

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Béjaïa



جامعة بجاية
Tasdawit n' Bgayet
Université de Béjaïa

Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique

MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE

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

Option : Administration et Sécurité des Réseaux

Thème

Etude de Handover dans les réseaux mobiles

Réalisé par :

M^{elle} AIT HELLAL Siham

M^{elle} BOUAICHE Lila

Soutenu le 03 Juillet 2016 devant le jury composé de :

Président	M ^r L. KHENOUS	Maître Assistant	UAMB.
Rapporteur	Pr A. BOUKERRAM	Professeur	UAMB.
Examinatrice	<i>M^{elle}</i> L.CHEKLAT	Doctorante	UAMB.

Promotion : 2015/2016

Remerciement

Nous tenons dans le premier temps à remercier le bon dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour mener à bien ce modeste travail.

Un grand merci pour nos familles, surtout nos parents qui nous ont épaulés, soutenus et suivis tout au long de ce projet.

*A notre encadreur **Pr. BOUKERRAM Abdellah** pour tout le temps qu'il nous a consacré, pour ses précieux conseils et pour tout son aide et son appui durant la réalisation.*

A nos chers amis qui ont toujours été présents et fidèles.

A tout les enseignants et employés du département Informatique à qui on doit remerciments et respect.

Enfin, nous tenons à remercier également tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Dédicaces

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chers et respectueux parents qui m'ont soutenus tout en long de ma vie et ma très cher grand mère **Zineb**.

ainsi qu'à mon très cher mari **Ahcen** qui ma toujours soutenu.

A mes frères et leurs femmes ,a mes sœurs et leurs maris et leurs enfants.

A mes beaux parents.

A mes belles soeurs et mes beaux frères.

A ma camarade siham avec qui j'ai réalisé se travail.

A mes amis et collègues et tous ceux qui nous ont aidées.

Lila

Dédicaces

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes très chers et respectueux parents qui m'ont soutenus tout en long de ma vie.

ainsi qu'à mon très cher mari **Ziad** qui m'a toujours soutenu.

A mon frère, à mes sœurs.

A mes beaux parents.

A mes belles sœurs.

A ma camarade Lila avec qui j'ai réalisé ce travail.

A mes amis et collègues et tous ceux qui nous ont aidés.

Siham

Table des matières

Table des Matières	i
Table des figures	vii
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations	xiii
Introduction	1
1 Généralités sur les réseaux mobiles	3
	3
1.1 Introduction	3
1.2 Les réseaux mobiles	3
1.2.1 Usages	3
1.2.2 Caractéristiques des réseaux mobiles	4
1.2.3 Les avantages des réseaux mobiles	5
1.2.4 Les inconvénients des réseaux mobiles	5
1.2.5 Les contraintes des réseaux mobiles	6
1.3 Évolution des Réseaux de Mobiles	6
1.3.1 La première génération (1G)	6
1.3.2 La deuxième génération(2G)	6
1.3.3 Troisième génération 3G	7
1.4 La quatrième génération 4G	8
1.4.1 Définition de la 4G	8
1.4.2 Architecteur de la 4G	8

1.4.3	Buts de la 4G	9
1.4.4	Les caractéristiques fondamentales de la 4G	10
1.4.5	Les avantages de la 4G	10
1.4.6	les inconvénients de la 4G	11
1.5	Conclusion	11
2	Gestion de mobilité	12
	Gestion de mobilité	12
2.1	Introduction	12
2.1.1	Définition de la mobilité	13
2.1.2	Critère de choix d'un protocole de gestion de la mobilité	14
2.1.3	Vocabulaire spécifique à la mobilité	15
2.2	protocoles de la gestion de mobilité	15
2.2.1	Mobile IP pour IPv6	15
2.2.2	Cellulaire	18
2.2.3	Mobile IP pour NEMO	19
2.2.4	Protocole NEMO Support Basique (NEMO BS)	20
2.2.5	Format des messages BU et BAcK du protocole NEMO BS	22
2.3	Conclusion	23
3	Handover	24
	Handover	24
3.1	Introduction	24
3.2	Handover	24
3.2.1	Mécanisme de Handover	25
3.2.2	Principales fonctions de Handover	25
3.2.3	Principe de base du Handover	25
3.2.4	Anticipation du Handover	26
3.2.5	Les différentes phases du Handover	29
3.2.6	Les procédures d'exécutions du Handover	31
3.2.7	Les paramètres de qualité de service	35
3.3	Analyse du délai du Handover NEMO	35
3.3.1	Délai du Handover L2	37
3.3.2	Délai du Handover L3	37
3.3.3	Métriques à évaluer	39

3.3.4	Définition du Matlab	40
3.3.5	Définition de NS2	42
3.3.6	Les étapes de simulation	42
3.4	Conclusion	49
	Conclusion générale	49
	Bibliographie	51
	ANNEXE	55
	A <i>Annexe A</i>	55

Table des figures

1.1	Architecture des réseaux WiMAX	9
2.1	La mobilité	13
2.2	Macro-mobilité et Micro-mobilité.	14
2.3	Enregistrement auprès du Home Agent.	16
2.4	Routage triangulaire	17
2.5	Réseau Cellular IP	18
2.6	Fonctionnement de base du protocole NEMO BS.	21
2.7	Changement dans le message BU pour le support NEMO.	22
2.8	Option du préfixe pour le support NEMO.	23
2.9	Changement dans le message BACk pour le support NEMO	23
3.1	”handover” Anticipé.	28
3.2	Le Mécanisme de Soft Handover.	31
3.3	Le Mécanisme de Hard Handover.	32
3.4	Le Mécanisme de Seamless Handover.	33
3.5	Les Différents Handovers.	34
3.6	Architecture de NEMO.	36
3.7	Délais de handover NEMO (Handover L3).	40
3.8	Délais total du Handover NEMO (Handover global).	41
3.9	Nombre du paquet perdus.	42

Liste des tableaux

1.1	Comparaisons entre certain paramètre clés des systèmes 4G et 3G . . .	10
3.1	Explications des valeurs T_{MD} , T_{DAD} et T_{Reg}	39
3.2	Les different valeurs de DMD, Dreg	39
3.3	Les paramètres du simulation.	43
3.4	Les paramètres de la station de base WiMAX.	44
3.5	Les paramètres de réseau WiFi.	45
3.6	Les paramètres du point d'accès WiFi.	46

Liste des abréviations

1G	1ère Génération
2G	2ème Génération
3G	3ème Génération
4G	4ème Génération
AR	Access Router
ASN	Access Service Network
BTS	Base Transceiver Station
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BU	Binding Update
CSN	Core Service Network
CN	Correspondant Node
COA	Care Of Address
EIF	Egress Interface
EDGE	Enhanced Data Gates for GSM Evolution
GSM	Global System Mobile communication
GPRS	General Packet Radio Service
HA	Home Agent
HO	Handover
LFN	Local Fixe Node
LMN	Local Mobile Node
LTE	Long Term Evolution
MR	Mobile Router
NS	Network Simulator
MSC	Metwork Swicthing Center

MNN	M obile N etwork N ode
NEMO	N etwork M obile
RTC	R éseau T éléphonique C ommuté
RNC	R adio N etwork C ontroler
SAE	S ystem A rchitecture E volution
S-GW	serving G ateway
UMTS	U niversal M obile T elecommunications S ystem
UIT	U nion I nternationale des T élécommunications
VANs	V ehicular A rea N etwork
VMN	V isiting M obile N etwork
Wi-Fi	W ireless F idelity
WiMax	W orldwide I nteroperability for M icrowave A ccess

Introduction générale

Les réseaux mobiles sans fil ont connus un essor sans précédent ces dernières années. Il s'agit d'une part du déploiement de plusieurs générations successives de réseaux de télécommunication essentiellement dédiés à la téléphonie (2G, GSM) puis plus orientés vers le multimedia (3G, UMTS) et d'autre part le réseau 4G (4 generations) est proposé comme future génération des réseaux mobiles. Avec ce réseau, un utilisateur pourra se connecter où qu'il se trouve : à l'intérieur des bâtiments avec les technologies Bluetooth ou wifi ..., à l'extérieur (dans la rue et les lieux publics) avec le WiMAX. En général, le passage d'un réseau à l'autre deviendra transparent pour l'utilisateur.

Les environnements mobiles se caractérisent par la présence de plusieurs terminaux portables ayant chacun un ou plusieurs moyens de communication sans fil. Ces interfaces de communication sans fil permettent aux terminaux, tout en se déplaçant, de communiquer entre eux ou avec des stations fixes. Ces environnements présentent de grandes différences par rapport aux environnements traditionnels ou fixes. Pour des raisons de taille et de poids, les terminaux portables disposent de ressources moins importantes par rapport à celles qu'offrent des stations fixes. On affiche un désir de la part des usagers à bénéficier d'un accès Internet sans discontinuité de leurs applications réseaux usuelles lors de leurs déplacements, de sorte que nous ayons des réseaux entiers constitués de dispositifs sans fils se déplaçant ensemble et désirant cette qualité de service.

Nous parlerons de mobilité lorsque la localisation d'un équipement ou d'un réseau change dans la topologie Internet. La gestion de la mobilité constitue aujourd'hui un véritable challenge dans l'Internet nouvelle génération.

En effet, le problème de dualité de l'adressage IP, conçu initialement pour supporter un double rôle d'identification et de localisation dans la topologie Internet, ne permet pas une connectivité sans interruption des services.

Lors de son changement de réseau, un terminal mobile par exemple change de point d'attachement (routeur d'accès), son adresse IP change également, il n'est plus joignable par ses correspondants et ses sessions actives sont interrompues. Des architectures de gestion de la mobilité sont donc nécessaires. Il est aujourd'hui communément admis que ces architectures doivent séparer les deux rôles d'identification et de localisation de l'adresse IP.

La gestion de la mobilité implique en général un handover vertical nécessitant la reconfiguration d'adresse IP et la mise à jour de cette nouvelle localisation pour le maintien des sessions. Les réseaux mobiles et la gestion de leur mobilité permettent en effet de réaliser tout un ensemble de scénarii permettant le déploiement d'applications multimédia en tout lieu et à tout instant, mais nécessitant la prise en compte de l'environnement mobile dans lequel sont situés les équipements.

Le but de ce projet de fin d'étude est donc de mettre l'accent sur les handovers en réseau mobile pour cela on va étudier ce réseau en détail pour mettre en oeuvre des outils afin d'étudier et analyser la gestion de la mobilité dans ce type de réseaux.

Le premier chapitre sera consacré à la présentation générale des réseaux mobiles, en se focalisant sur les différentes générations de ce réseau.

Le deuxième chapitre fera l'objet d'étude de la gestion de mobilité et en spécifiant les différents protocoles utilisés dans la mobilité.

Le troisième chapitre sera réservé à l'étude de Handover en détaillant ses phases et ses types notamment dans le cadre du réseau NEMO et comprendra en plus les différentes étapes de notre travail de simulation incluant le scénario de modélisation à traiter.

Généralités sur les réseaux mobiles

1.1 Introduction

Depuis plusieurs années le développement des réseaux mobiles n'a pas cessé d'accroître, plusieurs générations ont vu le jour (1G, 2G, 3G, 4G) et connues une évolution remarquable, en apportant un débit exceptionnel et qui ne cesse d'augmenter, une bande passante de plus en plus large et un des avantages d'une telle bande passante est le nombre d'utilisateur pouvant être supportés. Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes bases des réseaux mobiles et les différentes générations de téléphones mobiles, particulièrement nous allons détailler sur les 4 générations.

1.2 Les réseaux mobiles

Un réseau mobile est défini comme un sous-réseau ou un ensemble de sous-réseaux connectés à l'Internet par l'intermédiaire d'un ou plusieurs routeurs mobiles qui changent leurs points d'ancrage (AR) à l'Internet. Ils sont connectés à l'Internet par le biais d'un ou plusieurs routeurs mobiles (MRs)[1]

1.2.1 Usages

De nombreux usages des réseaux mobiles sont envisagés. Ceux-ci incluent en particulier les réseaux personnels (Personal Area Networks, ou PANs) et les réseaux déployés dans les véhicules (Vehicular Area Network, ou VANs), c'est-à-dire les réseaux de capteurs et les réseaux d'accès[1] :

- **Cas des réseaux de capteurs**

ceux-ci sont déployés dans les véhicules (avions, trains, bateaux,voitures). Certains ont besoin d'interagir avec des serveurs dans l'Internet, par exemple pour assurer la transmission de données nécessaires à la navigation.

- **Cas des réseaux d'accès**

ceux-ci sont déployés dans les transports publics (bus, trains et taxis)et permettent d'offrir une borne d'accès Internet aux passagers.

- **Cas des réseaux personnels**

les PANs sont des réseaux constitués d'un ensemble d'appareils électroniques de petite taille (cardio-fréquence-mètre, montre, téléphone cellulaire, assistant personnel, appareil photo digital, etc.) portés par les personnes.

1.2.2 Caractéristiques des réseaux mobiles

Les caractéristiques d'un réseau mobile sont[2] :

- **Taille**

Etant de taille variable, les réseaux mobiles vont de l'ordre de quelques MNs(Mobile Node) dans le cas d'un réseau personnel (PAN) jusqu'à plusieurs centaines de stations interconnectées par plusieurs routeurs et sous-réseaux.

- **Hétérogénéité des MNNs**

Les nœuds embarqués (MNNs) peuvent être de trois types. Un LFN (Local Fixe Node) est un nœud résidant de manière permanente dans le réseau mobile et ne changeant pas son point d'ancrage (par exemple un capteur de pression des pneus ou de température). Un LMN (Local Mobile Node) est un nœud mobile appartenant au réseau mobile et capable de changer son point d'ancrage dans le réseau mobile, voire de le quitter (ex. la clef du véhicule), tandis qu'unVMN (Visiting Mobile Node) est un nœud mobile n'appartenant pas au réseau mobile mais capable de s'y attacher (e.g. équipements appartenant aux passagers tels un ordinateur portable ou un PDA).

- **Mobilité enchaînée**

La mobilité des réseaux peut être récursive; Un réseau mobile contient soit

une station mobile, soit un routeur mobile servant lui-même de passerelle à un autre réseau mobile.

- **Hétérogénéité des réseaux d'accès**

Grâce à ses technologies hétérogènes, les réseaux mobiles peuvent non seulement changer de réseau d'accès, mais aussi de fournisseurs de service ou de domaine administratif (mobilité globale).

- **Multi domiciliation (Multihoming)**

Lorsqu'un réseau mobile est simultanément connecté à Internet via plusieurs MRs ou lorsqu'un MR a plusieurs interfaces externes, ou plusieurs adresses sur son interface externe, il est dit multi-domicilié.

- **Fréquence distincte de changement du point d'ancrage**

Pour chaque fréquence de mobilité, une configuration est attribuée. En effet, elle change selon l'usage, les handovers peuvent donc être :

- Prévisibles ;
- très difficilement prévisibles ;
- semi-prévisibles ;

1.2.3 Les avantages des réseaux mobiles

- **Mobilité**

La connexion au réseau mobile permet de se déplacer librement.

- **Facilité**

Il suffit généralement de se trouver dans la zone de couverture pour être connecté.

- **Evolutivité**

La facilité d'extension ou de restriction du réseau permet d'avoir toujours une couverture correspondant.

1.2.4 Les inconvénients des réseaux mobiles

- Le niveau de sécurité est moins qu'un réseau filaire ;
- Les ondes électromagnétiques menacent la santé humaine ;

- Continuité de la communication lorsque l'abonné passe d'une cellule à une autre ;
- Si la mobilité d'un abonné s'étend à plusieurs pays, des accords de roaming doivent alors être passés entre les différents opérateurs pour que les communications d'un abonné étranger soient traitées et aboutissent.

1.2.5 Les contraintes des réseaux mobiles

- Doit supporter beaucoup de réseaux mobiles de taille importante ;
- Optimiser le routage ;
- Minimiser les messages de contrôle tout en les gardant sécurisés et avec authentification.

1.3 Évolution des Réseaux de Mobiles

Pour expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il nous semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques, cela a pour avantage de savoir de quoi nous sommes partis pour mieux se positionner à l'heure actuelle.

1.3.1 La première génération (1G)

La première génération de systèmes cellulaires (1G) repose sur un système de communications mobiles analogiques. Cette génération a bénéficié de deux inventions techniques majeures des années 1970 : le microprocesseur et le transport numérique des données entre les téléphones mobiles et la station de base [3].

La 1G avait beaucoup de défauts comme :

- Les normes incompatibles d'une région à une autre ;
- Une transmission analogique non sécurisée (écouter les appels) ;
- Pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau d'un autre opérateur).

1.3.2 La deuxième génération (2G)

La seconde génération de réseaux mobiles a marqué une rupture avec la première grâce au passage de l'analogique vers le numérique, ces principaux standards sont [4] :

- **GSM**

Le réseau GSM (Global System for Mobile communication) a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC -réseau fixe). Il se distingue par un accès spécifique appelé la liaison radio.

- **GPRS**

Le GPRS (General Packet Radio Service) peut être considéré comme une évolution des réseaux GSM avant leur passage aux systèmes de troisième génération.

- **EDGE**

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) est un réseau de transition entre GPRS et UMTS, il permet un débit encore plus élevé. EDGE est issu de la constatation que, dans un système cellulaire, tous les mobiles ne disposent pas de la même qualité de transmission. Le contrôle de puissance tente de pallier ces inégalités en imposant aux mobiles favorisés une transmission moins puissante.

1.3.3 Troisième génération 3G

Ils sont caractérisés par[5] :

- Un haut débit de transmission ;
- Une compatibilité mondiale ;
- Une compatibilité des services mobiles de 3ème génération avec les réseaux de seconde génération ;
- La principale norme 3G utilisée est l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Le réseau cœur de l'UMTS s'appuie sur les éléments de base du réseau GSM et GPRS. Il est en charge de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes.

1.4 La quatrième génération 4G

1.4.1 Définition de la 4G

L'union internationale des télécommunications (UIT) qui supervise le développement de la plupart des normes de données cellulaires a récemment publié une déclaration soulignant que la 4G n'est pas défini. En réponse, les opérateurs mobiles avec des architectures 3G avancés a commencé la commercialisation des services "4G". De toute évidence, les ingénieurs ne veulent pas usurper la vision d'une amélioration d'un ordre de grandeur à chaque génération d'architectures cellulaires. Les commerçants veulent tirer parti de la dernière tendance, tandis que cela semble encore ésotérique [6].

1.4.2 Architecteur de la 4G

Les réseaux 4G présentent la même architecture générale que les autres types de réseaux mobiles. On peut distinguer trois parties à savoir :

- les terminaux des utilisateurs ;
- le réseau d'accès ;
- le réseau cœur.

La Figure 1.1 présente l'architecture d'un réseau WiMAX [7].

Les terminaux des utilisateurs sont les appareils utilisés par les clients. Ils comprennent les appareils fixes, mobiles et portables et permettent aux utilisateurs d'accéder aux services auxquels ils ont souscrit. Ces terminaux peuvent être tout appareil disposant du protocole IP tel qu'un ordinateur, un téléphone intelligent ou une télévision IP.

Le réseau d'accès WiMAX est appelé ASN (Access Service Network). Il est constitué de stations de base (BS) et de passerelles (ASN-GW), est responsable de la gestion des accès des terminaux mobiles, de la gestion des ressources radio, de la mobilité, de la qualité de service, de l'interopérabilité avec d'autres ASN et de la sécurité. Il joue aussi le rôle d'interface entre les terminaux mobiles et le cœur du réseau.

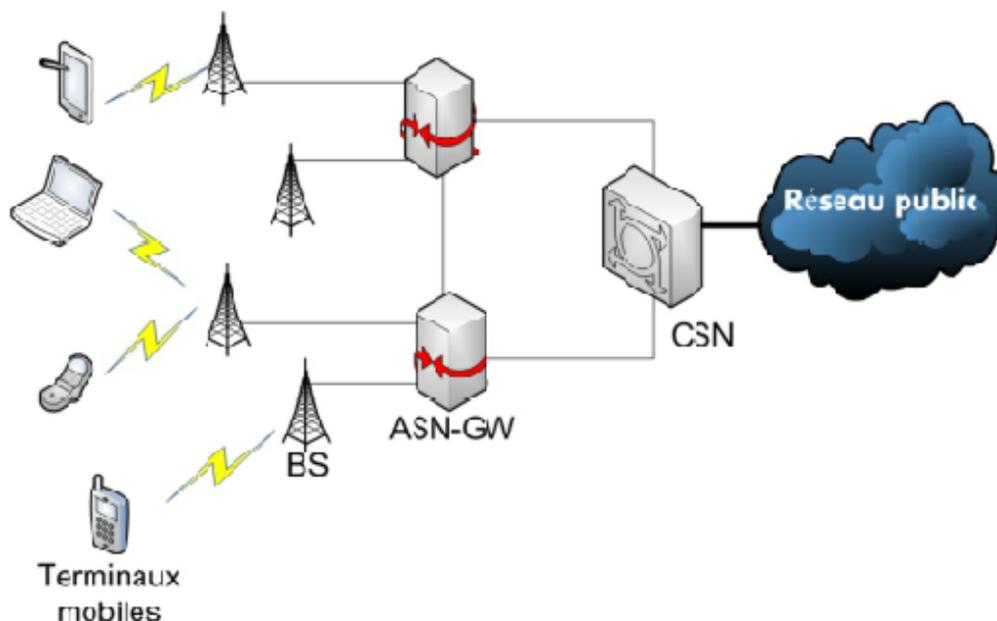


FIG. 1.1 – Architecture des réseaux WiMAX

Le CSN (Core Service Network), considéré comme le cœur des réseaux WiMAX, remplit un ensemble de fonctions dans le but de fournir aux abonnés des services de connectivité. Il effectue la gestion des abonnés et fournit des services de transport, de commutation, d'authentification, de facturation, etc. Le CSN est chargée de fournir l'itinérance entre les fournisseurs de services réseau et est responsable de la sécurité des utilisateurs et de la qualité de service.

1.4.3 Buts de la 4G

La 4^{ème} génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur en établissant l'interopérabilité entre différentes technologies existantes. Elle vise à rendre le passage entre les réseaux transparent pour l'utilisateur, à éviter l'interruption des services durant le transfert intercellulaire, et à basculer l'utilisation vers le tout-IP [8]. Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} génération sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours ;
- Réduire les délais et le trafic de signalisation ;

- Fournir une meilleure qualité de service ;
- Optimiser l'utilisation des ressources ;
- Minimiser le coût de signalisation ;
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets.

1.4.4 Les caractéristiques fondamentales de la 4G

Voici quelques fonctionnalités possibles des systèmes 4G[9] :

- Prise en charge multimédia interactives, voix, vidéo, Internet sans fil et autres services large bande ;
- Haute vitesse, haute capacité et à faible cout par bit ;
- La mobilité mondiale, la portabilité des services, réseaux mobiles évolutifs ;
- Une meilleure planification et des techniques de contrôle d'admission d'appel ;

Le tableau suivant montre les comparaisons entre certain paramètre clés des systèmes 4G et 3G possible.

	3G	4G
Bande de fréquence	1.8 à 2.5 GHZ	2 à 8 GHZ
Bande passante	5-20 MHZ	5-20 MHZ
Le débit de données	Jusqu'à 2 Mbps (384 Kbps WAN)	Jusqu'à 20 Mbps ou plus
Accéder	Wideband CDMA	MC-CDMA, OFDMA
Codage du canal	Turbo-codes	Turbo-codes, LDPC
Commutation	Circuit /paquet	Paquet
Mobiles des vitesses de pointe	200km/h	200 km/h

TAB. 1.1 – Comparaisons entre certain paramètre clés des systèmes 4G et 3G

1.4.5 Les avantages de la 4G

1. Téléchargements des films ou des albums complets en moins de 1 minute ;
2. Partager de gros fichiers ;
3. Effectuer des visio conférences ;

4. Jouer à des jeux en réseaux ;
5. 5x plus rapide que la 3G.

1.4.6 les inconvénients de la 4G

1. Le matériel doit être compatible au réseau 4G ;
2. Les forfaits sont parfois très chers ;
3. Le débit est parfois très insuffisant.

1.5 Conclusion

Nous avons présenté des concepts généraux des réseaux mobiles en se focalisant sur l'architecture et les fonctionnalités de ce réseau. Par la suite nous avons présenté un aperçu des différents composants et les caractéristiques de la quatrième génération afin de passer par la suite à la gestion de la mobilité utilisée dans les réseaux mobiles.

Gestion de mobilité

2.1 Introduction

La gestion de la mobilité consiste en deux parties : la gestion de la localisation et la gestion du handover. Dans le cas de mouvement d'un terminal, on peut avoir deux types de roaming : intra-système (intradomain) et inter-système (interdomain). On a un roaming intra-système quand le mobile a un mouvement entre les cellules d'un seul réseau et un roaming inter-système quand le mobile a un mouvement sur plusieurs réseaux différents, en utilisant des protocoles et des technologies différentes. La gestion de la localisation doit accomplir deux tâches :

- location update : le mobile doit informer le système sur sa position pour que le système puisse mettre à jour cette information.
- call delivery : le système doit déterminer la localisation du mobile en se servant des bases de données et du paging (recherche du client dans une cellule).

La gestion du handover est le processus qui permet de maintenir une connexion active quand le mobile passe d'un point d'accès à un autre. Dans les réseaux 4G basées sur IP, la gestion de la mobilité peut être réalisée à plusieurs niveaux dans la pile protocolaire TCP/IP :

- solutions couche de réseau (niveau 3) : peuvent être classifiées en solutions macro-mobilité (déplacement entre des domaines réseaux) et micro-mobilité (déplacement entre des sous- réseaux) ;
- solutions couche de liaison (niveau 2) : à ce niveau les solutions sont très

- dépendantes des technologies radio ;
- solutions niveau 2 + niveau 3 : ce genre de solutions sont proposés plutôt pour la gestion du handover.

2.1.1 Définition de la mobilité

Dans le domaine de réseaux, la mobilité se traduit par la possibilité que certaines entités peuvent être déplacées entre des points d'attachement différents. Nous énumérons quelques exemples, illustrés dans la figure 2.1 [10] :

- (1) Un terminal est physiquement déplacé à un autre endroit et reconnecté à l'Internet par le biais d'un nouveau réseau ;
- (2) Un utilisateur décide d'utiliser un nouveau terminal ;
- (3) Un terminal connecté simultanément à plusieurs réseaux change l'interface active ;
- (4) Parallèlement au déplacement de l'utilisateur, des données personnelles et applications portables sont migrées sur un autre terminal.

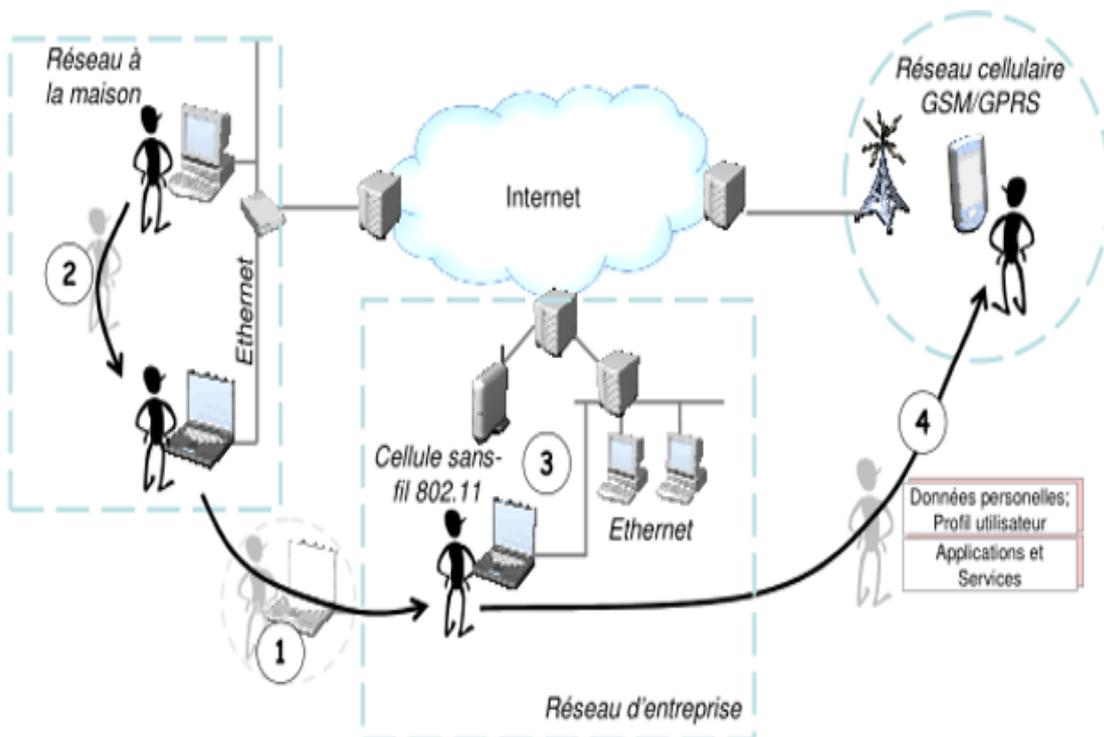


FIG. 2.1 – La mobilité

Dans ces situations, l'identité de l'entité mobile ne change pas, mais son support d'attachement au réseau change. Les correspondants qui sont en train de communiquer avec l'entité mobile le font en envoyant des paquets adressés à un point d'attachement bien précis. C'est pour cela qu'un déplacement est si problématique.

- **La macro-mobilité**

concerne un déplacement entre deux domaines (réseaux) différents. Elle peut avoir lieu au cours d'une session active d'un utilisateur mobile, ou encore au cours d'une nouvelle session lancée par l'utilisateur dans un réseau visité ; on parle alors de nomadisme. Mobile IP a été conçu pour gérer ce type de mobilité.

- **La micro-mobilité**

quant à elle, concerne le déplacement d'un nœud mobile entre deux points d'attachement situés sur le même réseau.

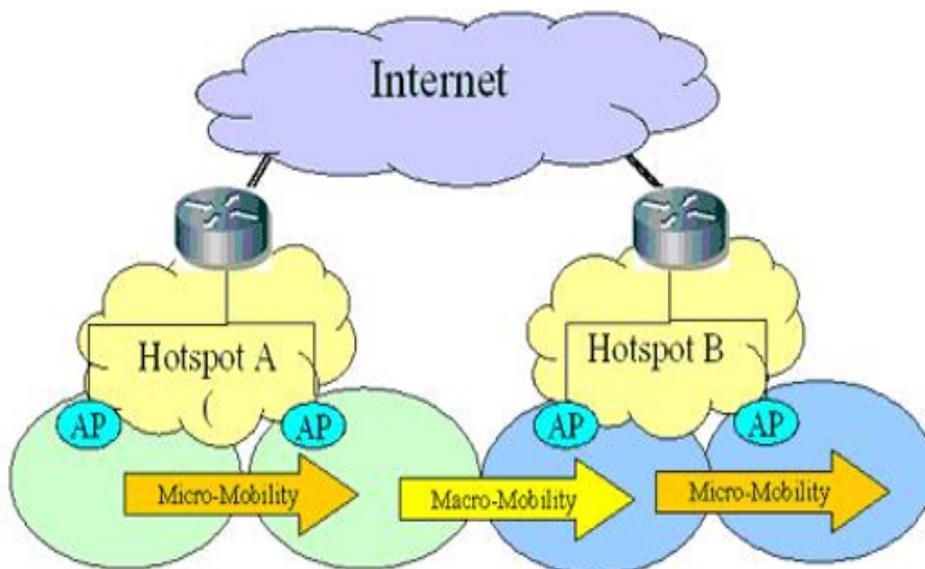


FIG. 2.2 – Macro-mobilité et Micro-mobilité.

2.1.2 Critère de choix d'un protocole de gestion de la mobilité

Les critères de choix d'un protocole de gestion de la mobilité sont principalement la durée totale du relais et le taux de paquets perdus durant la procédure. On parle

de " relais rapide " pour parler d'un relais avec un minimum de délai.

Dans les réseaux IP, le problème majeur de la gestion des relais est que le relais de niveau 3 (couche réseau) ne s'exécute qu'à la fin du relais de niveau 2 (couche liaison, relais radio). Ce qui signifie qu'en cas de déconnexion du nœud mobile de son ancien routeur et de connexion (nouveau lien radio) à un nouveau routeur, il doit attendre que le relais de niveau 3 se fasse avant de pouvoir (ré)utiliser les ressources du réseau. C'est principalement sur cette forme de mobilité que nous allons nous attarder.

2.1.3 Vocabulaire spécifique a la mobilité

- Mobile Node (MN) : il s'agit de l'élément mobile.
- Home Address (HA) : c'est l'adresse permanente ou principale du mobile à l'intérieur de son réseau d'origine.
- Care-of-Address : c'est l'adresse temporaire du mobile qui lui sera attribuée lors de son passage dans un réseau visité.
- Home Agent : il s'agit du routeur " maison ". Il connaît à chaque instant la position du mobile.
- Correspondent Node (CN) : terme utilisé pour désigner un équipement cherchant à communiquer avec le mobile.
- Binding Update (BU) : il s'agit d'un nouveau type de paquet ICMP permettant d'apprendre la position du mobile.
- Foreign agent : il s'agit du routeur " dans le réseau étranger ". Il est responsable du mobile node dans son réseau.
- Foreign network : réseau étranger sur lequel le mobile node réside lors de sa transition.

2.2 protocoles de la gestion de mobilité

2.2.1 Mobile IP pour IPv6

Le début des travaux a commencé au milieu des années 1980 pour améliorer IP : ipng (IP Next Generation). IPv6 est retenu comme nouveau standard et est adopté vers la fin des années 1990 avec la RFC 2460. La version 6 a été utilisée au profit de la version 5, car IPv5 était déjà réservée à un protocole de contrôle de flux. Celui-ci

ayant été abandonné au profit d'RSVP. Le lancement des plus gros acteurs d'internet (Google, Yahoo, Microsoft, Facebook,...) à IPv6 est intervenu le 6 juin 2012[12].

2.2.1.1 Le fonctionnement de mobile IPv6

Le fonctionnement de mobile IPv6 en se basant sur le scénario suivant[13].

- Un mobile se déplace d'un réseau Home vers un réseau Foreign.
- Un équipement (routeur) sur le réseau Home joue le rôle de Home Agent.
- Un équipement (routeur) sur le réseau Home joue le rôle de Home Agent. Un nœud (machine) sur un réseau distant est en communication avec le réseau Home.
- **Enregistrement auprès du Home Agent**

Dès qu'un nœud détecte qu'il est désormais dans un nouveau réseau, il fait appel à ICMPv6 qui procède à l'auto configuration d'une nouvelle adresse IP. Cette nouvelle adresse est l'adresse de care-of du nœud. Il envoie alors à son Home Agent un BU contenant cette nouvelle adresse pour lui permettre de faire l'association avec l'adresse d'origine du nœud. Le Home Agent répond par un BAcK.

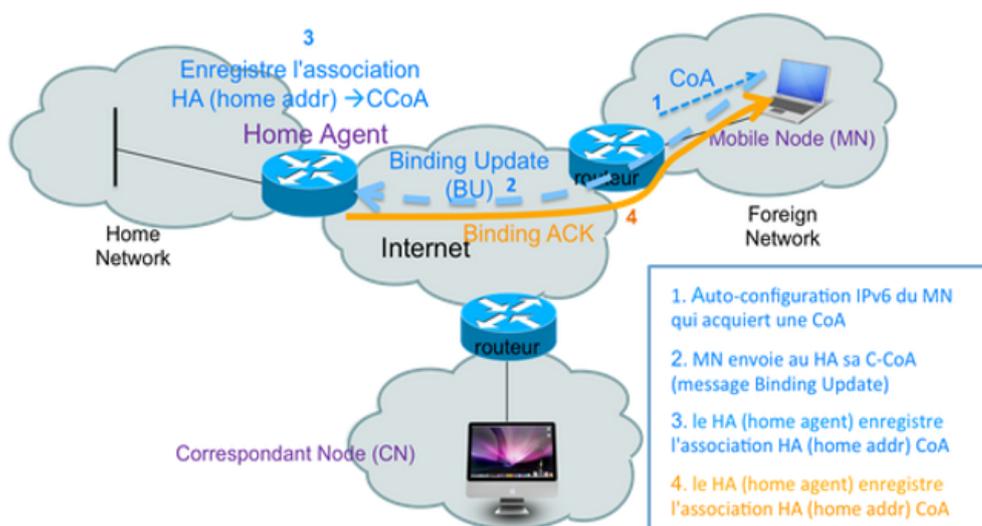


FIG. 2.3 – Enregistrement auprès du Home Agent.

- **Routing triangulaire**

Le travail du Home Agent consiste alors à intercepter les paquets destinés au nœud mobile. Cela est possible par la procédure suivante : envoi par le Home

Agent d'un message ICMPv6 (Neighbor Advertisement) sur le réseau Home, lui permettant d'associer son adresse MAC avec l'adresse IP d'origine du nœud mobile. Tout paquet destiné au nœud est ainsi reçu par le Home Agent qui se charge d'envoyer ce paquet au nœud mobile en utilisant le mécanisme d'encapsulation IPv6.

Le nœud mobile envoie ses paquets directement au correspondant en utilisant comme adresse source son care-of-address (afin d'éviter le mécanisme d'ingress-filtering), tout en incluant l'option Home Address afin de garantir la transparence de la mobilité. Sur la figure ci-dessous on peut observer une anomalie qui existe alors dans le routage.

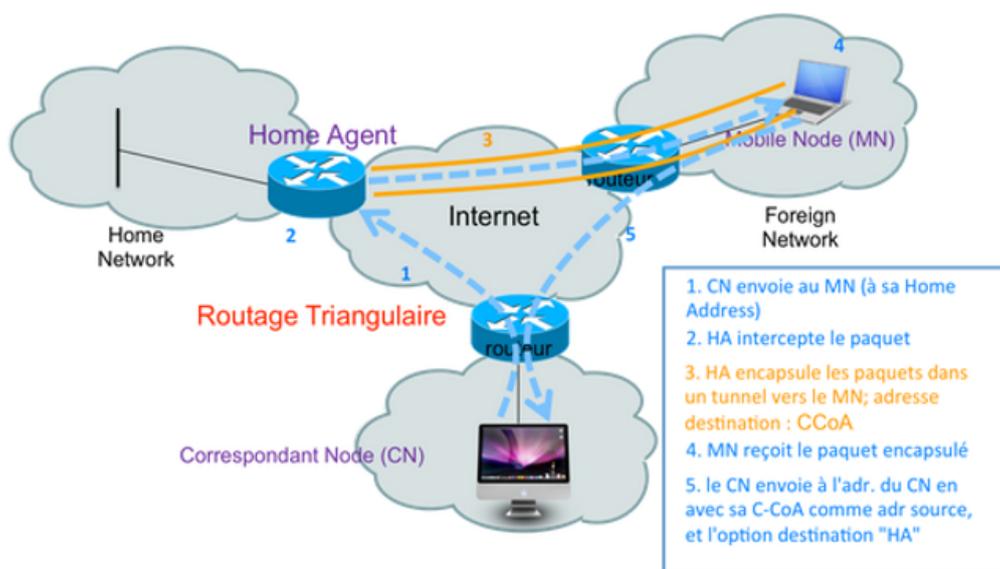


FIG. 2.4 – Routage triangulaire

• Optimisation

Le problème est que le Correspondant Node (CN) envoie tous ses paquets au Mobile Node (MN) via le Home Agent (HA). De plus le routage triangulaire induit une latence et une charge de réseau supérieur. Pour éviter ce routage triangulaire, un nœud mobile peut envoyer un BU à tout nœud correspondant qu'il soit mobile ou stationnaire.

Ainsi le nœud correspondant effectue un appariement entre l'adresse d'origine du nœud mobile et son adresse de care-of-address. Dans ce cas le nœud correspondant n'utilise pas l'encapsulation mais la méthode suivante :

Avant d'envoyer un paquet le nœud consulte son cache pour trouver un appa-

riement. S'il existe il envoie le paquet en y incluant l'option Routing Header. La route spécifiée dans cette option est constituée de deux sauts.

Le premier est l'adresse care-of-address du nœud ; le second est l'adresse d'origine du nœud. Ainsi lorsque le nœud reçoit le paquet, il l'envoie vers le saut suivant qui n'est d'autre que son adresse d'origine. Ainsi le paquet fera un bouclage à l'intérieur de sa pile protocolaire garantissant ainsi la transparence aux couches supérieures[14].

2.2.2 Cellulaire

Cellular IP est un protocole incorporant un grand nombre de principes importants des systèmes cellulaires pour la gestion de la mobilité, tels que la connectivité Passive (mode Idle pour les mobiles hors communication), le paging (recherche de mobiles) et le contrôle de handoff (changement de cellule) rapide. La mise en œuvre du protocole suit le paradigme IP : signalisation minimale et gestion "soft state" d'emplacement (à l'aide de d'états à rafraîchir comme expliqué plus loin)[15].

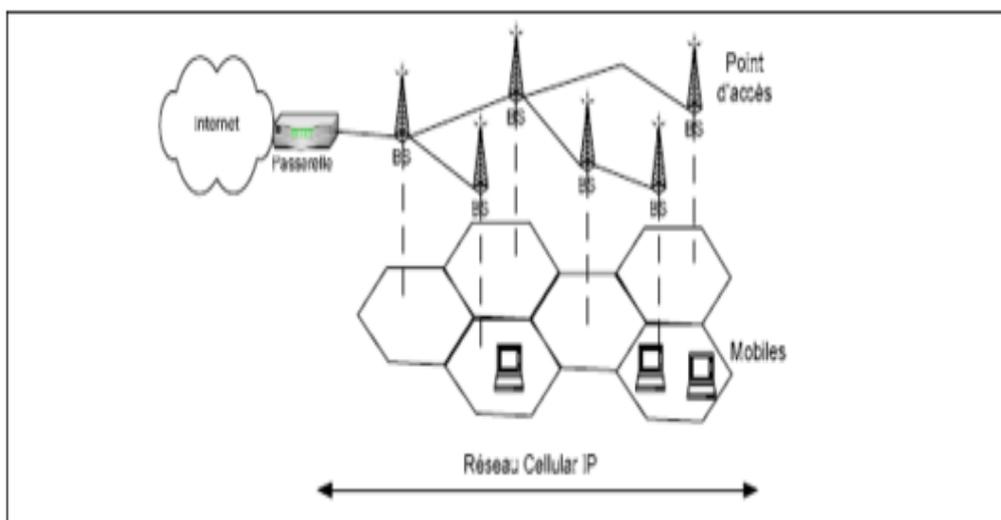


FIG. 2.5 – Réseau Cellular IP

La figure 2.5 montre l'architecture d'un réseau Cellular IP. Elle est composée :

- d'une passerelle (gateway) : qui assure la liaison entre le réseau Cellular IP et le reste de l'Internet. Elle filtre, contrôle et propage les paquets en provenance et à destination du réseau cellulaire IP ;

- de stations de base (base stations ou BS) servant de point d'accès aux mobiles et assurant les fonctions relatives à la mobilité comme la gestion d'emplacement (location management), ainsi que les fonctions d'acheminement des paquets IP dans le réseau Cellular IP ;
- de nœuds mobiles mettant en œuvre la signalisation Cellular IP pour la localisation. Est un protocole incorporant un grand nombre de principe important des systèmes cellular pour la gestion de la mobilité tel que [16] :
 - Le paging (recherche de mobiles) ;
 - le contrôle de handoff ;
 - le contrôle de handoff(changement de cellule rapide).

2.2.3 Mobile IP pour NEMO

Le groupe NEMO de L'IETF a fait sont apparition en octobre 2002. Le groupe a standardiser une solution simple connu sous le nom NEMO BASIC SUPPORT dérive de Mobile IP pour gérer la mobilité des réseaux. Un des objectifs est de ne pas imposer des modifications aux nœuds mobiles [17].

Un réseau mobile NEMO est un réseau en déplacement, connecté à Internet par l'intermédiaire d'un ou plusieurs routeurs qui changent leurs points d'attache dans la topologie Internet (ex : Réseaux de capteurs et les réseaux d'accès à Internet : déployés dans les transports publics).

2.2.3.1 Introduction de nouvelles entités

- **Home Network ou réseau mère** : c'est le réseau auquel est attaché initialement un MR ;
- **Home Agent (HA) ou agent mère** : un routeur d'accès particulier situé dans le réseau mère qui participe à la gestion de la mobilité du réseau mobile ;
- **Foreign Network ou réseau visité** : n'importe quel réseau autre que le réseau mère auquel le réseau mobile est connecté ;
- **Le routeur d'accès (RA)** : situe dans le réseau visité qui fournit au MNN de réseau mobile un service de routage des paquets qui lui sont destinés par le HA ;
- **Correspondant Node (CN) ou noeud correspondant** : est un terminal en communication avec le MNN. Un CN peut être fixe ou mobile ;

- **Mobile Network Nodes (MNN)** : est un noeud mobile qui fait partie du réseau mobile ;
- **Le routeur mobile (MR)** : est l'entité la plus importante de NEMO. Le changement de point d'accès ne provoque pas de changement d'adresse IP du MNN. La gestion de la mobilité est déléguée au MR ; Le MR admet au minimum deux interfaces une interface interne (Ingress Interface, IIF) et une interface externe (Egress Interface, EIF).

L'interface IIF est configurée avec une adresse IP prise du préfixe MNP, tandis que l'interface EIF est configurée avec l'adresse HoA lorsque le réseau NEMO (plus précisément le MR) est attaché au réseau mère (Home Network), c'est l'adresse mère unique par laquelle il est accessible quand il est lié au réseau mère. Lorsque le MR est attaché à un réseau visité, l'interface EIF sera configurée avec une adresse temporaire CoA.

2.2.4 Protocole NEMO Support Basique (NEMO BS)

Le protocole NEMO BS [18] est une extension de MIPv6 pour supporter la mobilité d'un réseau entier (réseau NEMO) qui change son point d'attachement à Internet. NEMO BS assure d'une manière transparente la continuité des sessions ouvertes pour tous les nœuds dans le réseau mobile NEMO. Cette transparence est possible grâce à l'introduction d'un routeur appelé routeur mobile (Mobile Router, MR) au niveau du réseau NEMO. Le réseau NEMO est attaché au réseau mère/réseau visité par le biais du routeur mobile (MR) qui contrôle son mouvement.

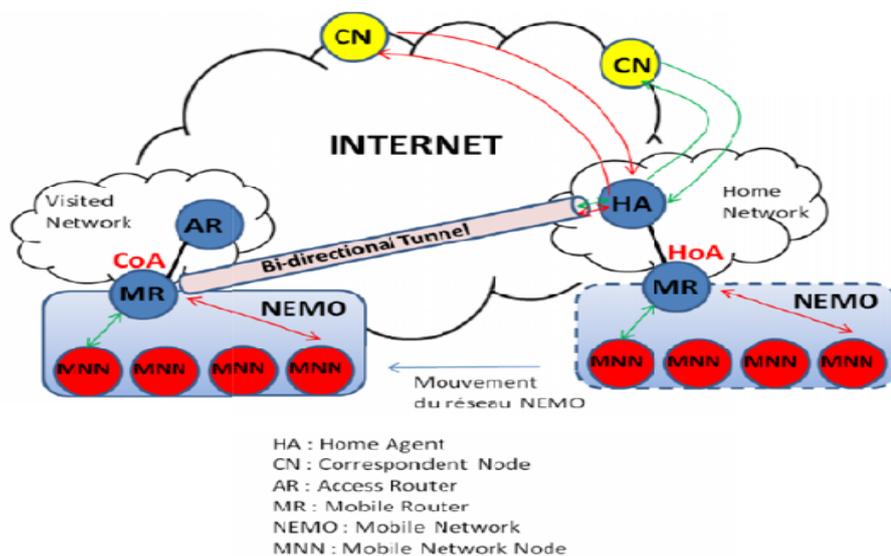


FIG. 2.6 – Fonctionnement de base du protocole NEMO BS.

Quand le MR s'éloigne du réseau mère et s'attache à un nouveau routeur d'accès, il acquiert une adresse temporaire CoA. Il envoie immédiatement un binding update (BU) à son HA. Quand le HA reçoit cette mise à jour, il crée dans son binding cache une entrée indiquant la nouvelle adresse CoA de l'actuel point d'attachement du MR.

Le MR peut à tout moment agir soit comme un noeud mobile ou comme un routeur mobile. Si le MR vise à agir en tant que routeur mobile et à fournir la connectivité aux noeuds dans le réseau mobile NEMO, il indique ceci au HA en plaçant le Flag R à la valeur un dans le message BU (Fig 2.6). Il inclut également les informations sur le préfixe du réseau mobile de sorte que le HA peut expédier les paquets destinés aux noeuds MNNs du réseau mobile NEMO[18]. Quand le HA reçoit le message binding update (BU) du MR, il répond par un message binding Ack (BAck) avec un Flag R=1.

Une fois le processus de mise à jour est terminé, un tunnel IP-in-IP bidirectionnel est établi entre le HA et le MR. Le tunnel bidirectionnel est créé entre le MR et son HA en fusionnant deux tunnels bidirectionnels. Le tunnel du MR vers le HA a l'adresse CoA du MR comme point d'entrée du tunnel et l'adresse du HA comme point de sortie du tunnel. Le tunnel du HA vers le MR a comme point d'entrée l'adresse du HA et comme point de sortie l'adresse CoA du MR. Tout le trafic IPv6 depuis et vers le réseau mobile NEMO transite par ce tunnel bidirectionnel.

Quand un noeud correspondant CN envoie un paquet de données à un noeud MNN dans le réseau mobile NEMO, ce paquet est reçu par le HA qui l'achemine au MR par ce tunnel. L'envoi du paquet dans le tunnel est fait en employant l'encapsulation IPv6-dans-IPv6, arrivant au routeur mobile ce dernier le dé-encapsule et le transmet au noeud MNN. Pour le trafic lancé par le réseau mobile le MR emploie la direction inverse du tunnel, mais avant il doit s'assurer que le trafic proviens bien d'un des noeuds du réseau mobile sinon il rejette le paquet [18].

2.2.5 Format des messages BU et BAcK du protocole NEMO BS

- **Message BU**

Un nouveau bit R (Flag R) est inclus dans le paquet binding update pour indiquer au HA qu'il s'agit d'un routeur mobile et non un noeud mobile (R=1 correspond à un MR, R=0 correspond à un MN). Une option du préfixe MNP du réseau mobile est incluse également dans le message BU pour indiquer l'information du préfixe du réseau mobile au HA.[18]

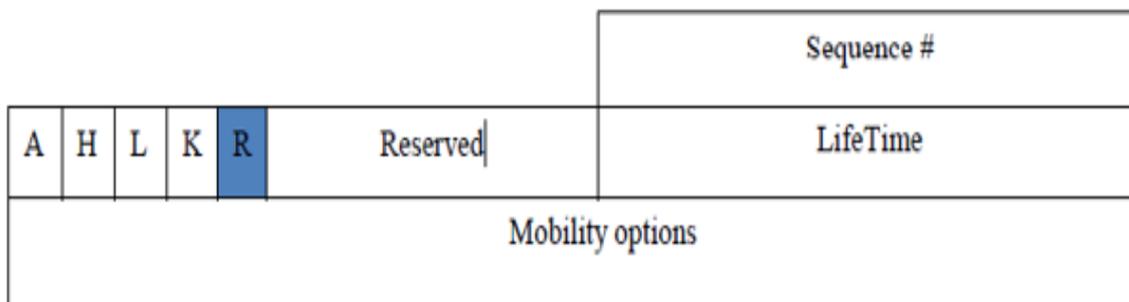


FIG. 2.7 – Changement dans le message BU pour le support NEMO.

- **Option du préfixe**

NEMO ajoute une option de préfixe (Figure 2.7) dans le champ " Mobility Options " du message BU de MIPv6.

- Type : valeur égal à 6,
- Length (8 bits) : indiquant la longueur en octets de l'option, à l'exception des champs " Type " et " Length ".
- Reserved : Ce champ est inutilisé maintenant. La valeur doit être initialisée à 0 par l'expéditeur et doit être ignoré par le récepteur.

Type	Length	Reserved	Prefix Length
Mobile Network Prefix (MNP)			

FIG. 2.8 – Option du préfixe pour le support NEMO.

- Prefix Length (8 bits) : indiquant la longueur du préfixe IPv6 contenu dans l’option.
- Mobile Network Prefix (MNP) : un champ de 16 octets contenant le préfixe du réseau mobile.

- **Message BAcK**

Le bit R est inclus dans le message BAcK (figure 2.8) pour indiquer que le HA qui a traité le message BU correspondant supporte les routeurs mobiles. Il est placé à 1 seulement si le flag R du message BU correspondant était mis à 1.

		Status	K	R	Reserved
Sequence #		LifeTime			
Mobility Options					

FIG. 2.9 – Changement dans le message BAcK pour le support NEMO

2.3 Conclusion

Nous avons présenté la gestion de la mobilité en présentant les différentes techniques de mobilité dans les réseaux sans fil, qui s’appuient sur le protocole Mobile IP et ses extensions. Dans ce qui suit on s’intéresse au HANDOVER, au quel est consacré tout le chapitre 3.

Handover

3.1 Introduction

Le principal défi des réseaux mobiles est d'assurer la continuité du service et la qualité exigée par l'usage qui est en déplacement. Ceci passe nécessairement par une gestion efficace des opérations et fonctions de base telles que le handover, la gestion de la localisation et la gestion de fréquence.

3.2 Handover

Le handover est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire. Il représente l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant à une station mobile de changer de cellule sans interruption de service. Le processus consiste à ce qu'un terminal mobile maintienne la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet, en entrant dans un secteur qui fournit un meilleur raccordement par une nouvelle BTS, l'ancienne doit être libérée et la nouvelle connexion doit être établie. Il y a plusieurs raisons pour lesquelles des handovers doivent être exécutés. D'une façon générale les handovers sont nécessaires quand le raccordement n'est plus satisfaisant. Les raisons les plus communes pour qu'un handover(HO) soit exécuté est du au manque de qualité du signal ou du niveau du trafic pour une station de base [19].

- **Qualité de signal**

Si la qualité de signal diminue au-dessous d'un certain niveau (le rapport de signal/bruit qui indique par le système) le handover sera exécuté. La puissance

de base vers le commutateur du service mobile (contrôleur de station de base). A la réception de cette alarme, le commutateur identifie une nouvelle cellule et/ou un nouveau canal : s'il en trouve alors il déclenche un handover, sinon, la communication continue sur le même canal et des handover sont périodiquement tentés. Après un handover réussi, l'ancien canal est libère [22].

3.2.4 Anticipation du Handover

Le passage d'un terminal d'une cellule a une autre constitue un problème difficile, notamment au niveau de la réservation de ressources. Une amélioration complémentaire au traitement du handover consiste à prévoir le moment où il va se produire. Or, une station de base ne sait a priori pas quand, pour un terminal donne, le handover va survenir et ne peut donc l'anticiper.

Pour cela, un mécanisme d'évaluation du temps minimum restant avant qu'un terminal ne quitte une cellule a été proposé. Cette technique s'appuie sur la mesure de la puissance du signal lors de la réception par la station de base des paquets réseau émis régulièrement par le terminal mobilité et puissance du signal sont en effet liée.

Intuitivement, on conçoit aisément que, plus un émetteur et un récepteur sont éloignés plus le signal reçu sera de faible amplitude. Dans des conditions idéales. L'obtention successive de tels échantillons permet de calculer le taux de variation du signal, c'est-à-dire le rapport entre la variation en amplitude et la variation en temps.

Connaissant ce taux ainsi que la valeur de la puissance du dernier signal reçu, il est simple de calculer le temps restant avant que la puissance du signal ne tombe sous seuil critique au-dessous duquel on considère que le terminal est en train de quitter la cellule. Le handover doit alors être préparé puis déclenché [23].

3.2.4.1 Protocole d'anticipation

Actuellement des extensions pour le protocole Mobile IPv6 [24] sont proposées à l'IETF afin de réduire le temps de coupure occasionné par un changement de sous-réseau suite à un déplacement d'une station mobile(SM). Nous présenterons ici deux d'entre elles qui utilisent une anticipation sur l'état de liaison de niveau 2 pour commencer le "handover" de la couche 3 avant que le "handover" de la couche 2 ne soit fini.

- Fast Handover Le Fast Handover [25] propose deux méthodes pour optimiser le déplacement des SM :
 - Le Handover Anticipé.
 - Le Handover basé sur un Tunnel.

Nous énumérons les étapes de handover anticipé, illustrés dans la figure (3.1) :

- **étapes 1 et 2** : Dans le Handover Anticipé, la SM ou le routeur d'accès (RA) auquel est rattachée la SM dans le cas du contrôle du "handover" par le réseau, reçoit un déclencheur de niveau 2 lui indiquant que la SM est sur le point de faire un "handover".
- **étape 3** : Ce déclencheur doit contenir des informations. Permettant au RA courant de la SM d'identifier le nouveau sous réseau (préfixe, masque, adresse IPv6 du routeur d'accès). Le routeur d'accès courant envoie alors à la fois une adresse IPv6 topo logiquement correcte pour le nouveau sous réseau à la SM.
- **étape 4** : une requête au RA cible pour qu'il valide cette adresse.
- **étape 5** : Le nouveau RA doit alors vérifier que l'adresse est unique dans son sous-réseau. Ensuite le routeur d'accès cible envoie le résultat de la validation au RA courant.
- **étape 6** : Si l'adresse est validée RA courant de la SM lui transmet l'autorisation pour utiliser la nouvelle adresse IPv6.

Ainsi, lorsque la SM établit la connexion avec le nouveau point d'attachement, elle peut directement utiliser sa nouvelle adresse IPv6 temporaire comme adresse source dans ses paquets sortant et envoyer une demande de mise à jour vers son agent mère et tous ses correspondants. Afin de minimiser la perte de paquets, l'ancien routeur d'accès pourra aussi faire suivre tous les paquets qu'il reçoit pour cette SM au nouveau RA.

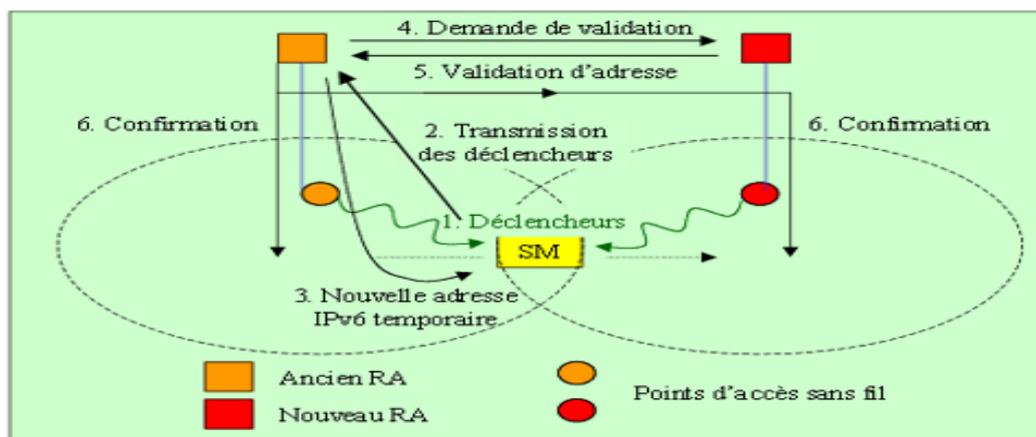


FIG. 3.1 – "handover" Anticipé.

Dans la méthode du Handover basé sur un Tunnel [25], la SM repousse l'établissement d'une nouvelle adresse IPv6 temporaire. Elle va donc continuer à utiliser son ancienne adresse IPv6 dans le nouveau sous-réseau. Ce mécanisme est possible grâce à l'utilisation d'un tunnel bidirectionnel entre les RA : les paquets à destination de la SM continuent à atteindre l'ancien sous-réseau, dans lequel ils sont capturés par le RA qui les redirige vers le nouveau RA. Les paquets en provenance de la SM prennent le chemin inverse puisqu'ils sont capturés par le nouveau RA et être dirigés vers l'ancien R A qui les transmettra dans l'Internet.

La particularité de cette méthode est que l'établissement du tunnel est réalisé sans aucune interaction avec la SM. Les RA détectent la SM est en train de se déplacer par les déclencheurs de niveau 2. Cet aspect est très important puisque l'émission d'un message sur l'interface sans fil est beaucoup plus coûteuse qu'un échange de message sur le réseau filaire. Ainsi, le temps de coupure observé par la SM se résume au temps du "handover" de niveau .Par la suite, la SM pourra se configurer et enregistrer une nouvelle adresse IPv6 en parallèle de ses communications dans le nouveau sous-réseau.

3.2.4.2 Le Transfert de Contexte

Le transfert de contexte [26] a pour objectif de réduire les effets d'un "handover" sur les applications temps réel des SM. Le principe est de mettre en place le plus rapidement possible le même niveau de service dont bénéficiait une SM dans son sous-réseau précédent. Ce protocole propose donc un échange de messages entre RA pour les différentes sessions des SM. A chaque flux d'une SM est donc associé un

contexte différent et identifiable. Celui-ci peut être :

- La compression d'entête, souvent utilisée dans la propagation radio puisque le coût d'accès au médium est plus coûteux et les débits offerts sont en général inférieurs à ce que l'on observe en filaire ;
- La mise en tampon des paquets, par exemple pour la gestion des flux TCP [27] ;
- Le niveau de qualité de service ;
- La gestion de groupe multipoint si le mobile appartient à une communication multicast.

De la même manière que pour le Fast Handover, les deux RA établissent un tunnel entre eux leur permettant de s'échanger des informations sécurisées sur les SM. La mise en œuvre de ce tunnel peut être faite avant même la connexion de la SM au nouveau point d'attache en utilisant les déclencheurs de niveau 2.

3.2.5 Les différentes phases du Handover

La procédure du handover est souvent partagée en trois phases principales qui sont les suivantes :

3.2.5.1 Phase de découverte

La notion de découverte est importante car elle pose de nombreuses difficultés. La procédure de Handover suppose un grand nombre de mesures pour un mobile afin de découvrir son environnement et les points d'accès auxquels il peut potentiellement s'attacher. Ces mesures sont :

- la puissance du signal reçu (qui est un indicateur de qualité).
- le taux d'erreur binaire.
- la distance entre le mobile et le point d'attachement.

Dans cette phase, le Handover vertical doit être utilisé en conjonction avec les mesures (signal reçu, taux d'erreur,...). Les éléments sont les suivants :

- Type de service : On peut avoir différents types de services qui demandent des qualités de services différentes.
- Le coût : Il s'agit d'un élément très important pour l'utilisateur, car les opérateurs vont utiliser des stratégies de taxation qui vont déterminer son choix.
- Paramètres réseau : Des paramètres de réseau comme le trafic, la bande passante disponible.

- Performance du système : On peut inclure ici des paramètres de canal comme la BER, l'interférence. La batterie peut avoir aussi une influence dans le handover.

3.2.5.2 Phase de décision

Lorsque des paramètres mesurés sur l'accès courant franchissent certains seuils (puissance de signal, taux de perte), le mécanisme de HO est déclenché. La phase de décision qui vient une fois que le mobile a déjà acquis son environnement et qui consiste à choisir parmi la liste des AR disponibles le prochain AR auquel il va s'attacher.

Ce choix peut être fait par le mobile ou par une entité dans le réseau. La seconde approche est souvent utilisée pour préparer l'attachement avant que le changement de AR ne soit commencé afin de réduire le temps d'interruption. En fonction du niveau de la pile réseau auquel on se place, les informations utilisées pour prendre la décision ne sont pas de même nature.

De plus en plus, les approches cherchent à s'affranchir la séparation stricte en couche dont on n'est plus très sûr qu'elle soit bien adaptée à la gestion de la mobilité. Elle limite, en effet, l'acheminement des données utiles au déclenchement du Handover puis à la sélection du prochain AR, surtout en environnement hétérogène où chaque niveau de liaison ne dispose que des informations relatives à sa technologie d'accès et ne voit pas les AR d'autres technologies présents dans la zone.

3.2.5.3 Phase d'exécution du Handover (transfert effectif de lien)

La phase d'exécution comprend l'attachement au nouvel AR, c'est-à-dire l'ensemble des actions que le mobile doit entreprendre pour être capable de communiquer à travers le nouvel AR. Une fois l'attachement effectué, il est nécessaire de faire la publicité de la nouvelle localisation pour permettre aux nouveaux correspondants de joindre le mobile en fonction d'une identité qu'ils connaissent.

Il s'agit donc d'avertir le réseau et/ou les correspondants courants ou potentiels de la nouvelle position du mobile. Il faut ensuite diriger le trafic vers la nouvelle position. Dans le cas de la mobilité IP les deux dernières actions sont combinées lors des mises à jour d'association qui informe l'agent mère (ou Home Agent) ou les correspondants pour qu'ils envoient leur trafic vers la nouvelle position.

3.2.6 Les procédures d'exécutions du Handover

Le mécanisme de Handover est proactif lorsque tout ou partie de la phase d'exécution peut être préparée avant le changement effectif du point d'attachement. Il sera réactif lorsque l'ensemble des phases sont effectués après. Nous avons deux grandes catégories de handover suivant ce qui se déroule au niveau liaison (handover L2) ou au niveau réseau (handover L3), dont plusieurs types sont possibles :

3.2.6.1 Le soft handover

Soft handover se produit lorsque le mobile est dans la zone de chevauchement de deux cellules. Il permet à un mobile d'utiliser plus d'un lien radio pour communiquer avec le réseau fixe. Cette procédure permet de diminuer le taux d'échec de handover aux bords des cellules et améliore significativement la qualité de signal. Le déclenchement de ce type de handover se fait en se basant sur les mesures effectuées par le mobile sur les canaux pilotes des différentes stations de base. Le soft handover correspond au cas où les deux liens radio sont contrôlés par des stations de bases différentes [28](voir la figure 3.2).

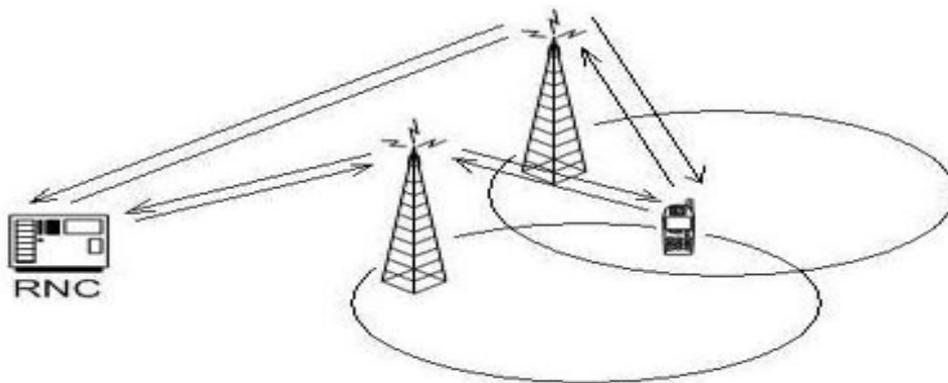


FIG. 3.2 – Le Mécanisme de Soft Handover.

- **Caractéristiques du soft handover**

- Qualité de service offerte à l'usage ;
- Charge élevée au niveau de réseau ;
- Charge élevée sur l'interface radio (système CDMA et 3ème génération (UMTS)).

3.2.6.2 Le hard handover

Le hard handover consiste à libérer l'ancienne connexion avant qu'une nouvelle connexion radio entre le mobile et le réseau soit établie. Ce type de handover est utilisé dans les réseaux GSM, où dans chaque cellule on a des fréquences différentes. Un mobile qui passe dans une nouvelle cellule provoque la rupture de l'ancienne connexion avant qu'une nouvelle connexion utilisant une autre fréquence soit établie dans la cellule visitée. Le déroulement de la procédure de Hard handover se compose de trois phases : la préparation, l'exécution, la libération des anciennes ressources utilisées. Il existe deux autres types de handover :

- le Hard Handover inter-fréquences qui permet à un terminal mobile de passer d'un spectre de fréquence à un autre ;
- le Hard Handover inter-systèmes qui permet au terminal mobile de passer d'un système à un autre [29] (voir la figure 3.3).

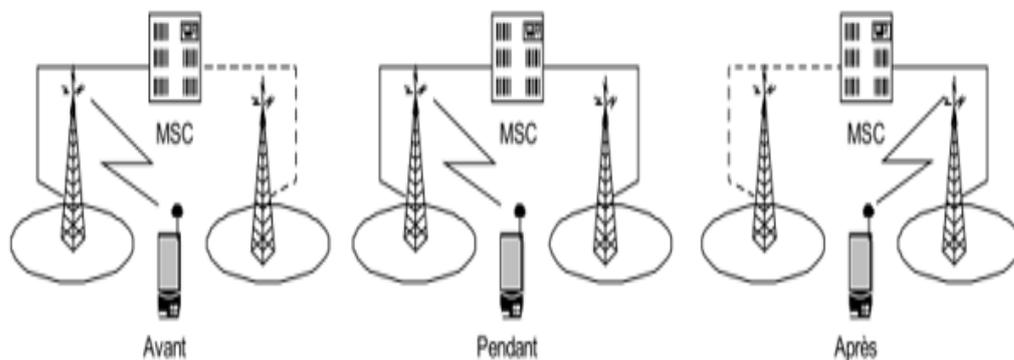


FIG. 3.3 – Le Mécanisme de Hard Handover.

- **Caractéristique du Hard Handover**

- Un seul radio à la fois ;
- Légère interruption de la communication (GSM).

3.2.6.3 Le seamless Handover

Dans le seamless handover, la nouvelle liaison est établie en parallèle avec l'ancienne et le flux de données est transféré par le mobile sur les deux liens. Pendant le handover, seul l'ancien lien est actif à la fin du handover le nouveau flux de données est active (voir la figure 3.4).

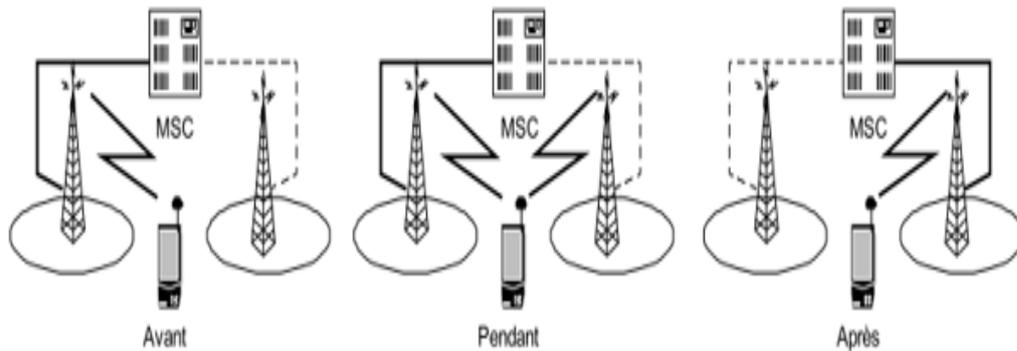


FIG. 3.4 – Le Mécanisme de Seamless Handover.

- **Caractéristiques du seamless Handover**

- Qualité de service maintenue ;
- Probabilité de coupure minimisée ;
- Consommation supérieure des ressources.

3.2.6.4 Les différents Handovers

1 : Handover Intra-cellulaire. 2 : Handover Intra-BSC. 3 : Handover Intra-MSC.
4 : Handover Inter-MSC. 5 : Handover Inter-Réseau (voir la figure 3.5).

- **handover Intra-BSC** : le nouveau canal est attribué à la MS dans la même cellule ou une autre cellule gérée par la même BSC.
- **handover Intra-MSC** : le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre BSC, lui-même étant géré par le même MSC.
- **handover Inter-MSC** : le nouveau canal est attribué dans une cellule qui est gérée par un autre MSC.
- **handover inter-System** : un nouveau canal est attribué dans un autre réseau mobile que celui qui est en charge de la MS (exemple entre un réseau GSM et un réseau UMTS).

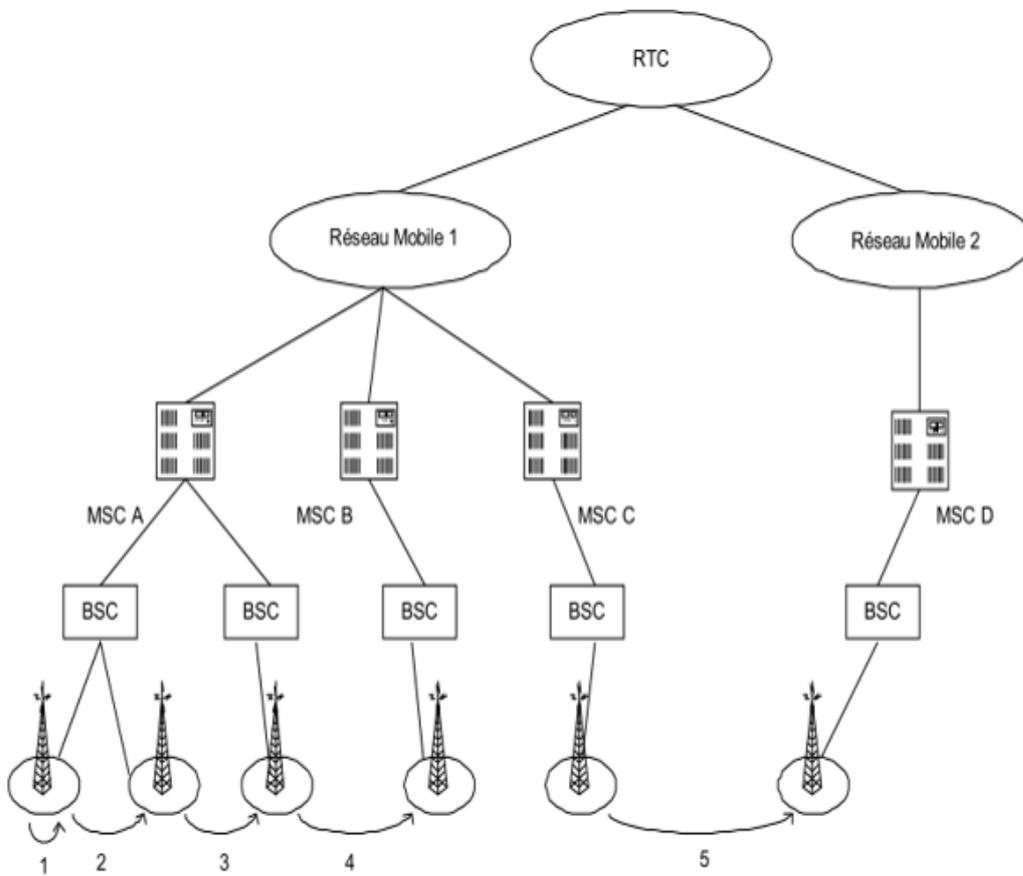


FIG. 3.5 – Les Différents Handovers.

3.2.7 Les paramètres de qualité de service

Comme la Qualité de Service (QoS) est un point important dans tous les réseaux (informatique et télécom.), il semble intéressant d'étudier les moyens permettant d'introduire cette notion dans les réseaux NEMO où les terminaux sont en mouvement les uns par rapport aux autres. La QoS peut être apportée à différents niveaux : couche application, couche transport, couche réseau, couche MAC, etc. La qualité de service possède quatre paramètres de performance qui sont [30] :

- **Le délai (Delay)**

Correspond au temps que met un paquet pour traverser le réseau d'un point d'entrée à un point de sortie.

- **La gigue (jitter)**

Représente la variation des délais d'acheminement des paquets dans le réseau.

- **Le taux de perte de paquets (paquet loss)**

Les pertes de paquets sont dues à des phénomènes de congestion sur le réseau ou à une mauvaise qualité de liaison.

- **Le débit**

Il désigne le nombre de bits transmis par seconde.

3.3 Analyse du délai du Handover NEMO

Le protocole NEMO BS [31] proposé par IETF fournit un support de mobilité pour un réseau mobile entier en se déplaçant à travers différents réseaux d'accès hétérogènes. L'accès continu et non interrompu à Internet des nœuds (MNN) à l'intérieur du réseau mobile NEMO est fourni par le routeur mobile (MR) qui contrôle le mouvement du réseau NEMO.

Le MR est identifié par son adresse (HoA) par laquelle, il est accessible dans son réseau mère, et il est localisé par son adresse (CoA) acquise au réseau visité. L'agent mère (Home Agent : HA) situé au réseau mère aide le MR dans la gestion de mobilité du réseau NEMO. Pour changer son point d'attachement à un nouveau réseau d'accès (i-e : attachement à un nouveau routeur d'accès AR), Le MR doit exécuter en général un handover vertical comprenant les deux Handovers L2 et L3 (voir la figure 3.6).

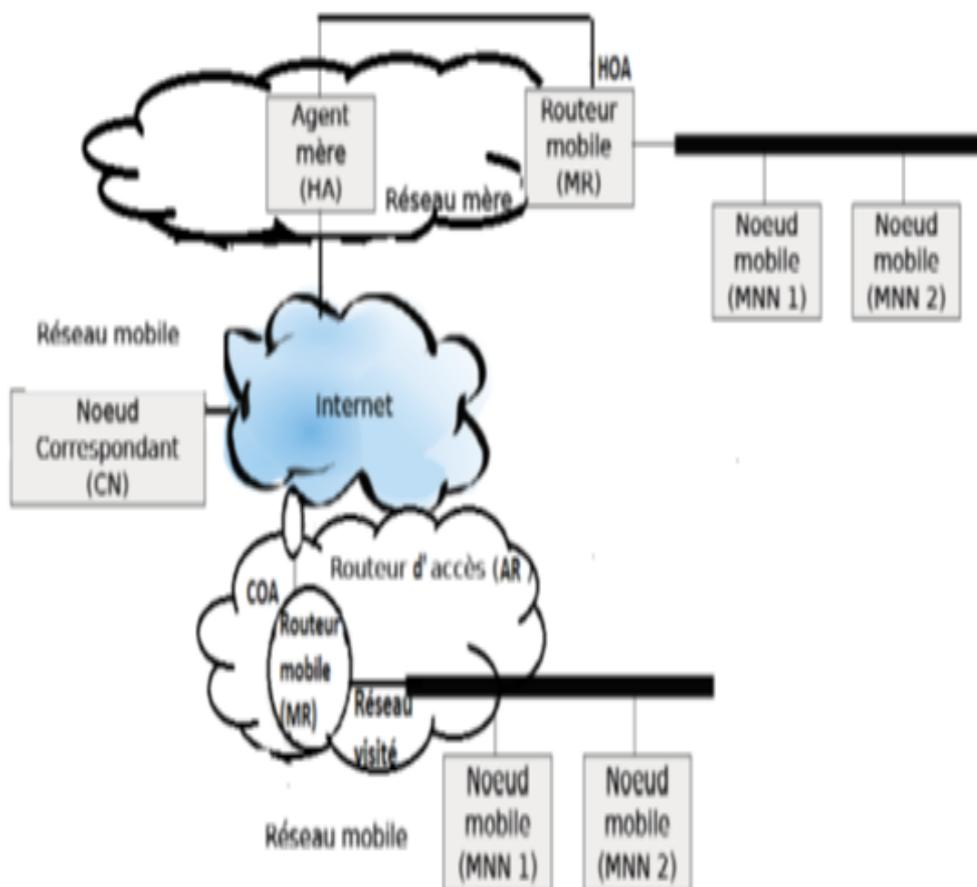


FIG. 3.6 – Architecture de NEMO.

3.3.1 Délai du Handover L2

Puisque les Handover L2 et L3 sont indépendants dans le protocole de NEMO BS (le Handover L3 se produit après le Handover L2), le délai global du Handover THO peut être exprimé par l'équation suivante :

$$T_{HO} = T_{L2} + T_{L3}$$

Où :

- T_{L2} est le délai du Handover de la couche L2 (le temps requis pour établir une nouvelle association par l'interface physique).
- T_{L3} est le délai du Handover de la couche L3 ou niveau IP (c'est le délai pour enregistrer une nouvelle adresse CoA auprès du Home Agent (HA) et recevoir le premier paquet de données à cette nouvelle localisation).

La procédure du Handover L2 inclue en général les trois phases suivantes qui dépendent de la technologie d'accès et affichent une grande variation : Le scanning introduisant un délai T_{scan} , L'authentification T_{auth} et l'association Tass. Les valeurs publiées du délai T_{L2} sont entre 50 ms et 400 ms [31].

Il s'en suit :

$$T_{L2} = T_{scan} + T_{auth} + T_{ass}$$

Le Handover L2 est déclenché par l'évènement de lien Link_Down correspondant à la condition suivante :

$$P_{rx} < P_{th}$$

Où :

- P_{rx} : est la puissance du signal reçu correspondant à l'indication RSSI (Received Signal Strength Indication).
- P_{th} : est la puissance de seuil prédéfinie en-dessous de laquelle le statut de lien est considéré rompu (Link_Down).

3.3.2 Délai du Handover L3

La procédure du Handover L3 est composée de quatre phases distinctes[32] :

1. Détection de Mouvement (Movement Detection , MD) : Si le MR change l'AR et que ce nouvel AR appartient à un réseau différent, le changement d'AR entraîne un changement de réseau. Dans ce cas, le MR doit effectuer

la procédure du Handover de niveau 3 pour pouvoir maintenir sa connexion avec ses correspondants. Pour cela, le MR doit d'abord détecter le changement de réseau avant d'auto-configurer sa nouvelle adresse IP. Le MR détecte son mouvement grâce à l'information de préfixe contenue dans les messages reçus " Router Advertisement (RA) " annoncés périodiquement par le nouvel AR (new AR, NAR). Le MR peut agir d'une façon proactive en envoyant des messages " Router Solicitation (RS) " pour obtenir les messages RA des routeurs voisins. Le MR détecte son mouvement si le routeur PAR est inaccessible, (i-e : aucun message RA provenant du PAR n'est reçu).

2.Assignation d'adresse CoA et test DAD : Après la réception de l'information de préfixe du NAR, le MR procède à la configuration automatique state less (dont le délai est négligeable) ; le MR s'auto-configure avec une nouvelle adresse CoA (construite à partir du nouveau préfixe) et doit vérifier son unicité avec le processus DAD (Duplicate Address Detection). Le processus DAD consiste à diffuser sur le lien une requête de recherche de noeuds possédant la même adresse IP choisie. Si au bout d'une seconde (valeur par défaut) aucune réponse n'est reçue alors l'adresse IP choisie est considérée unique ; si non, elle est considérée dupliquée et une reconfiguration est obligatoire.

3.Association de sécurité IPsec (IPsec Security Association, SA) : Une fois que le MR a obtenu une adresse CoA unique, il doit s'enregistrer au prés de son HA. Toutefois, comme indiqué par, tous les messages de signalisation entre le MR et le HA doivent être authentifiés par IPsec ; le MR doit donc établir préalablement un tunnel IPsec avec son HA ; pour ce faire, le MR crée une association de sécurité (SA) avec son HA en utilisant le protocole IKE (Internet Key Exchange).

4.Enregistrement BU/BACK : Dès que le MR s'est auto-configuré avec une nouvelle et unique adresse CoA et qu'une association de sécurité est créée entre le MR et son HA, le MR envoie immédiatement un binding update (BU) à son HA. A la réception de ce message, le HA enregistre la CoA dans son binding cache et renvoie un binding ACK (BACK) au MR.

Ainsi, le délai du Handover L3 peut être calculé analytiquement par :

$$T_{L3} = T_{MD} + T_{DAD} + T_{Reg}$$

T_{MD}	est le délai de la procédure de détection de mouvement. Ou le temps requis pour le nœud mobile pour recevoir l'information de préfixe contenue dans les messages reçus du nouveau routeur d'accès, après la déconnexion de l'ancien AR.
T_{DAD}	est le délai du test DAD
T_{reg}	est le délai de l'enregistrement d'une adresse CoA, (Le temps écoulé entre l'envoi de la BU du MN au HA et de l'arrivée / transmission du premier paquet à travers le nouveau routeur d'accès)

TAB. 3.1 – Explications des valeurs T_{MD} , T_{DAD} et T_{Reg}

Sous la forme explicite, nous avons :

$$T_{MD} = T_{RS} + T_{RA}$$

$$T_{Reg} = T_{SA} + T_{BU} + T_{BA}$$

T_{RS}	est le délai du 'Router Solicitation
T_{RA}	est le délai du 'Router Advertisement
T_{SA}	est le délai de la création d'une association de sécurité IPsec (SA)
T_{BA}	est le délai du Binding Ack

TAB. 3.2 – Les different valeurs de DMD, Dreg .

En référant à la figure 3.3, nous pouvons exprimer T_{L3} en fonction de RTT_{MR-AR} et RTT_{AR-HA} , (RTT est le délai aller-retour : Round Trip Time) :

$$T_{L3} = 4 RTT_{MR-AR} + T_{DAD} + 3 RTT_{AR-HA}$$

3.3.3 Métriques à évaluer

Pour mettre en évidence les performances du handover NEMO BS, nous avons conduit des tests sous Matlab. Les résultats représentés dans les figurés suivants.

3.3.4 Définition du Matlab

Est un système interactif de programmation scientifique, pour le calcul numérique et la visualisation graphique, basé sur la représentation matricielle des données.

La figure 3.7 représente le délai partiel du Handover NEMO concernant le niveau L3. Pour le paramétrer, nous avons utilisé comme valeur minimale 10 ms et comme valeur maximale 150 ms. Cette plage regroupe toutes les valeurs possibles pour les différentes technologies (IEEE 802.11, IEEE 802.16, 3G)[33].

Pour le (double délai de l'internet), nous avons utilisé les données publiés par, soit la plage [20 ms, 200 ms]. Deux valeurs pour le délai DAD (250 ms et 500 ms) sont utilisées pour prendre en compte la variation du délai DAD. Nous constatons que le délai du Handover L3 est compris entre une valeur minimale d'environ 350 ms et une valeur maximale de 1.7 s.

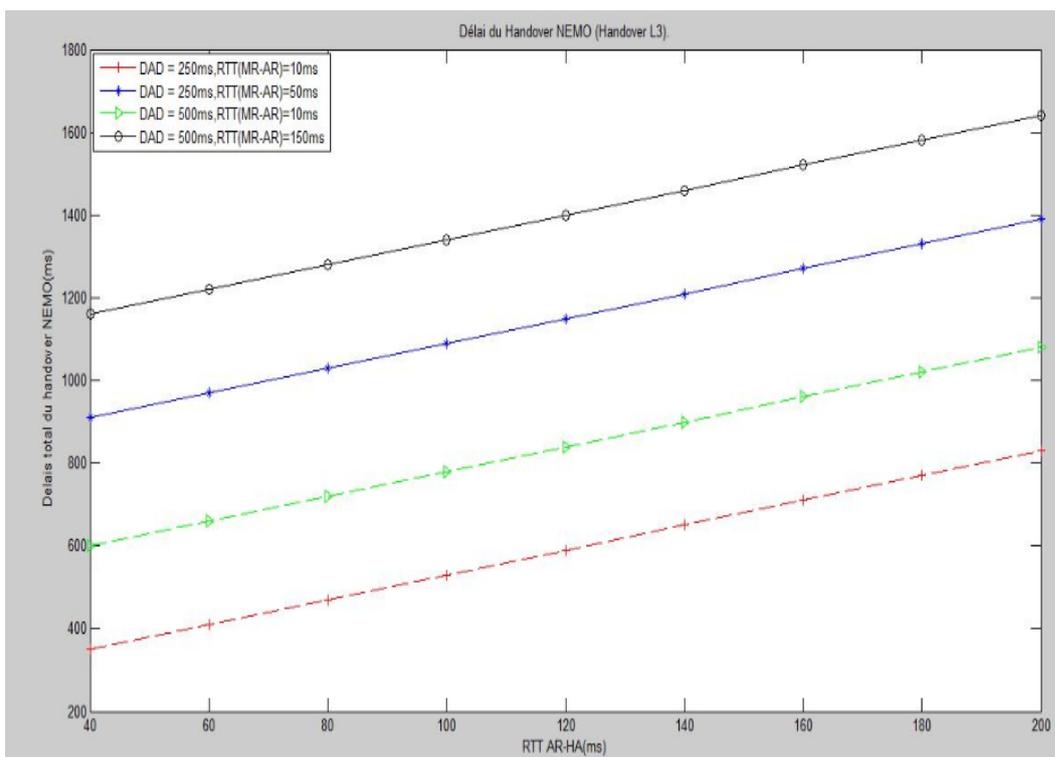


FIG. 3.7 – Délais de handover NEMO (Handover L3).

Sur la figure (3.8) nous avons représenté le délai total du Handover NEMO regroupant celui de L2 et celui de L3. Nous avons retenu pour cette représentation les valeurs minimales de et du délai DAD soit respectivement 10 ms et 250 ms. Pour

le délai du Handover L2 qui dépend énormément de la technologie radio utilisée, nous avons pris la plage [50 ms, 400 ms]. Nous pouvons facilement voir que la valeur minimale du délai total du Handover NEMO excède la valeur 400 ms, et ce dans les conditions très spéciales décrites précédemment[34]. La figure (3.9) montre que les

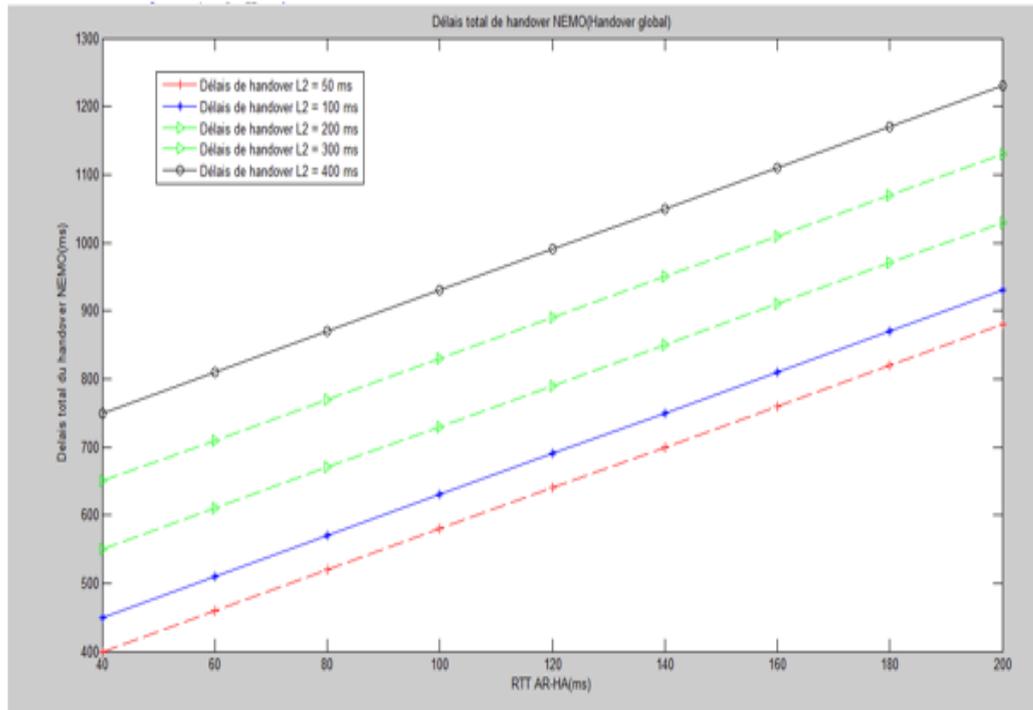


FIG. 3.8 – Délais total du Handover NEMO (Handover global).

pertes de données exprimées en Koctets pendant le Handover augmentant avec le délai total du Handover NEMO et le débit de l'application utilisée.

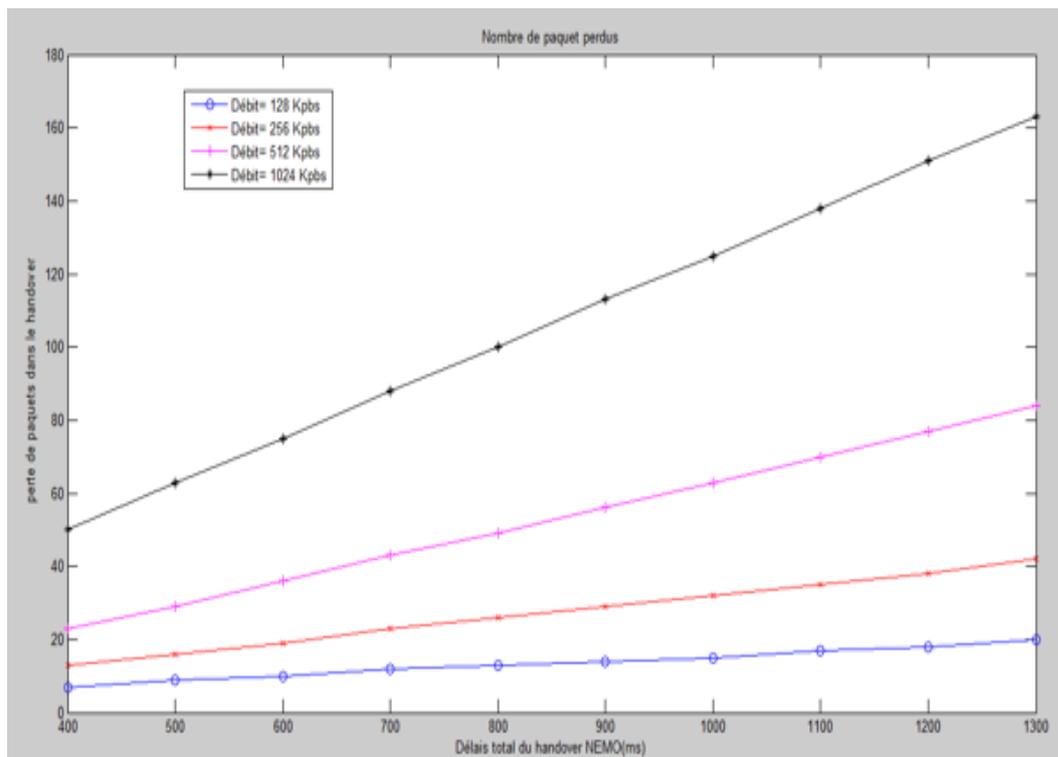


FIG. 3.9 – Nombre du paquet perdus.

3.3.5 Définition de NS2

NS2 est un outil de simulation de réseaux de données. Il est bâti autour d'un langage de programmation appelé Tcl dont il est une extension. Du point de vue de l'utilisateur, la mise en oeuvre de ce simulateur se fait via une étape de programmation qui décrit la topologie du réseau et le comportement de ses composants, puis vient l'étape de simulation proprement dite et enfin l'interprétation des résultats[35]. Cette dernière étape peut être prise en charge par un outil annexe, appelé nam qui permet une visualisation et une analyse des éléments simulés. NS2 est en réalité un programme relativement complexe écrit en C++ et interfacé via Tcl. Pour modifier le comportement d'objets existants, il est donc nécessaire de modifier le code C++ qui en réalise l'implantation.

3.3.6 Les étapes de simulation

Avant de pouvoir utiliser le simulateur, la topologie du réseau et le besoin de chaque noeud doivent être décrits dans un fichier TCL qui sera ensuite lu par le simulateur. Les paramètres et les configurations avec le code définis au niveau de ce

fichier sont les suivant :

Paramètres	Signification
Temps de depart	0 dépare de simulation
traffic_start	5 le début de trafic
traffic_stop	500 la fin de trafic
simulation_stop	500 la fin de simulation

TAB. 3.3 – Les paramètres du simulation.

La simulation va commencer à l’instant 0 et va terminer à l’instant 500 secondes.

```
# la simulation va durer 500 secondes de temps simulation
set output_dir .
set temp_depart 0
set traffic_start 5
set traffic_stop 500
set simulation_stop 500
```

Nous avons construit un réseau pour la simulation. Nous avons utilisé un réseau wimax et un réseau wifi. Wimax est le réseau avec une bande passante élevée et une grande zone de couverture dans notre simulation wimax ayant une zone de couverture 500m et Wifi ayant une zone de couverture est de 20m.

- Configuration de la station de base wimax

Paramètres	Signification
Pt_	=0.025w : puissance du signal transmis de la station de base
RXThresh_	=7.91016e-15 : seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.8*[Phy/WirelessPhy set RX-Thresh_]] w : seuil de détection de porteuse

TAB. 3.4 – Les paramètres de la station de base WiMAX.

```
#definir la zone de couverture de la station de base: 500M
```

```
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.25
```

```
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 7.91016e-15
```

```
Phy/WirelessPhy set CSThresh_ [expr 0.8*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]
```

- Les paramètres de réseau Wifi

Paramètres	Signification
Channel/wirelessChannel	Type de canal : sans fils
Propagation/TwoRayGround	Modèle de propagation radio
Phy/wirelessPhy	Type d'interface du réseau
Mac/802_11	Type de couche MAC
Queue/DropTail/PriQueue	Type d'interface de la file d'attente
LL	Link layer type
Antanna/OmniAntenna	Modèle d'antenne
50	Taille maximale des files d'attente
Adhocrouting	Le protocole de routage utilisé. dans ce cas DSDV
50	La fréquence pour max paquets
5000	Dimension de x dans la topographie
5000	Dimension de y dans la topographie

TAB. 3.5 – Les paramètres de réseau WiFi.

```

# Define options for wireless nodes
set opt(chan)          Channel/WirelessChannel      ;# channel type
set opt(prop)          Propagation/TwoRayGround     ;# radio-propagation model
set opt(netif)         Phy/WirelessPhy/OFDM        ;# network interface type
set opt(mac)           Mac/802_11                 ;# MAC type
set opt(ifq)           Queue/DropTail/PriQueue     ;# interface queue type
set opt(ll)            LL                          ;# link layer type
set opt(ant)           Antenna/OmniAntenna         ;# antenna model
set opt(ifqlen)        50                          ;# max packet in ifq
set opt(adhocRouting) DSDV                        ;# routing protocol

set opt(x)             5000                        ;# X dimension of the topography
set opt(y)             5000                        ;# Y dimension of the topography

```

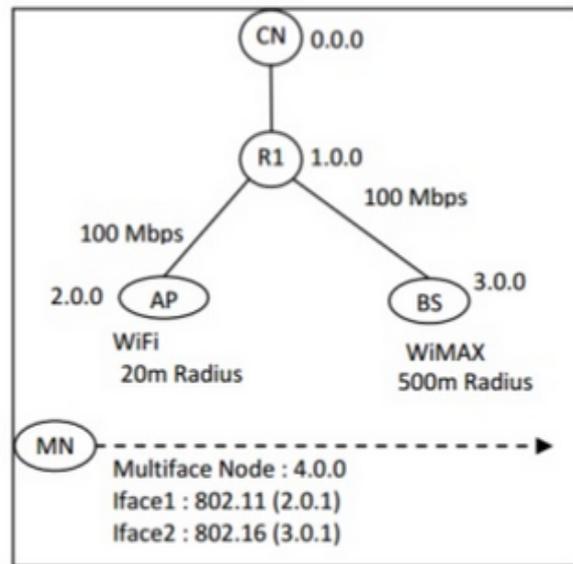
- Configuration du point d'accès

Paramètres	Signification
Pt_	=0.025w : puissance du signal transmis de la station de base
freq_	=2412 e+6 : fréquence
RXThresh_	=1.12277e-10w : seuil de réception de puissance
CSThresh_	= [expr 0.9*[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]] w :seuil de détection de porteuse

TAB. 3.6 – Les paramètres du point d'accès WiFi.

```
#Définir la zone de couverture du point d'accès: 20m coverage
Phy/WirelessPhy set Pt_ 0.025
Phy/WirelessPhy set freq_ 2412e+6
Phy/WirelessPhy set RXThresh_ 1.12277e-10
Phy/WirelessPhy set CSThresh_ [expr 0.9 *[Phy/WirelessPhy set RXThresh_]]
```

- La topologie du réseau simulé sous NS2 :
 - Le noeud 0 : Un noeud (0.0.0) présentant CN d'interface filaire.
 - Le noeud 1 : Un routeur (1.0.0) présentant R1 trois interfaces filaires.
 - Le noeud 2 : Un noeud (2.0.0) présentant AP point d'accès wifi.
 - Le noeud 3 : Un noeud (3.0.0) présentant BS la base de station wimax.
 - Le noeud 4 : Le noeud MN (4.0.0) présentant un noeud mobile attaché au routeur mobile.
 - Le noeud 5 : Le noeud iface1 (2.0.1) présentant une interface externe de 802.11.
 - Le noeud 6 : iface2 (3.0.1) présentant une interface externe de 802.16



Notre topologie est composée d'un réseau local sans fil points d'accès AP et une station de base BS et une MN. La MN est configurée pour utiliser deux interfaces multiples, wifi et wimax en même temps. AP et BS sont connectés au réseau de base. La bande passante entre le CN et le routeur1 est fixé à 100 Mbps. De même la bande passante entre l'accès wifi et le routeur est configuré à 100 Mbps et entre wimax et routeur1 est fixé à 100 Mbps. Le trafic CBR est créé entre le CN et le nœud Multiface. Au début, MN connecté à AP et commence à se déplacer vers le réseau wimax. À ce point de temps MN doit faire un handover.

3.4 Conclusion

Ce chapitre présente de façon fixe le fonctionnement du Handover, ses spécificités tout en explicitant toutes les phases qui le composent, dans le réseau NEMO. L'outil de simulation, le paramétrage et les configurations des nœuds sont également présentés dans ce chapitre.

Conclusion générale

On a abordé dans ce travail le sujet de handover dans les reseaux mobiles toute en passant par la présentation des différents concepte et le principe d'un tel réseau ainsi que les protocoles utilisés dans la gestion de mobilites dans ce type de réseau. Ces réseaux mobiles ont été abordés dans plusieurs études ces dernières années, notamment la mobilite . Cependant sa tendance vers un réseau " tout IP " fait de lui un axe de recherche ouvert à plusieurs études, soit au niveau de la qualite de service ou au niveau de la gestion de la mobilité.

Dans notre projet de fin d'étude, nous nous somme interessés au probleme de la mobilite dans les reseaux mobiles (conserve les communication en cours lors des déplacement), Le protocole Mobile IP est la solution actuelle pour résoudre les problèmes de rupture de communication durant les déplacements des nœuds mobiles dans des réseaux IP. Ce protocole permet donc aux nœuds mobiles de se déplacer de réseaux en réseaux sans rompre leurs sessions en cours. Le nœud mobile obtient une nouvelle adresse temporaire à chaque entrée dans un réseau visité. Cette adresse indique la position courante du nœud mobile dans l'Internet. Il devra la communiquer à son agent mère, agent qui se charge d'intercepter les paquets dans le réseau principal du nœud mobile et de les lui transmettre à sa position courante dans l'Internet.

Ainsi que le support des réseaux mobiles est à présent un sujet qui intéresse de nombreux industriels, allant des fournisseurs d'équipement réseau ou d'électronique grand public jusqu'aux fabricants d'automobiles, en passant par les opérateurs de téléphone et de transport public. Le support de la mobilité des réseaux permet de développer l'idée d'un Internet omniprésent, à tout instant, à tout endroit, avec n'importe qui.

Les applications multimédia seront les premières à bénéficier de ce type d'environnement. En effet, la mobilité des réseaux rend en pratique possible la mobilité de tout équipement, ce qui implique aussi que toute application doit être en mesure de fonctionner dans un environnement mobile. Ceci nécessitera des mécanismes de changement d'interface et de routeur mobile, et la prise en considération d'un certain nombre de paramètres, en particulier le changement de qualité de service, de bande passante, de règles d'usage (pare-feu) en fonction des technologies accessibles à un instant donné et du réseau d'accès. La gestion de la mobilité des réseaux mobiles doit faire face à de nombreuses contraintes.

L'étude que nous venons de mener se caractérise essentiellement par l'utilisation d'un simulateur (logiciel NS-2) pour l'implémentation du handover dans les réseaux mobiles et nous avons utilisé le logiciel matlab pour analyser le handover dans le réseau NEMO .

Comme perspectives à notre travail, il serait entre autre, intéressant d'intégrer des modules ou paquets compatibles avec la dernière version de NS2 qui permettraient le bon déroulement des simulations des opérations de la gestion de mobilité notamment le handover dans les réseaux mobiles.

Bibliographie

- [1] http://livre.g6.asso.fr/index.php/Support_de_la_Mobilit.
- [2] <http://slideplayer.fr/slide/3222558>.

- [3] <http://www.marche-public.fr/Terminologie/Entrees/1G.htm>
- [4] G.Bocq,Public Networks Technical Report, 2007.

- [5] M. Dohler, M. J. Nawroki and A. H. Aghvami, Understanding UMTS Radio Network Modling Planning and Automated Optimisation, John Wiley and Sons Ltd, July 2006.

- [6] George Lawton,"4G : Engineering versus Marketing", <http://ComputingNow.computer.org>, MARCH 2011.

- [7] DATTA, P. et KAUSHAL S. "Exploration and comparison of direct 4g technologies implementations" : A survey. Engineering and Computational Sciences (RAECS), Recent Advances in 1-6, 2014.

- [8] BOUCHENTOUF H. BOUDGHENE STAMBOULI R. " ETUDE DES PERFORMANCES DES RESEAUX 4G (LTE) ", mémoire pro 2 de Télécommunication, université Abou Bekr Belkaid,2013

- [9] A faq H. Khan Mohammed A. Qadeer, Juned A. Ansari, Sariya Waheed, 4G as a Next generation Wireless Network, International Conference on futur Compter and Communication, Aligarh Muslim University, India, PP_334-338, 2009.

- [10] http://www.iec.org/online/tutorials/ti_voip_wlan/images/figure12.gif
- [11] <https://wapiti.telecomlille.fr/commun/ens/peda/options/st/rio/pub/exposes/exposesrio2008/Traore-Werquin/Macro%20et%20micro.html>.
- [12] Thierry Ernst, " Le support des réseaux mobiles dans IPv6", PDF, 2006.
- [13] RFC 6275 - Mobility Support in IPv6
- [14] K. Al Agha, OPTIMISATION DU HANDOVER DANS LE PROTOCOLE IPV6"- GUOZHI WEI Université de Versailles 1998.
- [15] Samer K. " Cellular IP avec Qualité de Service " UNIVERSITE LIBANAISE UNIVERSITE SAINT-JOSEPH,2009.
- [16] CIRP : Cellular IP Reservation Protocol (PDF Download Available).
https://www.researchgate.net/publication/228577395_CIRP_Cellular_IP_Reservation_Protocol [accessed Apr 14, 2016].
- [17] Abdelmalek Slimane Zohra, " contribution à la modélisation des réseaux nemo"UNIVERSITE Tlemcen, THESE DOCTORANT, 2012.
- [18] Mitra A., Sardar B. and Saha D., (2011). "Efficient Management of Fast Handoff in Wireless Network Mobility (NEMO)". Working paper series WPS No. 671.
- [19] P.Dupuy, Handover Method between two Cells of a Cellular Mobile Radiocommunication Network, 1996.
- [20] M.Bzeouihch, Etude du mécanisme de Handover Inter Systemes (GSM/UMTS), 2003/2004.
- [21] S. Tabbane, Reseaux Mobiles, Edition Hermes, 1996.

- [22] F. Nahed , Etude des Schémas Fixes d'Allocation dans les Réseaux cellulaires, Sup Com,1998.
- [23] G.Bocq,Public Networks Technical Report,2007.
- [24] Z. Fetoui, Etude des mécanismes de handover inter-système UMTS WIMAX, Sup Com, 2007.
- [25] A.Troel, F.Weis and Banatre, Prise en compte du mouvement dans les systèmes de communication sans-file Rapport de recherche n° 4720 Février 2003.
- [26] Dommetry, G., Yegin, A., Perkins, C., Tsirtsis, G., El-Malki, K., Khalil, M. Fast Handovers for Mobile IPv6. Internet Engineering Task Force (IETF) draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-04.txt. Novembre 2001.
- [27] Thomson S., Narten T. IPv6 Stateless Address Autoconfiguration. Internet Engineering Task Force (IETF) Request for comments (Draft Standard) 2462. Décembre 1998.
- [28] Shenker, S., Wroclawski, J. Network Element Service Specification Template. Internet Engineering Task Force (IETF) Request for comments (Draft Standard) 2216. Septembre 1997.
- [29] Nichols, K., Blake, S., Baker, F., Black, D. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers. Internet Engineering Task Force (IETF) Request for comments (Draft Standard) 2474. Décembre 1998.
- [30] F. Valois. Gestion de la mobilité Laboratoire CITI, INSA Lyon Janvier 2002.
- [31] Z. Malouche, la mobilité dans le réseau UMTS.SUPCOM Janvier 2004.
- [32] badr benmammar, "la gestion dynamique de la qualité de service dans les réseaux IP mobiles", PDF, 12/05/2006.

- [33] N. Montavont and T. Noel. Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks. IEEE Communications Magazine, August 2002
- [34] <http://www.internettrafficreport.com/namerica.htm>.
- [35] V. Vassiliou and Z. Zinonos, "Analysis of the Handover Latency Components in Mobile IPv6", JOURNAL OF INTERNET ENGINEERING, VOL. 3, NO. 1, DECEMBER 2009.

Annexe A

Annexe A

Installation du simulateur NS2

Pour l'installation du ns2, on doit tout d'abord installer les paquets suivants pour le bon fonctionnement de notre simulateur.

- Build-essential ;
- Autoconf ;
- Automak ;
- Libxmu-dev.

le téléchargement de la version du NS2 se fait par la commande suivante (personnellement je travaille avec la version 2.35) :

- Step 1 :** on va télécharger le fichier ns-allinone-2.35 zip.
- Step 2 :** après le téléchargement extraire le zip à l'endroit où vous voulez ; je l'ai extrait à l'endroit "home".
- Step 3 :** installer les packages de base nécessaires pour l'installation de ns2, on va taper la commande sur l'invite de commande.

Sudo apt-get install build-essential autoconf automake libxmu-dev

```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~$ sudo apt-get install build-essential autoconf automake libxmu-dev
[sudo] password for suraj:
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
autoconf is already the newest version.
automake is already the newest version.
build-essential is already the newest version.
libxmu-dev is already the newest version.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 7 not upgraded.
suraj@suraj-OptiPlex-980:~$ c
```

J'ai déjà installer

-Step 4 : modifier la ligne ns-allinone-2.35/ns-2.35/linkstate/lis.h file ,

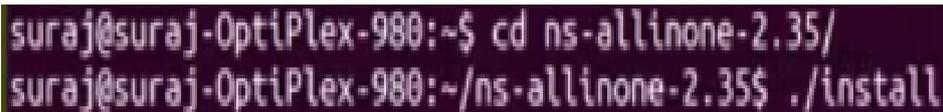
```
void eraseAll() { erase(baseMap::begin(), baseMap::end()); }
T* findPtr(Key key) {
    iterator it = baseMap::find(key);
    return (it == baseMap::end()) ? (T *)NULL : &((*it).second);
}
```

On va ajoute **this** -> dans la procedure **eraseAll()**

```
void eraseAll() { this->erase(baseMap::begin(), baseMap::end()); }
T* findPtr(Key key) {
    iterator it = baseMap::find(key);
    return (it == baseMap::end()) ? (T *)NULL : &((*it).second);
}
```

Après on va enregistrer la modification apporter sur le fichier lis.h

-Step 5 : Pour installer ns2, aller au dossier ns-allinone-2,35 dossier et exécuter la commande d'installation **./install**.



```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~$ cd ns-allinone-2.35/
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ ./install
```

il faudra 15 -20 s ou peut être plus de temps pour installer

-Step 6 : après une installation réussie (sans erreur) définir le fichier de profil path avec la commande

```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ gedit ~/.bashrc
```

ajoutez les lignes suivantes à la fin de ce fichier
voilà

```
# LD_LIBRARY_PATH
OTCL_LIB=/home/akshay/ns-allinone-2.35/otcl-1.14
NS2_LIB=/home/akshay/ns-allinone-2.35/lib
X11_LIB=/usr/X11R6/lib
USR_LOCAL_LIB=/usr/local/lib
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$X11_LIB:$USR_LOCAL_LIB
# TCL_LIBRARY
TCL_LIB=/home/akshay/ns-allinone-2.35/tcl8.5.10/library
USR_LIB=/usr/lib
export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB
# PATH
XGRAPH=/home/akshay/ns-allinone-2.35/bin:/home/akshay/ns-allinone-2.35/tcl8.5.10/unix:/home/akshay/ns-allinone-2.35/tk8.5.10/unix
#the above two lines beginning from xgraph and ending with unix should come on the same line
NS=/home/akshay/ns-allinone-2.35/ns-2.35/
NAM=/home/akshay/ns-allinone-2.35/nam-1.15/
PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
```

voilà le fichier **.bashrc** après l'ajout de ces lignes on va enregistrer le fichier.

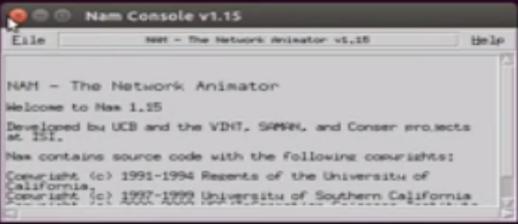
```
*nsinstallation.txt x aodvctl x maliciousnodens2.txt x .bashrc x
98 # ~/.bash_aliases, instead of adding them here directly.
99 # See /usr/share/doc/bash-doc/examples in the bash-doc package.
100
101 if [ -f ~/.bash_aliases ]; then
102     . ~/.bash_aliases
103 fi
104
105 # enable programmable completion features (you don't need to enable
106 # this, if it's already enabled in /etc/bash.bashrc and /etc/profile
107 # sources /etc/bash.bashrc).
108 if ! shopt -oq posix; then
109     if [ -f /usr/share/bash-completion/bash_completion ]; then
110         . /usr/share/bash-completion/bash_completion
111     elif [ -f /etc/bash_completion ]; then
112         . /etc/bash_completion
113     fi
114 fi
115
116 # LD_LIBRARY_PATH
117 OTCL_LIB=/home/suraj/ns-allinnone-2.35/otcl-1.14
118 NS2_LIB=/home/suraj/ns-allinnone-2.35/lib
119 USR_LOCAL_LIB=/usr/local/lib
120 export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$NS2_LIB:$USR_LOCAL_LIB
121 # TCL_LIBRARY
122 TCL_LIB=/home/suraj/ns-allinnone-2.35/tcl8.5.10/library
123 USR_LIB=/usr/lib
124 export TCL_LIBRARY=$TCL_LIB:$USR_LIB
125 # PATH
126 XGRAPH=/home/suraj/ns-allinnone-2.35/bin:/home/suraj/ns-allinnone-2.35/tcl8.5.10/unix:/home/suraj/Desktop/ns-allinnone-2.35/tk8.5.10/unix
127 NS=/home/suraj/ns-allinnone-2.35/ns-2.35/
128 NAM=/home/suraj/ns-allinnone-2.35/nam-1.15/
129 export PATH=$PATH:$XGRAPH:$NS:$NAM
130
```

-Step 7 : après l'enregistrement de fichier .bashrc on va execute la commande.
source / .bashrc

```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinnone-2.35$ source ~/.bashrc
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinnone-2.35$
```

-Step 8 : exécuter la commande ns et la commande nam.

```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ source ~/.bashrc
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ ns
% exit
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ nam
█
```



The screenshot shows a terminal window with a dark background. The user has executed the following commands: `source ~/.bashrc`, `ns`, `% exit`, and `nam`. A window titled "Nam Console v1.15" is open, showing the following text: "NAM - The Network Animator", "Welcome to Nam 1.15", "Developed by UCB and the VINT, SPMN, and Conser projects at ISI.", "Nam contains source code with the following copyrights:", "Copyright (c) 1991-1994 Regents of the University of California.", "Copyright (c) 1997-1999 University of Southern California."

ns montrent % et la commande nam affichera la fenêtre nam.

step9 : si vous montre nam erreur comme erreur de segmentation (core dumped) exécuter la commande suivante ,aller à nam-1.15 et executer la commande.

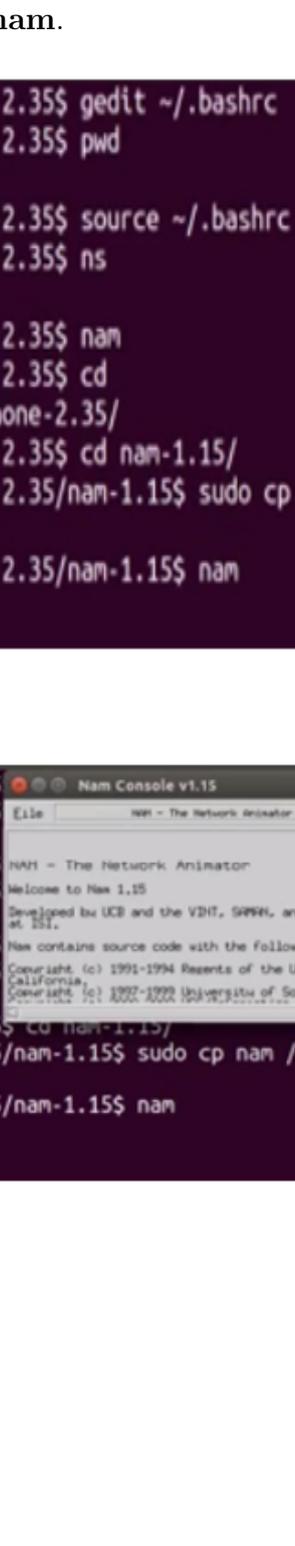
sudo cp nam /usr/local/bin

```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ gedit ~/.bashrc
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ pwd
/home/suraj/ns-allinone-2.35
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ source ~/.bashrc
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ ns
% exit
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ nam
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ cd
suraj@suraj-OptiPlex-980:~$ cd ns-allinone-2.35/
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ cd nam-1.15/
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35/nam-1.15$ sudo cp nam /usr/local/bin/
[sudo] password for suraj: █
```

Après l'exécution de la commande **nam**.

```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ gedit ~/.bashrc
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ pwd
/home/suraj/ns-allinone-2.35
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ source ~/.bashrc
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ ns
% exit
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ nam
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ cd
suraj@suraj-OptiPlex-980:~$ cd ns-allinone-2.35/
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ cd nam-1.15/
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35/nam-1.15$ sudo cp nam /usr/local/bin/
[sudo] password for suraj:
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35/nam-1.15$ nam
```

```
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35
/home/suraj/ns-allinone-2.35
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35
% exit
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35
suraj@suraj-OptiPlex-980:~$ cd ns-allinone-
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35$ cd nam-1.15/
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35/nam-1.15$ sudo cp nam /usr/local/bin/
[sudo] password for suraj:
suraj@suraj-OptiPlex-980:~/ns-allinone-2.35/nam-1.15$ nam
```



RÉSUMÉ

L'objectif du présent travail consiste à étudier et analyser la mobilité d'un réseau mobile. L'étude réalisée a nécessité l'implémentation des mécanismes efficaces de handover et de la mobilité afin de garantir la continuité de service lorsque le réseau mobile se déplace entre des réseaux hétérogènes c'est-à-dire son routeur mobile change de point d'attachement.

Mots clés : réseau mobile, NEMO, Handover, MIPv6.

ABSTRACT

The objective of this work is to design and develop a software architecture that allows the mobility of a mobile network.

The study required the implementation of effective mechanisms for handover and mobility to ensure continuity of service when the mobile network moves between heterogeneous networks is to say mobile router changes its point of attachment.

Key words : mobile network , NEMO, Handover, MIPv6.