client SIP) pour établir une session. SIP Home Server (agissant comme HA) insert les CoA du Correspondant serveur de mobilité réseau SIP (agissant comme les MR) dans la demande d'invitation qui atteint le CN auprès des serveurs de mobilité de réseau CoA. RO est réalisé par le CN en insérant les CoA de serveurs de mobilité réseau dans les paquets envoyés au MNN. Au transfert, le serveur de mobilité réseau SIP dans la partie supérieure envoie la demande d'invitation (via un serveur SIP-étranger) à

tous les CN au nom des MNN. L'envoi des demandes d'invitation résulte en un volume élevé de signalisation ainsi que les besoins en mémoire élevée en raison de la localisation de toutes les sessions SIP.

Régime	Signalisation	Besoins en mémoire	Overheads
S-RO	Haute	Faible	Grande retard pour converger vers un itinéraire optimisé
χ MIPv6	Faible	Faible	Un seul tunnel est nécessaire pour la communication
PCH-Basique	Faible	Faible	Nécessite un routeur dans chaque réseau pour soutenir le protocole
SIP-Basique	Haute	Haute	Aucun

Tableau IV : Comparaison des régimes de RO dans la classe source de routage

4.4. BGP-assistée:

Contrairement aux schémas décrits jusqu'à présent, les systèmes de cette catégorie reposent sur BGP pour la gestion de mobilité. Lorsque le réseau mobile se déplace, les routeurs BGP sont mis à jour pour apporter les changements nécessaires dans les tables de routage en faisant envoyer les entrées pour le préfixe du réseau mobile. L'information concernant le changement d'itinéraire du réseau mobile est signalée aux quelques routeurs qui échangent l'information avec leurs pairs en utilisant des protocoles de routage existants dans l'Internet. Par conséquent, les routeurs contiennent des entrées pour acheminer des paquets vers le réseau mobile indépendamment de son emplacement, et sont responsables de gestion de la localisation. Les schémas dans cette classe diffèrent principalement (voir le tableau V) dans le nombre de mises à jour BGP externes qui génèrent et engagent d'autres frais généraux pour la gestion des RO Intra.

Une vue abstraite de l'approche utilisée dans cette classe a été montrée dans la figure 4. Lorsque le TLMR rejoint le AR dans le réseau étranger, AR injecte une mise à jour à BGP qui trace le préfixe TLMR (01:03:01 ::) à l'adresse de AR (1 :: 2). BGP routeur 3 dans le réseau de AR met à jour ses pairs (BGP routeur 1 et BGP routeur 2). Par conséquent, les paquets envoyés par le CN atteignent un routeur BGP dans son réseau et ils seront transmis au réseau du routeur BGP appropriée où le réseau mobile réside.

L'avantage majeur des systèmes de cette catégorie est l'utilisation d'aucune nouvelle entité pour la gestion de la mobilité. Par ailleurs, les CN sont transparents pour le changement d'emplacement (géré par les routeurs BGP) des MNN. D'autre part, ces régimes vont produire une tempête de mises à jour (c-à-dire signalisation) dans l'Internet lorsque le réseau mobile se déplace fréquemment. En outre, l'évolution est également un problème en raison de l'entretien des entrées de routage pour un grand nombre de réseaux mobiles. La tempête de mise à jour et l'évolution ont été négociées (c-à-dire la signalisation réduite avec une évolution accrue) avec le soutien de l'infrastructure qui

entraîne des difficultés de déploiement. Ce commerce exige aussi des paquets qui transitent toujours à travers un ou plusieurs routeurs désignés résultant presque route optimale.

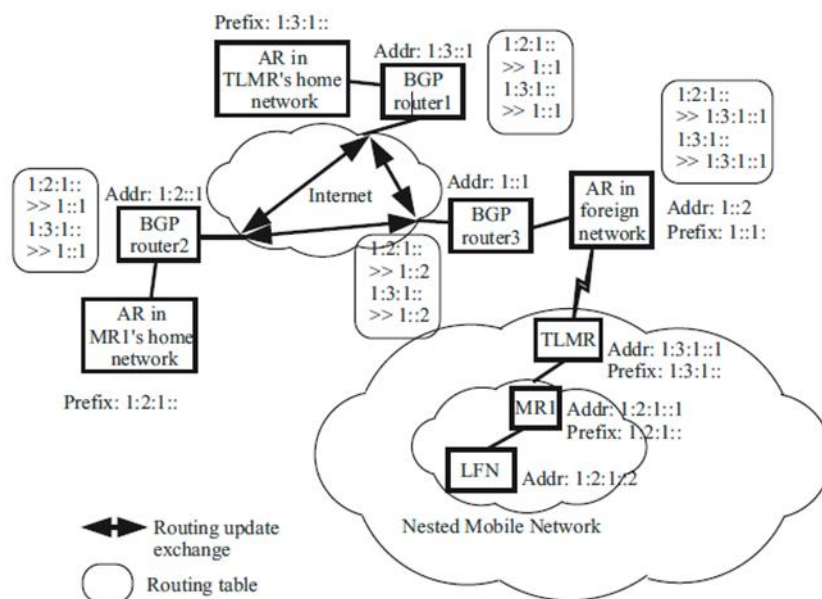


Figure 4 : Approche BGP-assistée.

a) IP cellulaire universelle pour la mobilité du réseau imbriqué (CIUP-NEMO):

CIUP-NEMO, proposé par Lam et al. [33], est basé sur l'IP universelle cellulaire (PIUC) où les adresses universelles sont utilisées pour un ensemble de nœuds mobiles qui sont supposés être dans la même hiérarchie du réseau sans tenir compte de leur localisation. La hiérarchie est ancrée à un routeur BGP du réseau du fournisseur (réseau domestique) de nœuds mobiles, et ces routeurs sont directement liés à la couche réseau. Entre les mouvements du nœud il y a un routeur Cross-Over (COR) qui est le premier routeur dans la hiérarchie commune dans l'itinéraire à la fois antérieur et actuel. Tous les routeurs jusqu'à COR sont mis à jour avec la nouvelle route du nœud mobile en utilisant une signalisation CUIP. Un paquet envoyé au nœud mobile est acheminé vers CN le plus proche de BGP qui achemine le paquet vers le routeur BGP le plus proche du COR. Les routeurs avant le COR utilisent le préfix routage basé alors que les routeurs après COR utilisent routage à plan inefficace.

La structure de routage hiérarchique pour la mobilité de l'hôte est adaptée pour des réseaux mobiles où les AR sont considérés comme des routeurs BGP, et tous les MR sont supposés être des routeurs PIUC et des hôtes permis. Les MNN ne sont pas nécessairement conscient des PIUC comme leurs paquets sont traités par des MR. Bien que ce régime présente les avantages de sa catégorie, il souffre du problème de générer des mises à jour fréquentes pour les routeurs. Les problèmes continueront à s'accumuler avec l'augmentation de la distance du réseau mobile à partir

de son réseau domestique. Par ailleurs, la signalisation supplémentaire est nécessaire pour découvrir un COR.

b) IP large surface dans mobilité réseau (WINMO):

L'utilisation de BGP pour la mobilité du réseau est proposée par Dul où le AR, lors de la fixation d'un réseau de téléphonie mobile, lance une mise à jour BGP annonçant le préfixe du réseau mobile à l'Internet. Mais cela peut entraîner de grandes tables de routage et un grand nombre de messages de mise à jour en raison du mouvement d'un grand nombre de réseaux mobiles. Pour limiter la taille de la table de routage et le nombre de mises à jour, le concept de préfixes mobiles et les routeurs d'agrégation sont introduits dans WINMO proposé par Hu et al. [34],

Un préfixe mobile est utilisé pour servir tous les réseaux mobiles provenant d'un réseau domestique en particulier. Les préfixes mobiles sont annoncés que par un ensemble de routeurs appelés routeurs d'agrégation qui gardent une trace de sous-préfixes affectés aux réseaux mobiles. Les autres routeurs configurent le routeur d'agrégation le plus proche comme saut suivant pour les préfixes mobiles. Chaque fois qu'un réseau mobile s'attache à un nouveau réseau, une mise à jour BGP est injectée pour annoncer le préfixe du réseau mobile. Un routeur d'agrégation dans le nouveau réseau partage cette mise à jour avec tous les autres routeurs d'agrégation. Un paquet envoyé au réseau mobile atteint un routeur qui transmet le paquet vers le routeur d'agrégation le plus proche. Le routeur d'agrégation envoie le paquet vers le routeur d'agrégation approprié dans le réseau auquel le réseau mobile est attaché.

Pour RO intra, un routeur mobile obtient un CoA avec exécution de l'authentification avec l'AR. Le CoA est utilisé uniquement pour acheminer un paquet efficacement au sein du réseau. Un paquet envoyé depuis le réseau mobile à CN porte une clé qui est générée lors de l'authentification en cryptant le préfixe de réseau mobile et le CoA. La clé est gérée entre tous les routeurs BGP et quelques autres routeurs supplémentaires. L'optimisation de la route commence lorsque le paquet de réponse contenant la clé entre le réseau. Un routeur BGP vérifie la validité de la clé, et transmet le paquet après avoir changé l'adresse de destination au CoA décrypté à partir de la clé.

Bien que ce régime implique plus petit nombre de routeurs, et produit plus petit nombre de mises à jour de routage, il exige des changements dans le BGP. En outre, la participation d'un petit groupe de routeurs pour la gestion de la mobilité signifie que l'itinéraire peut ne pas être complètement optimisé tout le temps. Si le CN est incapable de reconnaître la clé, l'itinéraire peut aussi ne pas être complètement optimisé.

c) RO par multiples P2P connectés HA-basique:

Cuevas propose le déploiement de multiples HA qui connaissent l'information les uns des autres (par exemple, réseau, IP, etc.) en utilisant le P2P. Un réseau de téléphonie mobile possède une

maison HA; mais peut s'inscrire à n'importe quel HA pour répondre à certains critères de performance tels que la limite pour le temps aller-retour. Pour trouver un plus proche HA, un MR envoie un BU spécial à son HA qui répond avec une liste des HA les plus proche de l'emplacement actuel du réseau mobile en termes de critères de performance. Un MR choisit un HA, obtient un HoA, et enregistre avec le HA sélectionné. Après l'enregistrement, HA lance une mise à jour BGP entre les routeurs au sein du réseau pour installer la cartographie de HoA à CoA. Ces routeurs acheminent le paquet de/vers les réseaux mobiles. Le changement de HA à lieu seulement quand un réseau mobile se déplace hors du réseau actuel, et quand un MR trouve que la transmission par le réseau HA actuel ne fournit pas les performances requises.

Contrairement aux autres modèles de cette catégorie, ce système ne nécessite pas de mise à jour BGP en dehors du réseau auquel le réseau mobile est attaché. Mais cela exige la communication, lancée à l'extérieur, pour prendre place à travers le réseau d'accueil résultant en route non optimisée. En outre, un grand nombre de réseaux mobiles qui se déplacent fréquemment peuvent déclencher de fréquentes mises à jour BGP avec le problème d'un grand nombre d'entrées de routage de table.

Régime	Nombre de mise à jour BGP	Overheads
CUIP-NEMO	Moyen	Signalisation pour découvrir COR
WINMO	Faible	Les frais généraux de la gestion des clés entre les routeurs
multiples P2P connectés HA-Basique	Aucun	Signalisation pour la communication P2P entre les AP, et pour la découverte de la plus proche des HoA

Tableau V : Comparaison des régimes dans la classe BGP-assisté

4.5. Divers:

Cette section comprend les régimes RO qui n'entrent pas dans aucune des précédentes catégories décrites dans Sections II-4-1 et II-4-2. Les techniques utilisées pour RO dans les schémas présentés dans cette section, sont différentes de celles des techniques de base utilisées pour RO dans les classes présentées dans Sections II-4-1 et II-4-4. Une comparaison des régimes est présentée dans le tableau VI.

a) Un cache Route optimisée (ORC)-basique:

Wakikawa et al. [35], Ont Proposé une approche où le MR envoie BU à un routeur dans le réseau du CN, et le MR fixé au-dessus (Parent MR). Parent MR envoie un BU, qui trace (MAP) le préfixe de réseau mobile du dessous MR (enfant MR) pour parent CoA MR, au routeur effectuant la gestion d'emplacement. Par conséquent, les paquets envoyés au réseau mobile, sont acheminés à parent CoA de MR par le routeur qui met en cache l'itinéraire optimisé pour l'acheminement aussi

longtemps que le CN communique avec le MNN. Les paquets, destinés au réseau de l'enfant MR, sont décapsulés et transmis par MR Parent à MR enfant. Pour acheminer les paquets lorsqu'aucun routeur dans le réseau des CN n'a une cartographie, un BU est envoyé à un routeur, qui est dans le réseau domestique du réseau mobile. Les MR utilisent un protocole de routage pour acheminer les paquets à l'intérieur du réseau mobile.

ORC-basique est un régime qui encourt la moyenne (au lieu d'être élevé) de signalisation parce que tous les MR envoient des BU aux routeurs (au lieu à tous les CN) dans le réseau des CN et à parents MR. L'exigence de mémoire est également élevée en raison du maintien des entrées de routage pour tous les MNN. Un inconvénient majeur de l'ORC est qu'il optimise la route pour un seul niveau d'imbrication. Bien que la route à partir des CN aux MNN soit similaire à celle de la classe hiérarchique pour un niveau d'imbrication, il est différent lorsque le niveau d'imbrication augmente. En outre, contrairement aux régimes en classe hiérarchique, HoA TLMR ou CoA n'est pas transmis aux MR imbriqués. Par conséquent, nous avons placé ce programme séparément dans cette section.

b) Réursive BU (RBU)-basique:

Cho et al. [36], ont proposé un schéma RO, où les BU, envoyé par les MR à CN, sont utilisés pour traiter la liaison de table de manière réursive à CN pour maintenir une route à TLMR. À la réception d'un BU ayant un HoA qui est le même que l'un des CoA dans la table de liaison, le CoA dans le tableau est remplacé par le reçu CoA. CN finira par avoir une cartographie du préfixe MR à CoA TLMR après avoir reçu les BU par tous les MR, ainsi permettant l'envoi des paquets directement à TLMR.

Les paquets sont acheminés à l'intérieur du réseau mobile grâce à la table de routage maintenu par le MR, ou par la diffusion de TLMR à une requête de route pour la découverte de l'itinéraire. La quantité de mémoire requise pour le routage sera faible lorsque les voies sont découvertes dynamiquement. La signalisation dans ce schéma est élevée parce que le MCN et les MR entre, MCN et AR enverront BU au CN. En outre, il n'est pas précisé comment les MR seront au courant du CN. Ce système ressemble aux régimes en classe hiérarchique avec la différence de transmission des HoA TLMR ou CoA aux MR imbriqués.

c) AODV-basique:

Dans AODV régime fondé, proposé par Phang et al. [37], la route entre un HA et un MR est établie en utilisant le protocole AODV. Après l'obtention d'un CoA à partir du joint (ci-dessus) préfixe MR, MR utilise des messages AODV demande d'itinéraire pour trouver une route vers son HA. Au cours de ce processus itinéraire tous les MR entre TLMR et le MR installent les entrées de routage pour l'acheminement entre le HA et le MR. Après que la réponse de route est reçue de la

part du HA, MR envoie un BU à HA. Les paquets envoyés à partir d'un CN atteint en premier le HA qui achemine le paquet au MR. Après que la route de HA à MR est déjà établie par AODV, le paquet atteint le MR directement sans autre tunnel.

Le régime semble être très simple, et pourtant, il exige tous les routeurs de l'Internet, et HA pour soutenir AODV résultant un régime difficile à déployer. En outre, le régime comporte un tunnel pour la communication avec les frais généraux de l'éclatement de messages de signalisation (c-à-dire haute signalisation) dans l'Internet au cours de transfert en raison de la diffusion de messages AODV. Bien que AODV soit un protocole pour les réseaux ad hoc, nous n'incluons pas AODV régime basé sur la classe en délégation sous ad hoc-basique sur régime pour la raison suivante. Le principe de base utilisé en mode Ad hoc est un régime qui se résume à obtenir un CoA à partir du préfixe du réseau étranger contrastant de l'obtention de CoA à partir de préfixe MR dans le régime à base d'AODV. Le système ressemble également les régimes dans la classe hiérarchique en fonction de la route à l'exception de la différence dans l'établissement du trajet.

Régime	Degré de RO	Signalisation	Besoins en mémoire	Gestion de localisation
ORC-Basique	Proche de l'optimum	Moyen	Haute	Routeurs dans l'Internet
RBU-Basique	Optimal	Haute	Faible	HA et CN
AODV-Basique	Proche de l'optimum	Haute	Haute	HA

Tableau VI : Une comparaison des régimes de RO n'appartenant pas à une classe particulier

5. Orientation des futures recherches

Bien qu'une quantité considérable de recherches ait été menée dans NEMO, nous avons identifié les questions suivantes pour la recherche future sur NEMO RO:

- La recherche est nécessaire pour déterminer la performance des systèmes RO avec le changement de la topologie du réseau, c'est-à-dire le changement dans la structure de nidification du réseau imbriqué mobile. Des changements dans la topologie peuvent se produire dans un réseau imbriqué mobile, formée par des réseaux mobiles résidant dans des véhicules différents, en raison de mouvements relatifs des véhicules. L'analyse de performance des systèmes RO doit être effectuée pour les schémas de mobilité différents.
- La plupart des régimes RO encourent la signalisation supplémentaire par rapport à la bande passante limitée des canaux sans fil. Cela contredit l'un des objectifs initiaux de NEMO comme régime d'allègement de signalisation sur des canaux sans fil en laissant le routeur mobile effectuer

la signalisation au nom de tous les nœuds. La signalisation dans les régimes RO peut être traitée par les moyens suivants:

- Mettre à jour tous les CN et les HA en utilisant un seul BU. Cela peut être fait en laissant les CN et les HA rejoindre un groupe multicast quand ils rejoignent le réseau mobile.
 - Les systèmes RO peuvent être analysés pour trouver des schémas adaptés basés sur l'architecture (topologie, le nombre et les types des MNN) du réseau mobile, la disponibilité de la bande passante, et le motif de mobilité. Par exemple, lorsque le réseau mobile se déplace lentement avec une bande passante élevée, les régimes qui encourrent une signalisation élevée pour fournir l'optimisation des itinéraires complets pour les LFN peut être préférable aux régimes qui engagent une signalisation inférieure au prix de ne pas optimiser la route pour les LFN.
 - Afin de réduire la signalisation, un niveau constant (un ou deux) de (tunneling) peut être autorisé. Cela a été fait dans certains de ces régimes dans la classe hiérarchique, et peut être adoptée dans d'autres régimes dynamiquement sur une base ad hoc.
-
- La plupart des chercheurs ont travaillé sur RO ou l'amélioration de performance de transfert dans l'isolement. Toutefois, les régimes RO auront un incident sur les performances de transfert en raison de l'augmentation de signalisation qui consomme et est en concurrence pour la bande passante. Afin de réduire la perte de paquets lors de transfert, Petander et al. [38], proposent l'utilisation de plusieurs interfaces lors de transfert et l'évaluation d'un système RO avec la procédure de transfert amélioré. Ryu et al. [39], ont proposé un schéma de transfert où le HA envoie des paquets à des routeurs d'accès anciens et nouveaux d'un routeur mobile simultanément. Ce régime, cependant, ne montre pas de performance lorsque RO est utilisé avec le CN envoyant des paquets directement aux MNN. Par conséquent, il est important de considérer les performances de transfert ainsi que tout régime RO.

 - Les menaces de sécurité doivent également être considérées conjointement avec RO. Les menaces de sécurité telle que l'usurpation de BU ont été considérées pour MR-HA. RO permet d'envoyer BU au niveau des CN, et rend l'usurpation de BU plus vulnérable.

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous avons présenté une étude, classification et une comparaison entre les systèmes RO pour NEMO. Le nombre des régimes RO rapportés dans ce mémoire indique les efforts épuisants et diversifiés pour RO, et par conséquent, exige une évaluation quantitative des régimes RO afin de déterminer leur pertinence et leur adaptabilité à l'infrastructure Internet existante.

Les comparaisons montrent que le régime hiérarchique est plus facile à déployer, et prend également en charge l'efficacité de communication intra réseau mobile au prix de sacrifier une optimisation complète de la route avec le réseau filaire. L'implication est que les régimes hiérarchiques peuvent être appropriés pour les réseaux mobiles avec des niveaux plus élevés de nidification où les communications sont principalement déployées dans le réseau mobile. Un réseau mobile sans imbrication ou un / deux niveaux d'imbrication ne bénéficiera pas de la technique RO de l'approche hiérarchique qui négocie permettant un / deux tunnels avec moins de signalisation et de RO Intra. En outre, la plupart des communications dans l'Internet actuel sont de type client-serveur où les MNN devraient être des clients et des serveurs sont les CN ; ce qui réduit également l'importance de RO intra fournie par les régimes hiérarchiques. En Considérant tout cela, nous constatons que les régimes hiérarchiques sont appropriés pour les réseaux où les hôtes à l'intérieur des véhicules forment un réseau mobile, et veulent accéder à Internet par le biais des autres véhicules de réseaux (comme une collection des MANET).

Délégation basique et BGP-régimes assistés adaptent de la communication de type client-serveur qui prévaut (domine) dans l'Internet actuel. L'Approche de délégation est simple, ne pas introduire aucune surcharge supplémentaire sur le routage Internet, et d'optimiser complètement la route ; mais exerce une charge supplémentaire sur l'infrastructure grâce à la hausse de signalisation. D'autre part, l'approche BGP soutient RO Intra, et nécessite moins de soutien de l'infrastructure ; mais la route ne peut pas être complètement optimisée. Les avantages et les inconvénients relatifs de ces deux approches doivent être évalués afin de choisir une. L'approche de routage Source n'est pas adaptée pour les réseaux mobiles ayant des niveaux plus élevés en raison de nidification aux frais généraux plus élevés d'en-tête qui consomme de la bande passante qui est rare dans un environnement sans fil.

La comparaison entre les régimes au sein de chaque classe révèle les différences entre les régimes plus en profondeur. Les différences font allusion à la nécessité de l'évaluation des régimes en vertu des critères différents tels que la bande passante disponible, la topologie du réseau mobile,

les schémas de mobilité du réseau mobile et la disponibilité des ressources (par exemple la mémoire) dans des entités de protocole. Par ailleurs, la signalisation et les besoins en mémoire dépendent du nombre et des types des MNN dans le réseau mobile, et par conséquent, pourraient guider le choix des régimes. D'où l'évaluation en vertu de divers paramètres est nécessaire pour déterminer la convenance des régimes.

Pour appliquer les régimes RO aux applications du monde réel et de permettre leur large déploiement, les frais généraux de protocole, tels que les header overheads et de signalisation doivent être réduites. En outre, les régimes RO ne devraient pas exiger de changements importants à l'infrastructure Internet existante et les protocoles (c-à-dire l'adressage, le fonctionnement des routeurs, un trop grand nombre de nouvelles entités etc.).

Références

- [1] K.J. Lee, J. Park, and H. Kim. Route optimization for mobile nodes in mobile network based on prefix delegation. In IEEE 58th Vehicular Technology Conference, pages 2035–2038, Orlando, Florida, USA, Oct. 6-9, 2003.
- [2] F. Mimoune, F. Nat-Abdesselam, T. Taleb, and K. Hashimoto. Route optimization for large scale network mobility assisted by BGP. In IEEE GLOBECOM, Washington, DC, USA, Nov. 26-30 2007.
- [3] J. Jeong, K. Lee, J. Park, and H. Kim. Route optimization based on NDProxy for mobile nodes in IPv6 mobile network. In IEEE 59th Vehicular Technology Conference, pages 2461 – 2465, Milan, Italy, May 17-19, 2004.
- [4] J. Song, S. Han, and K. Park. Route optimization in nemo environment with limited prefix delegation mechanism. In International Conference on Computational Science, University of Reading, UK, May 28-31 2006.
- [5] E. Perera, A. Seneviratne, and V. Sivaraman. Optinets: An architecture to enable optimal routing for network mobility. In International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks, pages 68–72, Oulu, Finland, May 31-Jun. 3, 2004.
- [6] H. Petander, E. Perera, K.C. Lan, and A. Seneviratne. Measuring and improving the performance of network mobility management in IPv6 networks. IEEE J. Sel. Areas Communi., 24(9):1671–1681, Sep. 2006.
- [7] C. J. Bernardos, M. Bagnulo, and M. Calderon. MIRON: MIPv6 route optimization for NEMO. In 4th Workshop on Applications and Services in Wireless Networks, Boston, Massachusetts, USA, Aug. 8-11, 2004.
- [8] W. Su, H. Zhang, and Y. Ren. Research on route optimization in mobile networks. In International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, pages 1–4, Wuhan City, China, Sep. 22-24, 2006.
- [9] H. Park, T.J. Lee, and H. Choo. Optimized path registration with prefix delegation in nested mobile networks. In International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, Wuhan, China, Dec. 13-15, 2005.
- [10] M. Kim, H. Radha, and H. Choo. On multicast-based binding update scheme for nemo environments. In The International Conference on Computational Sciences and its Applications, Krakw, Poland, Jun. 23- 25 2008.
- [11] S. Novaczki, L. Bokor, G. Jeney, and S. Imre. Design and evaluation of a novel HIP-based network mobility protocol. J. Networks, 3(1):10–24, Jan. 2008.

- [12] M. Watari, T. Ernst, and J. Murai. Routing optimization for nested mobile networks. *IEICE Trans. Commun.*, E89-B(10):2786–2793, Oct. 2006.
- [13] H. Cho, T. Kwon, and Y. Choi. Route optimization using tree information option for nested mobile networks. *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 24(9):1717–1724, Sep. 2006.
- [14] L. Li-hua, X.L. Ma, and L. Yuan-an. Route optimization solution for nested mobile network in local mobility domain with multiple local mobility anchors. In *International Symposium on Communications and Information Technologies*, Sydney, Australia, Oct. 16-19 2007.
- [15] A. Banno and F. Teraoka. χ LIN6: An efficient network mobility protocol in IPv6. In *International Conference on Information Networking: Advances in Data Communications and Wireless Networks*, Sendai, Japan, Jan. 16-19, 2006.
- [16] M. S. Jeong and J. T. Park. Hierarchical mobile network routing: route optimization and micro-mobility support for NEMO. In *Proc. International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, Aizu-wakamatsu, Japan, Aug. 25-27, 2004.
- [17] S. H. Kim, Y. Y. Ahn, S. H. Kim, and T. I. Kim. Route optimization using RIPng protocol in nested network mobility. In *8th International Conference Advanced Communication Technology*, Phoenix Park, Korea, Feb. 20-22, 2006.
- [18] J. Park, S. Lee, Y. Lee, and H. Choo. Route optimization with additional destination-information in mobile networks. In *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Kuala Lumpur, Malayasia, Aug. 26-29, 2007.
- [19] G.S. Kuo and K. Ji. Novel hierarchical network mobility support protocol with bidirectional end-to-end route optimization solution for nested mobile networks. In *IEEE GLOBECOM*, San Francisco, CA, Nov. 27-Dec. 1, 2006.
- [20] Y. Kim, S. Woo, S. Kang, and W. Park. Local source routing based route optimization in nested mobile networks. In *International Conference on Computational Science and Its Applications*, Glasgow, UK, May 8-11, 2006.
- [21] B. Jouaber M. Sabeur and D. Zeghlache. MR-proxy based solution for nested mobile network problems. In *International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, Aalborg, Denmark, Sep. 17-22, 2005.
- [22] L.H. Lu and Y.A. Liu. Route optimization solution based on extended prefix information option for nested mobility network. In *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Shanghai, P.R. China, Sep. 21-23, 2007.
- [23] M. S. Jeong, Y. H. Cho, and J. T. Park. Hierarchical mobile network binding scheme for route optimization in NEMO. *Wireless Personal Commun.*, 43(3):975–995, Nov. 2007.
- [24] J. Ylitalo, J. Melen, P. Salmela, and H. Petander. An experimental evaluation of a HIP based network mobility scheme. In *International Conference on Wired/Wireless Internet Communications*, Tampere, Finland, Mar. 12 2008.

- [25] K. Kim, D. Lee, J. Y. Ahn, and H. H. Lee. Hierarchical route optimization in mobile network and performance evaluation. In Second International Conference on Embedded Software and Systems, Xi'an, P.R. China, Dec. 16-18, 2005.
- [26] J. Park, T.J. Lee, and H. Choo. Route optimization with MAP-based enhancement in mobile networks. In International Conference on Computational Science, University of Reading, UK, May 28-31 2007.
- [27] J.Y. Hu, C.F. Chou, M.S. Sha, I.C. Chang, and C.Y. Lai. On the design of micro-mobility for mobile network. In IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, Taipei, Taiwan, Dec. 17-20, 2007.
- [28] V. P. Kafle, E. Kamioka, and S. Yamada. MoRaRo: Mobile router-assisted route optimization for Network Mobility (NEMO) support. *IEICE Trans. Inf. Syst.*, E89-D(1):158–170, Jan. 2006.
- [29] H. Kim, G. Kim, and C. Kim. S-RO: Simple route optimization scheme with NEMO transparency. In International Conference on Information Networking, pages 401–411, Jeju Island, Korea, Jan. 31-Feb. 2, 2005.
- [30] Z. Gu, D. Yang, and C. Kim. Mobile IPv6 extensions to support nested mobile networks. In 18th International Conference on Advanced Information Networking and Application, pages 488–491, Tokyo, Japan, Mar. 29-31, 2004.
- [31] J. Na, J. Choi, S. Cho, C. Kim, S. Lee, H. Kang, and C. Koo. A unified route optimization scheme for network mobility. In 9th International Conference on IFIP TC6, pages 29–38, Delft, Netherlands, Sep. 21-23, 2004.
- [32] J. Rosenberg et al. SIP: Session initiation protocol. RFC 3261, Jun. 2002.
- [33] P. Lam, S. Liew, and J. Lee. Cellular universal IP for nested network mobility. *Computer Networks*, 51(12):3617–3631, Aug. 2007.
- [34] X. Hu, L. Li, Z. M. Mao, and R. Yang. Wide-area IP network mobility. In IEEE INFOCOM, Arizona, USA, Apr. 13-19, 2008.
- [35] R. Wakikawa, S. Koshiba, K. Uehara, and J. Murai. ORC: Optimize route cache management protocol for network mobility. In 10th International Conference on Telecommunications, pages 1194–1200, Tahiti, French Polynesia, Feb. 23-Mar. 1, 2003.
- [36] H. Cho, E. K. Paik, and Y. Choi. RBU+: Recursive binding update for end-to-end route optimization in nested mobile networks. In 7th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communications, pages 468–478, Toulouse, FRANCE, Jun. 30-Jul. 2, 2004.
- [37] S.Y. Phang, H. Lee, and H. Lim. Route optimization for NEMO based on AODV. In International Conference on Advanced Communication Technology, Phoenix Park, Republic of Korea, Feb. 17-20 2008.

Résumé

Mobilité de Réseau (NEMO) gère la mobilité d'un ensemble de nœuds mobiles d'une manière globale en utilisant un ou plusieurs routeurs mobiles. NEMO introduit plusieurs avantages, tels que la signalisation réduite, une gestion accrue, une consommation électrique réduite et la conservation de la bande passante en le comparant à la mobilité hôte individuel. NEMO Basic Support Protocole (BSP), le standard de l'IETF pour NEMO, souffre d'un certain nombre de limitations, comme voie inefficace et la latence de transfert accrue. La plupart des efforts de recherche récents sur NEMO se sont concentrés sur la résolution du problème de la voie inefficace entraînant plusieurs schémas d'optimisation d'itinéraire pour résoudre le problème. Pour choisir un schéma d'optimisation de route, il est très important d'avoir une comparaison quantitative des systèmes d'optimisation des itinéraires disponibles. L'objectif de ce mémoire est d'étudier, classer et comparer les schémas d'optimisation d'itinéraires proposés dans la littérature au cours des cinq dernières années. On classe les régimes fondés sur l'approche de base pour l'optimisation des itinéraires, et comparer les régimes fondés sur les OVERHEADS de protocole, tels que les header overheads, le montant de la signalisation, et les besoins en mémoire. On conclue que la performance des classes des systèmes doit être évaluée selon des critères tels que la disponibilité de la bande passante, la topologie du réseau mobile et le type de mobilité.

Abstract

Network MObility (NEMO) handles mobility of a set of mobile nodes in an aggregate way using one or more mobile routers. NEMO introduces several advantages, such as reduced signaling, increased manageability, reduced power consumption and conservation of bandwidth when compared to individual host mobility. NEMO Basic Support Protocol (BSP), the IETF standard for NEMO, suffers from a number of limitations, like inefficient route and increased handoff latency. Most of the recent research efforts on NEMO have concentrated on solving the problem of inefficient route resulting in several route optimization schemes to solve the problem. To choose a route optimization scheme, it is very important to have a quantitative comparison of the available route optimization schemes. The objective of this thesis is to survey, classify and compare the route

Optimization schemes proposed in the literature over the last five years. We classify the schemes based on the basic approach for route optimization, and compare the schemes based on protocol

Overhead, such as header overhead, amount of signaling, and memory requirements. We conclude that performance of the classes of schemes has to be evaluated under criteria such as available bandwidth, topology of the mobile network and mobility type.