Unified Hierarchical Mobility Management Architecture
Spécifications Fonctionnelles
Révision décembre 1999

C. CASTELLUCCIA - L. BELLIER - PROJET PLANETE - INRIA Rhône-Alpes
claude.castelluccia@inrialpes.fr

15 Novembre 1999

Ce document décrit une approche hiérarchique de la mobilité dans IPv6. Cette approche a été réalisée dans le cadre du projet RNRT MobiSecV6. Elle constitue la livraison du sous projet 3 phase 2. Le projet RNRT MobiSecV6 est réalisé conjointement par BULL, l'INRIA et le CNET.

Ce document s'adresse à des lecteurs ayant une bonne connaissance de IPv6 en général, et de Mobile IPv6 en particulier. Pour tous les détails sur Mobile IPv6, le lecteur pourra se reporter au draft Mobile IPv6 [1]. L'approche hiérarchique développée ici s'appuie sur "A hierachical Mobile IPv6 Proposal" [2]. La lecture de ce document s'avère intéressante pour suivre cette spécification.

Table des matières

1 Généralités

1.1 Introduction

La macro mobilité désigne les mouvements inter sites des mobiles. A l'intérieur d'un site la macro mobilité est inadaptée, car elle génère trop de signalisation sur l'Internet pour de petits mouvements. D'où le concept de micro mobilité, qui prend en charge la mobilité à l'intérieur d'un site à moindre coût.

Il existe aujourd'hui plusieurs propositions de gestion de la micro mobilité. Chacune d'entre elle possède ses caractéristiques et prévôt dans certaines situations. Il n'existe pas de solution optimale et il est souhaitable de conserver ces différentes solutions. Cependant la coéxistence de ces multiples implémentation n'est pas triviale. Afin d'éviter que les mobiles ne connaissent tous ces protocoles nous proposons que tous les mobiles utilisent un protocole d'enregistrement unique indépendant de la micro mobilité. Ainsi, chaque site peut mettre en œuvre son implémentation tout en restant compatible avec tous les mobiles.

Ce document décrit l'architecture de notre proposition de mobilité hiérarchique, le protocole d'enregistrement des mobiles, que nous baptisons "Unified Hierarchical Mobility Managment Architecture" (UHMMA) et Micro Mobile IPv6 (uMIPv6) notre implémentation de la micro mobilité.

1.2 Type de déplacement

Il existe donc deux grands types de mouvement ; intra site et inter site. Il existe aussi des mouvements particuliers qui sont les déplacements vers ou depuis le réseau mère. Ces mouvements ne sont pas toujours du même type. Ils peuvent être intra site ou inter site.

1.3 Abréviations utiles

`H@`	`home address`
`HR`	`home registration`
`COA`	`care of address`
`PCOA`	`physical care of address`
`VCOA`	`virtual care of address`
`HA`	`home agent`
`MH`	`mobile`
`CH`	`correspondant`
`BS`	`base station`

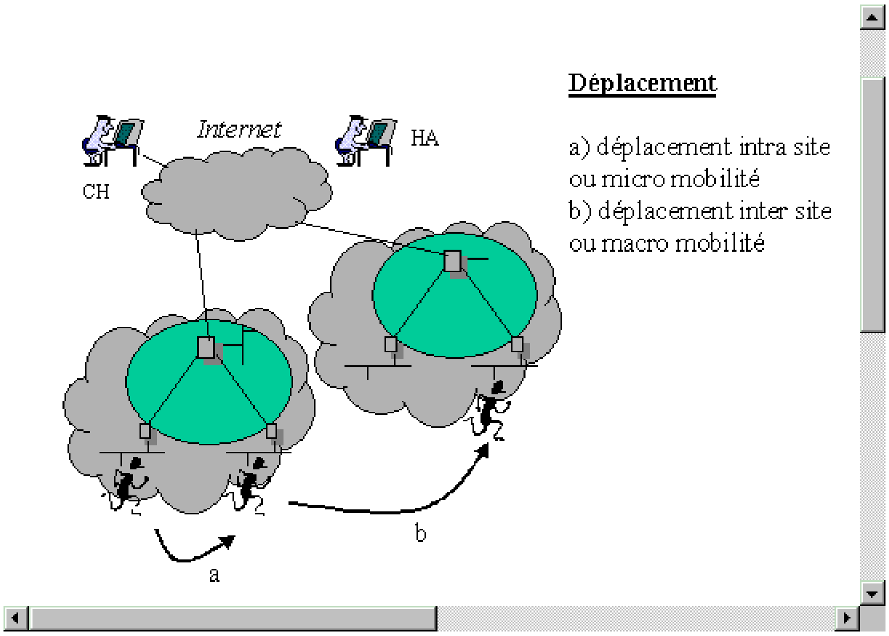

FIG. 1 – *Mouvements*

MS	mobility support
MA	mobility agent
MN	mobility network
BU	binding update
BR	binding request
BACK	binding acknowledgement

2 Proposition

2.1 Généralités

Un mobile peut fonctionner en mode Mobile IP classique ou en mode "Unified Hierarchical Mobility Managment Architecture" (UHMMA). Ce choix est laissé à la discrétion de l'utilisateur lorsqu'il démarre son mobile. Il sera également possible de naviguer entre les différents modes au cours de ses déplacements. Tous les sites ne déploieront pas UHMMA ; il est donc bon de conserver la compatibilité avec MOBILE IPv6 et un moyen de pouvoir passer d'un mode à l'autre. Le protocole d'enregistrement UHMMA s'adapte à tous les types de micro mobilité. Cela permet de visiter des sites qui déploient des protocole de micro mobilité différents.

L'idée de base est de limiter la signalisation nécessaire au protocole de mobilité en instaurant une politique de gestion hiérarchique de la mobilité. Notre solution repose sur le déploiement d'entités appelées Mobility Support (MS). Chaque site désireux de mettre en œuvre UHMMA devra se pourvoir d'un MS quelque soit son implémentation de la micro mobilité. Le MS sera chargé de gérer les mobiles (MH) en visite dans son site. Nous prévoyons d'implémenter deux types de prise en charge.

1. er mode : le MS est un simple proxy

2. ème mode : le MS est proxy et prend en charge l'envoi de Binding Update (BU) en lieu et place des mobiles en visite dans son site

Il peut y avoir plusieurs machines pour jouer le rôle de MS, nous désignons par MS l'entité mobility support, et non pas une machine précise.

2.2 Les standards respectés

Notre proposition s'appuie sur plusieurs mécanismes / protocoles existants. Elle est bâtie pour IPv6. Comme nous le verons par la suite, notre proposition est composée de plusieurs parties. Chacune des parties est en fait un protocole de communication entre plusieurs entités. Certains de ces protocoles sont des protocoles existants comme MOBILE IPv6 pour communiquer avec des correspondants ou IPSEC pour la sécurité. D'autres protocoles, créés pour nos besoins s'inspirent de MOBILE IPv6.

2.3 Les mobiles

Lorsqu'un mobile (MH) arrive dans un site, il identifie le MS et s'enregistre auprès de lui. La découverte de l'adresse du MS dépend de l'implémentation et pourrait être par exemple une adresse ajoutée dans les annonces de routeur ou l'emploi de DHCP. Le protocole de communication avec les correspondants (CH) sera MOBILE IPv6. Cela nous permet de conserver le comportement des CH tel qu'il est défini par Mobile IPv6.

Dès qu'il est enregistré, un MH devient accessible par une adresse virtuelle (VCOA). Cette adresse sera utilisée par les CH pour accéder au MH. Cette adresse virtuelle peut être construite en utilisant le préfix de l'adresse du MS et l'EUI64 d'une des interfaces du mobile. Le MS tient une table de correspondances PCOA / VCOA / HA. La PCOA est l'adresse physique obtenue par les mécanismes de configuration automatique d'interface. Le mobile possède donc trois adresses :

1. une home address unique ; adresse sur son réseau mère.
2. une physical care of address ; adresse sur le réseau auquel est physiquement connecté le mobile.
3. une virtual care of address ; adresse sur le réseau du MS.

Le MS fera office de proxy pour atteindre le MH, tout comme le fait le home agent (HA) avec la home address (H@) dans Mobile IPv6.

Lorsqu'un MH se déplace à l'intérieur du site, il obtient une nouvelle PCOA par les mécanismes de configuration automatique, mais conserve sa VCOA. Il signale au MS cette nouvelle position. Il n'est par contre pas besoin de communiquer ce changement aux CH [1], d'où un gain en signalisation sur l'Internet. Les correspondants qui se trouvent dans le même site que le MH possèdent une correspondance PCOA / H@. Il est donc nécessaire de leur préciser la nouvelle PCOA par l'envoi d'un Binding Update (BU). Le trafic inhérent reste confiné à l'intérieur du site. Quelques paquets de signalisation supplémentaires sont générés, mais le routage des paquets de données s'en trouve optimisé (pas d'indirection vers le MS).

Note : la VCOA, tout comme la H@, devra figurer sur les interfaces réseau du mobile, et ce pour pouvoir recevoir des paquets destinés à cette adresse.

2.4 Authentification

Notre mode de fonctionnement numéro 2, celui où le mobile est entièrement pris en charge par le MS, soulève un problème d'authentification, car il ne respecte pas le principe du bout en bout. Mobile IPv6 impose que le MH s'authentifie auprès de ses correspondants (CH) et de son home agent (HA) pour communiquer des informations administratives (binding update, binding acknowledge). Cette authentification est assurée par le protocole IPSEC. Si nous faisons envoyer ces informations par une autre entité que le MH, il faut que cette entité soit également authentifiée, en utilisant les mêmes mécanismes que le mobile. Tout l'aspect sécurité de notre approche sera assuré par le protocole IPSEC. L'authentification sera composée de deux étapes.

1. le mobile s'enregistre auprès du MS local. Cet enregistrement, nous le verons plus loin, est un BU. Il doit donc être authentifié. Le mécanisme

1. les CH utilisent la VCOA pour accéder au mobile, la VCOA n'a pas changée, donc aucune information ne doit être transmise au CH.

d'authentification dynamique va permettre d'ouvrir un tunnel IPSEC entre le mobile et le MS.

2. le MS va maintenant utilisé le même procédé pour s'authentifier auprès des correspondants.

Le mode d'authentification est ici très important. Nous pouvons envisager que chaque responsable de site maintienne une base de MS autorisés pour ses mobiles, lorsque ceux ci se déplacent dans l'Internet. Ainsi, lorsqu'un MS tente de s'authentifier auprès d'un HA, celui-ci se sert de cette base pour vérifier si ce MS est autorisé à prendre en charge des mobiles. Chaque site devra donc posséder et administrer une ou deux bases. La première authentifiera les MS qui sont autorisés à prendre en charge des mobiles du site. Elle sera donc consultée par les HA. La seconde base authentifiera les MH. Car un MS peut refuser de prendre en charge un mobile. Elle sera donc consultée par le MS. L'utilisation de ces bases est simple si les authentifications se font par certification. Dans le cas contraire, il conviendra de faire du "preshared key" avec les "thrusted MS". Il y a ici des accords à prendre à l'échelle humaine pour autoriser des mobiles à visiter son site. Des responsables de site peuvent s'entendre pour mettre en place des politiques communes, qui permettront à leurs utilisateurs mobiles de visiter leur site respectif.

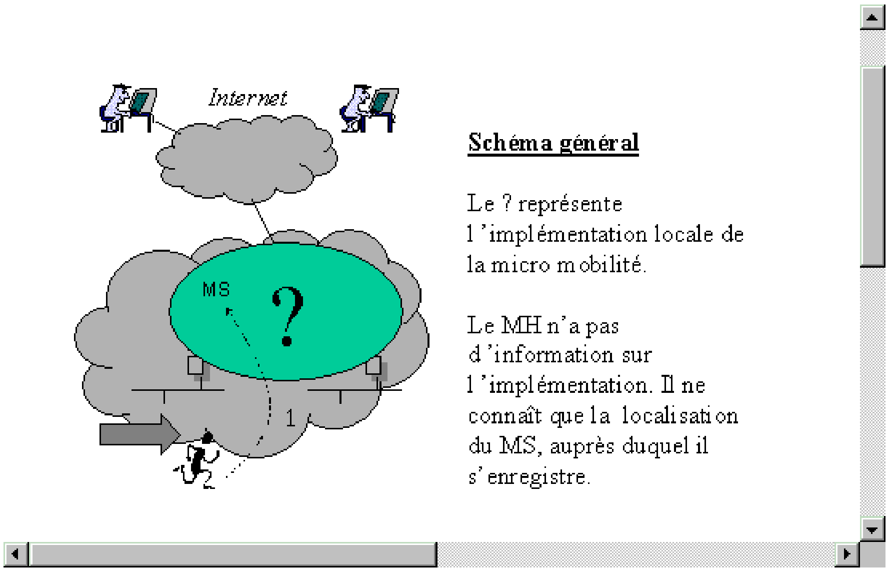

FIG. 2 – *Schéma général*

Pour plus de détails sur l'approche hiérarchique, se référer au document A hierachical Mobile IPv6 Proposal [2].

2.5 Exemple

- Un MH se déplace, il arrive sur un nouveau réseau. Il se construit ses nouvelles adresses PCOA/VCOA et identifie le MS. Il s'enregistre auprès du MS.
- Le MS authentifie le MH et commence son rôle de proxy. La VCOA servira aux CH à atteindre le MH dans le site.
- Le MS délivre au MH un acquittement. Le MH doit connaître cette adresse pour pouvoir accepter les paquets à cette destination.
  - le BU (contenant la VCOA) est envoyé au HA par le mobile lui même pour le mode 1.
  - le MS se charge d'envoyer le BU au HA pour le mode 2.

3 Protocole UHMMA

Ce protocole est connu et utilisé par les MH pour s'enregistrer auprès des MS. Un site déployant UHMMA doit mettre en place un mécanisme de communication de l'adresse du MS à tous les MH arrivants.

3.1 Mode 1

Dans ce mode le mobile gère lui même sa liste de CH et l'envoi des BU vers ces CH. Ce fonctionnement est proche de Mobile IPv6. Les différences sont :

- le mobile doit savoir différentier les mouvements inter site et intra site.
- le mobile doit être capable de déterminer si un CH est situé dans le même domaine que lui.
- dans le cas d'un déplacement intra site, seul les CH du domaine doivent recevoir un BU avec la PCOA.
- dans le cas d'un déplacement inter site, les CH du domaine doivent recevoir un BU avec la PCOA, les CH situés à l'extérieur du domaine et le HA doivent recevoir un BU avec la VCOA.

3.2 Mode 2

Dans ce mode de fonctionnement le mobile est entièrement pris en charge par les MS des domaines qu'il visite. Il ne se préocupe de rien et s'en remet entièrement au MS. Ce mode est donc particulièrement intéressant pour les "micro mobiles" qui possèdent des ressources limitées [2]. Les MS :

- gèrent la liste des CH, nous limitons donc la mémoire que le mobile utilise.
- envoient les BU, nous limitons donc l'emploi de la bande passante pour les paquets de signalisation.

2. Les téléphones par exemple possèdent des réserves énergétique faibles et leur interface réseau n'est dotée que d'une faible bande passante.

3.3 Déplacements

Dès qu'un MH se déplace, il envoie un paquet pour s'enregistrer auprès du MS local. Ce paquet d'enregistrement sera toujours composé des mêmes informations, quelque soit le type de mobilité. Le MS devra donc analyser la nature des informations de ce paquet pour déterminer le bon traitement. Une partie de ce traitement sera d'acquitter le MH quand il sera enregistré correctement. Ceci est fait par envoi d'un paquet contenant une destination option binding acknowlegde (BACK). Selon le type de mouvement que vient de réaliser le MH, le HA sera informé ou non. Le MH ou le MS informe le HA par envoi d'un paquet contenant une Destination Option BU avec la VCOA. Ainsi, le HA enregistrera dans son cache de binding la VCOA présente dans le paquet, et non l'adresse source du BU, qui peut être celle du MS ou la PCOA du mobile. S'il est informé, le HA doit acquitter. Il acquitte par envoi d'un paquet contenant une Destination Option BACK. Dans ce cas le MH sera donc en attente de deux acquittements, le premier du HA (Mobile IPv6) et le second du MS (UHMMA). Si le HA n'est pas averti du mouvement, le MH n'attendra qu'un seul BACK, celui du MS.

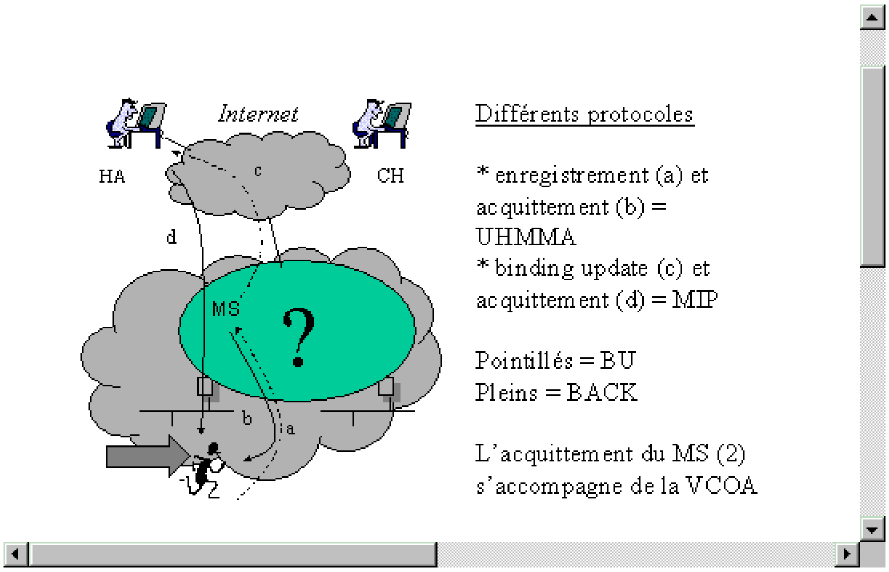

FIG. 3 – *Enregistrement en mode 2*

Le paquet d'enregistrement ressemble à un BU au sens Mobile IPv6. Il contient un numéro de séquence util pour vérifier le BACK qui va revenir du

MS, une durée de vie, utilisée pour déterminer combien de temps le mobile doit être pris en charge par le MS.

Ce paquet devra être authentifié par IPSEC. Le BACK devra également l'être.

Il y a quelques actions à effectuer par le MH dans certains cas, nous allons les détailler ci-dessous.

3.3.1 Format du paquet d'enregistrement

Un paquet d'enregistrement sera toujours composé des mêmes informations. Ces informations sont la PCOA, la H@, le HA et le MS. MS est l'adresse du MS qui gérait le MH dans sa précédente position (s'il y en avait un). Cette information sera utile pour permettre aux deux MS d'entrer en contact pour mettre en place un mécanisme de poursuite des paquets encore destinés à l'ancienne VCOA ET dans notre mode 2 de fonctionnement la liste des CH est gérée par un MS. Le MH n'en a pas connaissance. Le nouveau MS va donc apprendre de l'ancien la liste des correspondants de ce mobile. Ceci est obligatoire, car le mécanisme de sécurisation par les numéros de séquence, impose que le nouveau MS ait connaissance de ces numéros ; impossible d'envoyer des BU avec des numéros éronnés. Le paquet d'enregistrement sera formé de :

- une destination option binding update (BU) plus une sub-obption mobility support (MS) et une sub-option home agent (HA)
- une Destination Option home address (H@)

Nous allons utiliser le champ numéro de séquence de ce BU pour ordonnancer les demandes d'enregistrement du MH au MS. Lors de son premier enregistrement après son premier mouvement hors de son réseau mère, le MH initialise ce numéro de séquence à un nombre aléatoire pour faire sa demande d'enregistrement. Puis à chaque nouvelle demande d'enregistrement consécutive à un déplacement, le numéro est incrémenté. Le MH doit mémoriser le numéro de séquence courant pour faire ses demandes. A la manière de Mobile IPv6, un MS se souvient du dernier numéro de séquence envoyé par le MH. Si une demande d'enregistrement arrive avec un numéro plus petit que le dernier numéro valide reçu, le paquet est rejeté.

Il est inutile d'insérer la PCOA dans les options car elle sera utilisée dans le champ source de l'entête IPv6.

Nous nous servons de la possibilité d'ajouter des sub-options dans les Destination Option tel que nous le permet le draft Mobile IPv6 [1]. Nous définissons les sub-options comme ceci.

Sub-option MS :

```
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|     type      |   longueur    |      pad      |      pad      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
|                          MS address                           |
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

type = type de la sub-option, nous lui affectons 102.
longueur = longueur de la sub-option, ici 18.
MS address = adresse du MS précédent. Lorsque le MH quitte son réseau mère, il n'avait pas de MS. Le champ MS address peut être l'adresse indéterminée (au sens IPv6). Dans les autres cas le champ contient une adresse valide, celle du MS précédent.

Sub-option HA :

```
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|     type      |   longueur    |      pad      |      pad      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
|                          HA address                           |
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

type = type de la sub-option, nous lui affectons 103.
longueur = longueur de la sub-option, ici 18.
HA address = adresse du HA. Cette adresse sera utilisée par le MS pour envoyer des BU en nom du MH.

3.3.2 Confidentialité de position

Un MH (son utilisateur) peut ne pas désirer communiquer sa position physique. Aucun BU, autre que ceux vers le HA, ne doit alors être envoyé. Cela signifie que les CH utiliseront toujours la H@ pour atteindre le MH. Il seront redirigés par le HA vers la VCOA. Dans notre mode 2 de fonctionnnement, c'est le MS qui gère la liste des CH. Le MH doit lui communiquer son intention de ne pas envoyer de BU vers ses CH. Pour cela, nous utilisons un flag, dans notre paquet d'enregistrement. Ce flag sera nommé E. Il sera dans le champ flags de la Destination Option BU.

3.3.3 Déplacement depuis le réseau mère vers un autre réseau

Le mobile était sur son réseau mère, il n'avait donc pas de MS pour prendre en charge sa mobilité. Lorsqu'il arrive su un réseau après son premier déplacement, il doit s'enregistrer. Pour cela il envoie au MS local un paquet d'enregistrement. Le champ MS de ce paquet d'enregistrement contient l'adresse indéterminée pour symboliser que le mobile arrive de son réseau mère. Le MH quitte son réseau mère, cela ne signifie pas qu'il quitte son site. Un départ du réseau mère vers un réseau externe ou un réseau interne au site, impose les mêmes traitements. Le champ numéro de séquence du paquet d'enregistrement est positionné à z. Le compteur numéro de séquence du MH est initialisé à z [3]. Le MS va authentifier ce MH et envoyer un paquet d'acquittement composé d'une Destination Option BACK. Le MH ou MS, selon le mode, va envoyer un BU au HA pour enregistrer le mobile. Ce BU est un paquet contenant Destination Option BU + VCOA et Destination Option H@. Le HA va acquitter l'enregistrement par un BACK, tel que le définit Mobile IPv6. Ce BACK sera retourné vers l'adresse présente dans le champ COA de la Destination Option BU reçu ; c'est à dire vers la VCOA. Le MH doit attendre deux BACK, un du MS et un du HA. Le BACK du HA sera adressé à la VCOA, le MH doit donc ajouter cette adresse sur ses interfaces avant l'enregistrement auprès du MS. Le MH doit avoir reçu les deux BACK pour poursuivre son fonctionnement. S'il ne les reçoit pas avant un temps fini, il recommence une phase d'enregistrement. C'est donc le mobile qui assure les retransmission et non le MS.

3.3.4 Déplacement d'un réseau visité à un autre (sans changement de site)

Le champ MS devrait être occupé par l'adresse du précédent MS, dans ce cas il s'agit du MS courant car il n'y a pas eu changement de site. Cette information n'est ici pas utile, mais présente pour que le paquet d'enregistrement soit toujours le même. Le compteur numéro de séquence du MH est incrémenté de x (x strictement positif). Le champ numéro de séquence du paquet d'enregistrement est initialisé avec la valeur du compteur. Il n'y a pas de changement de site, le HA ne sera pas averti du mouvement. Le MH

3. z nombre aléatoire

est seulement en attente du BACK du MS. Un déplacement intra site ne change pas la VCOA. Si le MH ne reçoit pas le BACK avant un temps fini, il recommence une phase d'enregistrement.

3.3.5 Déplacement d'un réseau visité à un autre (avec changement de site)

Le champ MS du paquet d'enregistrement contient le MS du site précédent. Cette adresse pourra être utilisée par le nouveau MS pour assurer la continuité de la liste des CH. Le compteur numéro de séquence du MH est incrémenté de x (x strictement positif). Le champ numéro de séquence du paquet d'enregistrement est initialise avec la valeur du compteur. Il y a eu changement de site, le HA sera informé par le MS ou le MH (selon le mode de fonctionnement) par envoi d'un BU avec la nouvelle VCOA. Le HA devra donc acquitter. Le MH sera en attente des deux acquittements, celui du HA et celui du MS. Il faut procéder au changement de VCOA sur les interfaces réseau. Il peut être intéressant de concerver l'ancienne VCOA quelques instants afin de pouvoir recevoir les paquets que l'ancien MS va faire suivre (cf. 3.8.2). Si le MH ne reçoit pas les BACK avant un temps fini, il recommence une phase d'enregistrement.

3.3.6 Retour dans le réseau mère

Le MH revient sur son réseau mère après x déplacement(s). Ce retour peut être fait par un déplacement inter site ou intra site. Ces deux cas imposent le même traitement. Le mobile ne sera plus géré par un MS, pourtant il va tout de même envoyer un paquet d'enregistrement, mais pas au nouveau MS, au dernier MS qui l'avait pris en charge. Le champ numéro de séquence du paquet d'enregistrement est initialisé avec la valeur du compteur numéro de séquence du MH + x (x strictement positif). Le compteur est ramené à 0. Le HA sera informé du retour, il acquittera. Le MH est en attente des deux acquittements, du MS et du HA. Si le MH ne reçoit pas les BACK avant un temps fini, il recommence une phase d'enregistrement. L'adresse du MS à sauvegarder pour le prochain déplacement est l'adresse indéterminée. La VCOA peut être retirée des interfaces réseau, mais il est bon de la conserver quelques temps afin de recevoir les paquets que l'ancien MS va faire suivre (cf. 3.8.2).

3.4 Maintien de position

Un MH peut ne pas effectuer un départ propre, par exemple s'il tombe en panne de batterie ou si l'utilisateur l'éteint improprement. Le MS du site croit qu'il est toujours opérationnel, et assure son rôle ; à savoir redirection des paquets VCOA vers PCOA et envoi de BU vers les correspondants pour le mode 2. Pour palier à ce problème le MH doit confirmer sa position régulièrement auprès du MS en lui envoyant un paquet contenant une destination option BU et une destination options H@. Nous ajoutons un flag dans la Destination Option BU pour bien différentier ces maintiens de position des BU de Mobile IPv6. Nous proposons flag P. A chaque paquet envoyé, le compteur numéro de séquence du MH est incrémenté de x (x strictement positif). Le champ numéro de séquence du paquet de maintien de position est initialisé avec la valeur de ce compteur. La périodicité d'envoi des maintiens de position doit être légèrement inférieure à la durée indiquée dans le champ lifetime du paquet d'enregistrement (puis des maintiens de position). Ce champ est utilisé par le MS pour déterminer la durée de prise en charge du mobile.

3.5 Numéro de séquence

Le MH maintient à jour un compteur numéro de séquence. Tant que le MH est sur son réseau mère, ce compteur est nul. Au premier mouvement sortant le MH de son réseau mère, le MH initialise le compteur à une valeur aléatoire. Ensuite à chaque mouvement / demande d'enregistrement la valeur de ce compteur est incrémentée, de même pour les confirmations de position. Ce compteur est utilisé pour initialiser le champ numéro de séquence des BU UHMMA envoyés vers les MS. Le MS conserve le numéro le plus grand qu'il a reçu dans un paquet de maintien ou d'enregistrement. Tout paquet arrivant avec un numéro de séquence plus petit ou égal sera rejeté. Les BACK que le MH attend du MS doivent avoir un numéro de séquence égal à celui du paquet d'enregistrement, sans quoi le BACK n'est pas accepté et le MH est toujours en attente de BACK.

Dans notre mode 2 de fonctionnement nous avons un problème avec la vérification des numéros de séquence avec le HA (car la liste des CH est gérée par le MS). Nous avons donc mis sur pied un petit algorithme pour synchroniser les numéros de séquence. Soit un MS, qui gère un mobile M. Le numéro de séquence actuel pour le HA de ce mobile est a. Le MS reçoit un paquet d'enregistrement de M, avec t comme numéro de séquence.

– si $t > a$ alors le MS actualise le numéro associé au HA avec t, ainsi le BU que va envoyé le MS au HA contiendra t. Le BACK du HA contiendra également t. M pourra vérifier ce numéro.

- si t < a alors le BACK renvoyé vers M contient a, a sera accepté par M car il est plus grand. De cette différence, M déduira qu'il doit attendre a en numéro de séquence du BACK du HA et non t. Il met ainsi à jour son compteur. Son prochain paquet d'enregistrement/maintien de position contiendra donc a+x (x strictement positif).è

Lors d'un changement de site, le compteur n'est pas ramené à 0. Il continue sa progression. Nous avons déjà rapidement vu que les MS vont communiquer entre eux après un mouvement inter site. C'est pour cela que nous imposons au MH d'inclure l'adresse de son ancien MS dans son paquet d'enregistrement. Le numéro de séquence pourra également être utilisé par les MS dans leur dialogue pour vérification de la validité du paquet d'enregistrement. Mais ceci sera vu en détail ultérieurement, nous ne le développerons donc pas ici.

3.6 BACK

Dans MOBILE IPv6, un BACK contient un champ status. Ce champ reflète le résultat de l'opération qui a provoqué l'envoi du BACK. Par exemple, une home registration (HR) peut ne pas être acceptée car le destinataire n'est pas HA. Il retournera alors un BACK avec un status "Home Registration not supported". Dans notre approche nous allons utiliser le même mécanisme. Une demande d'enregistrement d'un MH peut amener un MS à produire un BACK avec différents types de status :

- accepté, le MH est enregistré
- refusé, le destinataire n'est pas un MS
- refusé, le destinataire n'a plus suffisamment de ressource
- refusé, numéro de séquence du paquet d'enregistrement trop petit
- refusé, raison indéterminée

Selon le type du status, le MH doit se comporter en conséquence. Si le status est accepté, le MH poursuit son fonctionnement. Si le status est refusé, le MH ne peut plus fonctionner en mode UHMMA car sa mobilité n'est plus assurée par personne. Nous pouvons alors envisager deux solutions.

1. le MH patiente un instant et refait une demande d'enregistrement, peut être que le problème est résolu, sa demande pourra être acceptée.

2. le MH peut, après plusieurs tentatives infructueuses, décider de changer de mode pour fonctionner en Mobile IPv6. Il est alors possible s'il utilisait le mode 2 que son enregistrement auprès du HA soit refusé à cause du numéro de séquence. Nous pouvons employer le nombre maximum pour palier à ce problème. Le MH pourra entrer en contact avec des CH et leur communiquer des BU, même si sa HR est refusée par son HA.

Nous développerons en détail un mécanisme pour changer de mode dynamiquement plus loin dans ce document (cf. **??**)

3.7 Emission de paquets

Pour dialoguer avec les CH qui tournent Mobile IPv6 nous devons inclure dans les paquets sortants une Destination Option H@. Nous imposons donc que tous paquets sortants du MH soient du format :

```
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|    VCOA       | dest.         | destopt H@    |     data        |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Ce format de paquets doit être respecté pour des paquets IP véhiculant des données de protocole de niveau supérieur (**??**MIPv6) section 10.1).

3.8 Interaction des MS

Soient

- un mobile MH.
- deux sites site1 et site2, avec leur MS respectif, MS1 et MS2.

Lorsque MH est dans un site1, il est pris en charge par MS1. Si le MH se déplace dans le site2, il est pris en charge par MS2.

3.8.1 Problème

Nous avons ici un problème car la liste des correspondants de MH se trouve dans MS1. Or MS2 a besoin de cette liste pour envoyer des BU aux correspondants avec des numéros de sèquence valides. Ce problème est relatif uniquement au mode 2 de fonctionnement, celui où le mobile ne gère pas sa liste de CH.

Dans le mode 1 de fonctionnement le mobile gère lui même sa liste de CH. Ce problème ne le touche donc pas, mais nous verons dans le paragraphe 3.8.6 qu'il y a quand même des choses à faire.
MS2 ne connaît que ce que lui communique le MH dans son paquet d'enregistrement, à savoir le HA, H@ et MS précédent. La liste des CH est gérée par MS1. Nous avons fait le choix de transférer la liste des CH d'un MS à l'autre. Pour cela nous mettons en place un nouveau protocole qui va véhiculer la liste des CH. Nous appelons cette passation de pouvoir le "smooth handoff". Ce smooth handoff n'est pas une composante du protocole de micro mobilité. Il faut en effet que quelque soit le protocole de micro mobilité mis à œuvre dans un site, le MS soit capable d'entrer en contact avec le MS du site précédent, c'est pourquoi nous standardisons ce protocole.

3.8.2 Smooth handoff

Un MS initiateur d'un smooth handoff sera appelé le maître. La cible sera l'esclave.

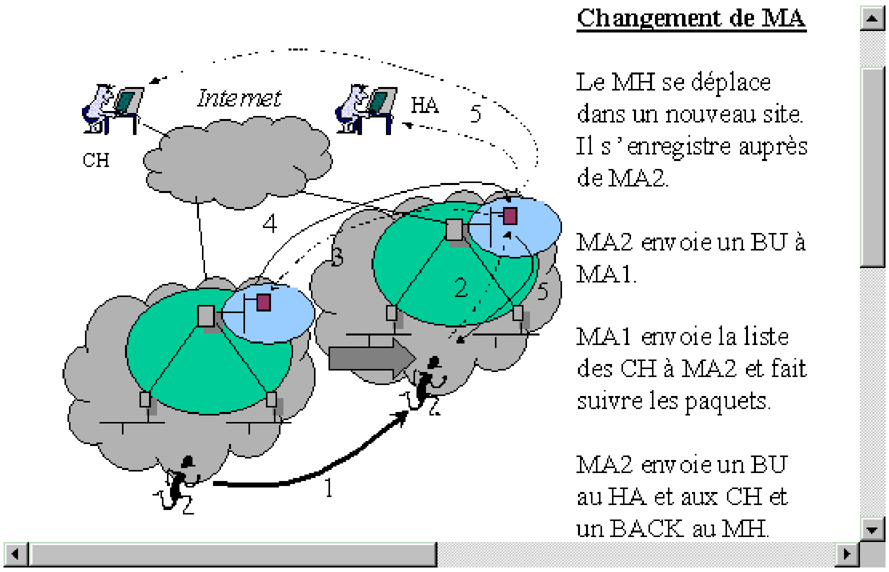

FIG. 4 – *Changement de MS en mode 2*

1. Le maître initie une passation par envoi d'un BU + VCOA et H@ vers l'esclave. Afin de ne pas confondre ce BU particulier avec un BU d'un

MH, nous pouvons positionner un bit dans la zone des flags du BU. Nous proposons le bit S.

2. A la réception du paquet l'esclave comprend qu'il doit transférer la liste et faire suivre les paquets vers la nouvelle VCOA. Faire suivre les paquets est important car il peut se passer un laps de temps entre le départ du MH du site, et l'envoi d'un BU vers les CH. Certains CH auront pu envoyer des paquets à destination de l'ancienne position pendant ce temps. Ces paquets seront redirigés vers la nouvelle VCOA du MH. Ce mécanisme de filature est temporaire. Il devra cesser au bout d'un temps fini. L'esclave retirera alors l'entrée MH de sa liste de MH gérés.

3. En possession de la liste des CH, MS2 envoie les BU nécessaires et acquitte le MH par un BACK.

Le maître doit posséder cette liste. S'il n'obtient pas de réponse avant un temps fini, il devra recommencer une procédure de smooth handoff. Nous pouvons faire l'hypothèse qu'il y a une forte probabilité que le MH est changé de site pour aller vers un site voisin. Les MS ne seront pas très éloignés, le temps d'attente entre deux tentatives de smooth handoff devra être très court. Pour transférer la liste de l'esclave vers le maître nous utilisons un paquet composé d'une Destination Option BACK, avec en sub-option la liste des CH. Nous ajouterons également dans le paquet la H@ du MH. Ceci pour permettre à l'initiateur d'associer la réponse à une procédure de smooth handoff en cours. Celui-ci peut en effet avoir lancé plusieurs procédures pour différents MH qu'il aurait dans sa liste. Nous créons une nouvelle sub-option, CH list. Sub-option CH list :

```
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|    type       | longueur      |      pad      |      pad      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
|                         H@                                    |
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
                         CH1
|                                                               |
|                                                               |
```

```
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
                           CH2
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

type = type de la sub-option, nous lui affectons 104.
longueur = longueur de la sub-option, ici la longueur dépend du nombre de CH à insérer dans le paquet et des informations utiles pour définir un CH. Ces informations sont :

- l'adresse IPv6 du CH, 16 octets
- les flags du CH, 1 octet
- la longueur du préfix, 1 octet
- le "lifetime", 4 octets
- le compteur de retransmissions, 4 octets
- le type du correspondant, 4 octets
- le numéro de séquence, 2 octets
- soit un total de 32 octets par CH.

H@ = home address du MH pour lequel le smooth handoff a été lancé. CH1 = informations décrivant le CH numéro 1 du MH. Les CH se suivent dans la sub-option.

3.8.3 Motivation

Notre choix de créer un nouveau protocole a été motivé par les problèmes que soulèvent les numéros de séquence des BU / BACK. Dans Mobile IPv6 ces numéros permettent de contrôler les BU. A chaque BU le numéro est incrémenté. Dans notre approche, les CH, et donc les numéros de séquence associés, sont gérés par le MS et non par le MH. Le nouveau MS doit demander à l'ancien de lui transmettre sa liste de CH. Lorsque le nouveau MS aura cette liste, il sera en mesure d'envoyer les BU nécessaires avec des numéros de séquence valides. Un BU d'enregistrement au HA avec flag AH et des BU vers les CH. Le MS doit faire la différence avec les CH internes et externes de son site. Il doit envoyer respectivement un BU + PCOA et H@ ou BU + VCOA et H@.

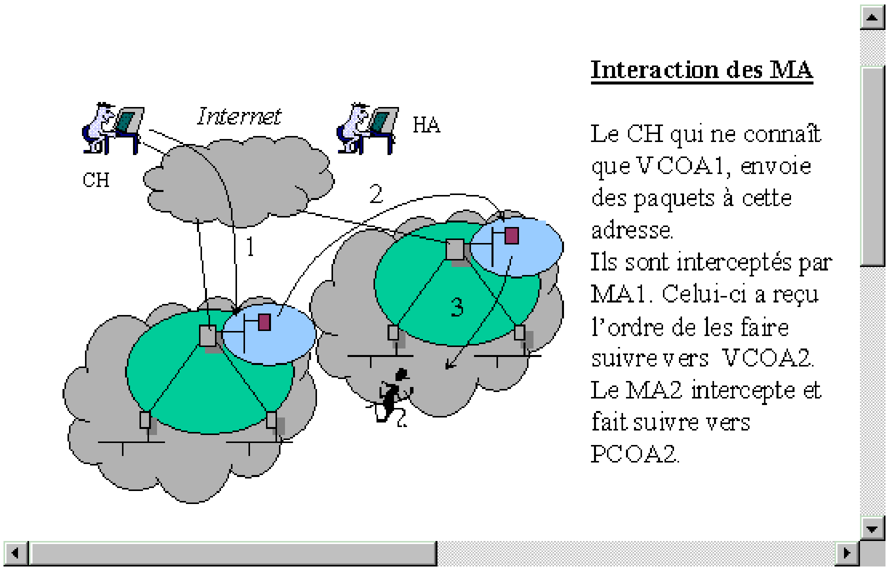

FIG. 5 – *Mécanisme de pousuite*

3.8.4 Numéro de séquence

Un MH initialise son compteur numéro de séquence à une valeur aléatoire x, lorsqu'il quitte son HN. Ensuite cette valeur augmente au rythme des enregistrements / maintien de position. Lorsqu'il change de réseau sur un autre site, le numéro de séquence vaut x+y. Le MH va donc faire sa demande d'enregistrement au nouveau MS avec un numéro de séquence x+y (y strictement positif). Le MS reçoit cette demande. Il se sert de la somme x+y pour initialiser le numéro de séquence du paquet initiateur de smooth handoff qu'il envoie au MS précédent. Ainsi l'ancien MS peut vérifier que cette somme est plus grande que la dernière valeur du compteur numéro de séquence du MH en question.

Un numéro de séquence dans un paquet de smooth handoff plus petit que le compteur du MH est une cause de rejet du paquet initiateur.

Le BACK envoyé entre MS devra contenir un numéro de séquence égal à celui mis dans le BU initiateur.

3.8.5 BACK en réponse au MS initiateur

Un smooth handoff doit être acquitté par un BACK, s'il est accepté ou refusé. Nous utilisons le champ status pour refléter la réussite de la demande.

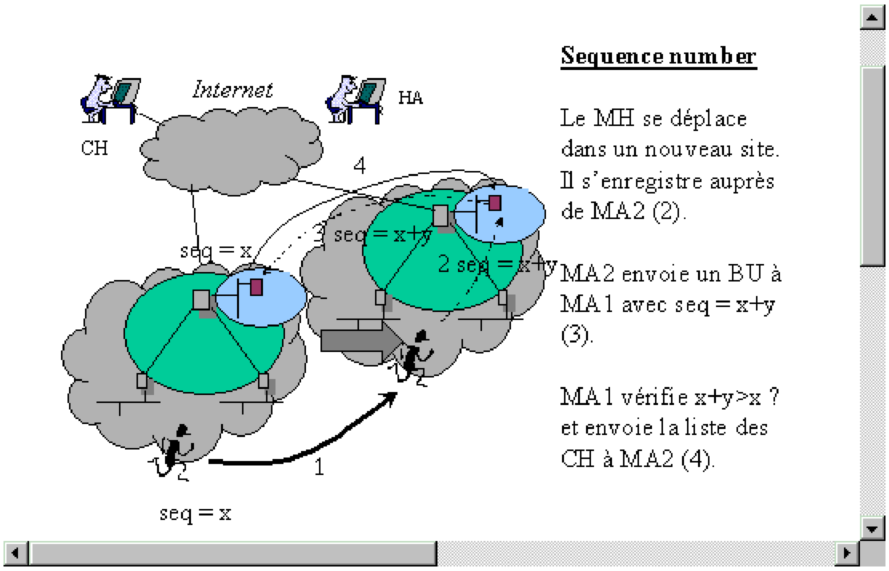

FIG. 6 – *Numéro de séquence dans un smooth handoff*

Si la demande est jugée valide, le BACK peut être constitué de la liste des CH en sub-option (si le mode de fonctionnement est 2), le champ status est "accepté". Si la demande est rejeté, le champ status est initialisé par une erreur :

- refusé, la machine n'est pas MS
- refusé, le mobile n'est pas enregistré
- refusé, numéro de séquence du paquet de smooth handoff trop petit
- refusé, raison indéterminée

En cas d'erreur dans le champ status du BACK, le MS doit acquitter le MH pour son enregistrement avec le même status. Il est en effet impossible d'assurer correctement le support de la mobilité du MH si le MS précédent ne transmet pas la liste. Nous savons qu'en cas d'échecs répétés que le MH peut décider de basculer en mode Mobile IPv6. Le fait de faire suivre l'erreur va inciter le MH à recommencer une procédure d'enregistrement. L'erreur ne se reproduira peut être pas. Il s'agissait peut être d'une erreur de transmission dans le numéro de séquence ou l'adresse du MS. Une nouvelle tentative peut aboutir. La décision est prise par le MH, le MS ne fait que retranscrire l'erreur et ne tente pas un nouveau smooth handoff.

3.8.6 Mode 1 de fonctionnement

Nous venons donc de voir que le smooth handoff est un problème spécifique au mode 2. Dans le mode 1 de fonctionnement le mobile gère lui même sa liste de CH. Il est cependant nécessaire pour les MS d'effectuer un "smooth handoff light". L'ancien MS recevant le paquet d'initiation se contentera de faire suivre les paquets vers la nouvelle VCOA et d'acquitter. Dans le cas où le nouveau MS ne reçoit pas le BACK, il ne réitère pas sa demande. Les conséquences seront la perte de quelques paquets encore destinés à l'ancienne VCOA, avant que le CH émetteur de ces paquets ne reçoive un BU avec la novuelle VCOA.

3.9 Récapitulatif

L'utilisation de ce protocole impose :

- qu'il y ait un MS par site, que son adresse soit connue des MH arrivants, que cette adresse soit utilisée pour construction de la VCOA
- que le MH s'enregistre auprès du MS, qu'il confirme périodiquement sa présence
- que le MS acquitte un enregistrement par un BACK
- que le MH soit accessible par sa VCOA
- que le MS soit capable de prendre en charge la mobilité des MH

Le MH doit être capable de :

- tourner Mobile IPv6 ou UHMMA dans ses deux modes

Dans le cas UHMMA :

- découvrir et stocker l'adresse du MS
- envoyer une demande d'enregistrement au MS local après un mouvement, puis un BU périodiquement
- différencier les mouvements inter site et intra site

Soient :

- MH : un mobile

- HA : le HA de MH
- S1 : un site 1
- S2 : un site 2
- HN : le réseau mère
- MS1 : le MS du site 1
- MS2 : le MS du site 2
- MSHN : le MS du site du réseau mère

3.9.1 Exemple 1 ; MH quitte son réseau mère pour S1

1. Détection de mouvement, PCOA = PCOA1.
2. MH envoie BU (H@ / HA / PCOA1 / indéterminée). Il réitère tant qu'il n'a pas reçu un BACK du HA et un BACK du MS.
   - Si un status d'un BACK est refusé, MH recommence l'étape 2.
   - Si un status d'un BACK est refusé plusieurs fois, MH peut passer en mode Mobile IPv6.
   - Si les statuts sont "accepté", MH adopte VCOA1. MH sauvegarde l'adresse de MS1.

3.9.2 Exemple 2 ; MH était sur S1 et passe sur S2

1. Détection de mouvement, PCOA = PCOA2.
2. MH envoie BU (H@ / HA / PCOA2 / MS1). Il réitère tant qu'il n'a pas reçu un BACK du HA et un BACK du MS.
   - Si un status d'un BACK est refusé, MH recommence l'étape 2.
   - Si un status d'un BACK est refusé plusieurs fois, MH peut passer en mode Mobile IPv6.
   - Si les statuts sont "accepté", MH adopte VCOA2 et sauvegarde l'adresse de MS2.
3. le nouveau MS va initier une procédure de smooth handoff avec le MS précédent. Si le mode de fonctionnement est 2, le MS va envoyer les bu vers les CH du MH. Il aura reçu cette liste du MS précédent. Ainsi le HA va envoyer un BACK vers la nouvelle VCOA.

3.9.3 Exemple 3 ; MH était sur S2, il revient sur HN

1. Détection de mouvement, PCOA = H@.

2. MH envoie BU (H@ / HA / H@ / MS2) au précédent MS. Il réitère tant qu'il n'a pas reçu un BACK du HA et un BACK du MS. Ceci n'est valable que pour le mode de fonctionnement 2, car c'est le MS précédent qui va avertir le HA (et les CH) que le MH est revenu sur son réseau mère. Dans le cas du mode 1, le mobile avertit lui même le HA, le MS précédent ne fera que faire suivre les paquets.

   – Si un status d'un BACK est refusé, MH recommence l'étape 2.
   – Si un status d'un BACK est refusé plusieurs fois, MH peut passer en mode Mobile IPv6.
   – Si les statuts sont "accepté", MH sauvegarde l'adresse indéterminée pour son ancien MS.

3.9.4 Exemple 4 ; MH est sur S2, il se déplace dans S2

1. Détection de mouvement, PCOA = PCOA22.

2. MH envoie BU (H@ / HA / PCOA22 / MS2). Il réitère tant qu'il n'a pas reçu un BACK du MS.

   – Si le status du BACK est refusé, MH recommence l'étape 2.
   – Si le status du BACK est refusé plusieurs fois, MH peut passer en mode Mobile IPv6.

3.9.5 Standardisation

Notre protocole UHMMA impose de nouveaux standards. Nous les reprenons ici.

Sub-option MOBILE IPv6 prévoit l'ajout de sub-option dans les paquets d'administration (BU, BACK, BR). Il existe déjà deux types de sub-option, nous en définissons des nouvelles.

Sub-option MS :

```
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|     type      |   longueur    |      pad      |      pad      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
|                          MS address                           |
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

type = type de la sub-option, nous lui affectons 102.
longueur = longueur de la sub-option, ici 18.
MS address = adresse du MS précédent. Lorsque le MH quitte son réseau mère, il n'avait pas de MS. Le champ MS address peut être l'adresse indéterminée (au sens IPv6). Dans les autres cas le champ contient une adresse valide, celle du MS précédent.

Sub-option HA :

```
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|     type      |   longueur    |      pad      |      pad      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
|                          HA address                           |
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

type = type de la sub-option, nous lui affectons 103.
longueur = longueur de la sub-option, ici 18.
HA address = adresse du HA. Cette adresse sera utilisée par le MS pour envoyer des BU en nom du MH.

flag dans un BU MOBILE IPv6 définit trois bits dans le champ flag d'un BU. Notre protocole UHMMA nécessite l'emploi de nouveaux bits :

Flag E : un mobile s'enregistrant auprès d'un MS peut lui signifier par la présence de bit dans le champ flag de son paquet d'enregistrement, qu'il ne désire pas communiquer sa position actuelle à des correspondants. Le champ flag d'un BU devient :

AHCE

3.10 "Scalability"

Le MS, que nous définissons comme une entité, peut être une machine, mais la charge de travail que peut avoir un MS s'il gère beaucoup de mobiles en mode 2 devient rapidement importante. C'est pourquoi il faut prévoir une solution pour mettre en place un groupe de machines.

L'idéal serait de faire du partage dynamique du travail. Pour cela nous allons nous inspirer de la découverte automatique des HA dans Mobile IPv6 [1].

Il y aura donc plusieurs MS. L'ensemble des MS sera accessible par une adresse anycast.

Chaque MS tient à jour un compteur symbolisant "sa charge de travail" (ie le nombre de mobiles qu'il gère, sachant que le travail pour un mobile utilisant le mode 2 est plus important).

Les MS s'échangent régulièrement ces "charges" et chacun se construit une liste de MS, triée dans l'ordre du moins chargé au plus chargé. L'adresse communiqué aux mobiles arrivant dans le site sera l'adresse anycast.

Un mobile va faire un enregistrement vers cette adresse. Un MS va recevoir la demande, et retourner un BACK "refusé" avec la liste des MS en suboption. Ainsi le mobile pourra faire sa demande d'enregistrement au MS le moins chargé.

3.11 Changement dynamique de mode

Comme nous l'avons déjà rapidement abordé, nous savons que tous les domaines qu'un utilisateur de mobile voudra visiter ne déploieront peut être pas UHMMA. Cependant il est primordiale de conserver une connectivité à l'Internet à l'intérieur de n'importe quel domaine.
De là est née l'idée du changement de mode dynamique. L'utilisateur communiquera à son mobile le mode selon lequel il souhaite faire tourner son mobile. Le mobile va donc essayer d'utiliser ce mode pour gérer sa mobilité. Si le mode désiré n'est pas disponible sur un domaine, le mobile va donc essayer de changer de mode, tout en gardant en mémoire le mode initial de l'utilisateur. Il sera ainsi possible de chercher à revenir dans ce mode dès que possible.
Nous classons les modes de mobilité dans un ordre croissant de prise en charge ; UHMMA mode 2 est le mode qui prend le plus en charge le mobile, Mobile IPv6 est le mode qui le prend le moins, tandis que UHMMA mode est le mode intermédiaire. Lorsque le mobile devra changer de mode car le choix de l'utilisateur n'est pas disponible, il le fera dans l'ordre décroissant

des modes.

Exemple : un utilisateur désire utiliser le mode 2 aussi souvent que possible. Le domaine où se trouve cet utilisateur ne déploie pas UHMMA mode 2, mais seulement le mode 1. Le mobile va donc changer pour le mode 1, tout en concervant le choix initial en mèmoire. Si au cours de ses déplacements cet utilisateur se rend sur un domaine où ni le mode 2 ni le mode 1 ne sont disponible, son mobile va changer son mode en Mobile IPv6. Dès que cela sera possible, le mobile cherchera à tendre vers le mode qui est le plus proche du choix initial de l'utilisateur. Si l'utilisateur se déplace dans un site où le mode est disponible, il changera immédiatement car le mode 1 est plus proche du mode 2 que Mobile IPv6, dans l'ordre que nous avons défini ci-dessus.

3.11.1 Détection des modes

Lorsqu'un mobile est dans un site, il determine le mode disponible dans le ce domaine en analysant les rt. adv.

3.11.2 UHMMA mode 1 et Mobile IPv6

Les changements de mode entre Mobile IPv6 et UHMMA mode 1 sont très simple. Il suffit de positionner une variable qui fait état du mode courant. Cette variable sera consultée à chaque mouvement pour déterminer les actions à accomplir, à savoir envoi de BU et/ou d'enregistrement UHMMA, etc.

3.11.3 UHMMA mode 2

Le mode 2 de UHMMA est plus problématique, car la liste des correspondants est gérée par un tier.

UHMMA2 – > MIP/UHMMA1 Voilà le cas où un mobile était géré par un MS et après son déplacement aucun MS n'est disponible en mode 2 pour continuer sa prise en charge. Habituellement c'est au MS local de récupérer la liste des correspondants pour envoi de BU, par la procédure de smooth handoff. Nous allons donc faire en sorte que le mobile lui même initie le smooth handoff. Il va donc lui même envoyer le BU initiateur. Le mobile sera authentifié et les numéros de séquence seront confrontés pour prouver l'identité du mobile. Ensuite le MS précédent va retourner la liste des correspondants de la même manière qu'il le fait pour un autre MS. Ainsi le mobile récupère sa liste et pourra donc changer son mode en Mobile IPv6.

MIP/UHMMA1 $->$ UHMMA2 Le mobile est en possession de sa liste de correspondants et désire que celle-ci soit prise en charge par le MS local. Nous allons donc mettre en place en protocole pour transférer la liste depuis le mobile vers le MS local. Le plus simple est d'insérer cette liste dans le paquet d'enregistrement en tant que sub-option, de la même manière que dans un BACK pour un smooth handoff classique. Le MS receptionnera le paquet d'enregistrement et détectera la sub-option. Il en déduiera qu'il ne doit pas initier de procédure de smooth handoff et enregistrera le mobile avec sa liste.

4 Protocole Micro Mobile IPv6

Micro Mobile IPv6 s'appuie sur la solution "Hierarchical Mobile IPv6" [2]. Il met en œuvre le concept de "virtual network", géré par un mobility agent (MA). Le MA assurera les fonctions du MS définies par le protocole UHMMA.

4.1 La station de base

Une station de base (ou BaseStation, BS) est le routeur qui route les paquets des réseaux visités ; le réseau sur lequel se connectent physiquement les mobiles et où donc ils obtiennent une 'care of address'. Chaque BS doit ajouter aux préfixes qu'il envoie sur ses brins de réseau, l'adresse du MA, le mode de fonctionnement du MA (1 ou 2) et la longueur du préfixe du Virtual Network. Il connaît ces informations car le MA les communique régulièrement en utilisant une option IPv6 (cf. ci-dessous 4.2).

Le BS doit donc être capable de :

- recevoir et décoder un paquet contenant les informations sur le MA
- ajouter ces informations aux annonces de préfixes qu'il envoie sur le réseau

4.2 Le MA

4.2.1 Généralités

Le principal rôle d'un MA est d'assurer la gestion de la mobilité des MH en visite dans son site. Pour chaque MH enregistré, le MA fait office de proxy pour atteindre la PCOA du mobile en passant par sa VCOA. De plus, pour les mobiles utilisant le mode 2 de fonctionnement, le MA tient une liste de CH, et leur envoi des BU lorsque cela est utile. Le MA gère ces listes de façon dynamique, il est capable d'apprendre de nouveaux correspondants. Le MA doit être capable de gérer des mobiles en mode 1 et d'autres en mode 2, et ceci en même temps. Il est très important ici de souligner que le protocole utilisé entre les CH et le MA est Mobile IPv6. Cela signifie qu'il n'y aura aucune modification à apporter au correspondant.

Après un déplacement un MH s'enregistre auprès du MA local. Il lui communique H@, HA, PCOA et MA précédent et évidement le mode selon lequel le mobile fonctionne. Le MA doit déterminer si le MH vient d'effectuer un déplacement inter site ou intra site. Pour cela, il suffit de vérifier si le champ MA précédent contient l'adresse du MA local ou si le mobile figure déjà dans la liste des MH gérés. En fonction du type de mobilité et du mode de fonctionnement, les BU adéquats seront envoyés vers les CH. Enfin le MA envoie au MH un BACK.

En rythme de fonctionnement, le MA intercepte tous les paquets à destination de tous les MN qu'il a dans sa liste de gestion (tous ceux qui se sont enregistrés). Pour plus d'efficacité sur les liens entre les BS et les MH[4] le MA peut retirer le niveau d'encapsulation si les paquets viennent d'un HA. Les paquets sont ensuite encapsulés et dirigés vers la PCOA correspondante. Dans certains cas, d'autres actions sont à exécuter. Elles portent sur la gestion des CH, nous les décrirons plus loin.

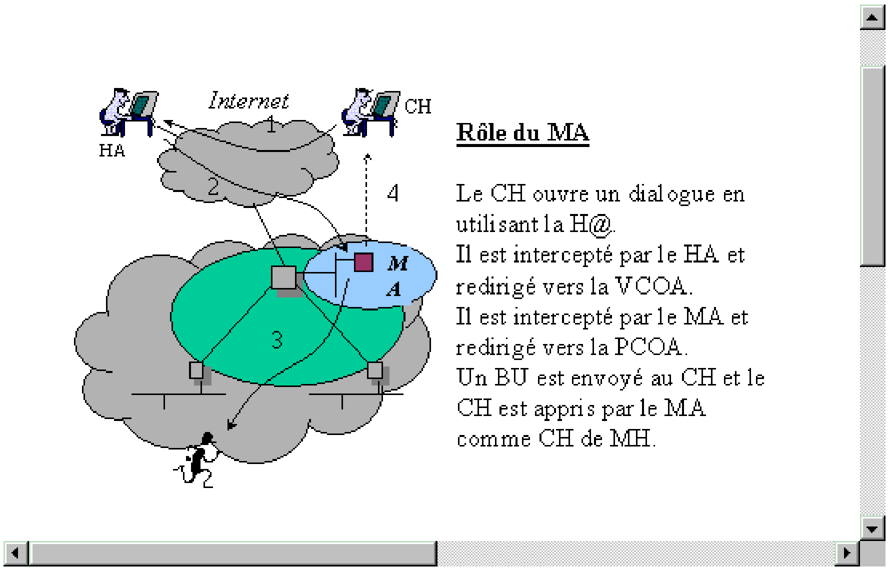

FIG. 7 – *Le MA en mode 2*

Structure de données Ces structures sont très proches de celle utilisées dans Mobile IPv6. Nous les enrichissons de quelques variables nécessaires à notre approche. Pour désigner un MH nous avons besoin, en plus des informations utiles à Mobile IPv6, de :

– un timer maintien de position.

– un flag confidentialité.

4. ces liens seront bien souvent des liens "wireless" donc à faible bande passante, inutile de les surcharger

- une liste CH.
- un compteur numéro de séquence.

Communication d'adresse Le MA émet périodiquement une annonce contenant son adresse à certains routeurs du sites. Ces routeurs sont les routeurs de réseaux capables d'être point d'attachement de MH en visite (Base Stations). Cette annonce va donner naissance à une destination option IPv6 : mobility agent annonce.

```
                                +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
                                |     type      |   longueur    |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|    flags      | pref. length  |      pad      |      pad      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
|                         MA Address                            |
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

type = type de l'option, nous lui affectons xxx.
longueur = longueur de l'option, ici 24.
flags (Mxxx xxxx) = le flag M indique si le MA est capable ou non de fonctionner en mode 2.
pref. length = longueur du préfix du réseau virtuel.
MA address = adresse du MA du site.

4.2.2 Enregistrement des MH

Nous développons ici en détail le processus d'enregistrement des MH, du point de vue d'un MA.

Un MH arrive sur un nouveau réseau. Le protocole Micro Mobile IPv6 est simple. Le MH identifie le MA par décodage du router advertissment et s'enregistre en communiquant H@, PCOA, HA et MA précédent. Un flag E dans la Destination Option BU, permet d'indiquer au MA si l'envoi de BU vers les CH est autorisé ou non. Le MA doit maintenant analyser ces informations pour déterminer les bonnes actions à effectuer.

Cas possible Il existe plusieurs cas avec chacun des sous cas et des particularités. Nous allons répertorier tous ces cas en utilisant un algorithme. Nous verrons ensuite dans le paragraphe suivant les traitements à effectuer pour chaque cas. Le paquet d'enregistrement contient H@ / HA / PCOA / Maold. Nous désignerons le paquet par pkt. Chacune des informations de ce paquet sera notée pkt.HA, pkt.PCOA ... Enfin nous désignons la liste des MH gérés par le MA par listeMH, un élément de cette liste sera représenté par listeMH(MH1). Un champ d'un MH de la liste sera noté listeMH(MH1).VCOA En premier lieu il est impératif pour le MA de vérifier si l'adresse PCOA est une adresse autorisée, c'est à dire une adresse du site. Si ce n'est pas le cas, la demande doit être rejetée.

```
qqsoit x si pkt.H@ == listeMH(x).H@ alors le MH est déjà
enregistré. Ceci peut être la conséquence de plusieurs cas :

    si listeMH(x).PCOA == pkt.PCOA
    alors le MH refait un enregistrement, son enregistrement
          est bien parvenu au MA qui l'a enregistré, mais le
          MH n'a pas reçu d'acquittement, soit celui du MA
          soit celui du HA. Nous devons ici savoir quel type
          de mouvement avait fait le MH pour savoir s'il faut
          informer le HA ou non.

        si pkt.MAold == MAlocal
        alors le MH avait effectué un déplacement intra site. (1)

        sinon inter site. (2)

    si listeMH(x).PCOA != pkt.PCOA
    alors le MH vient de bouger à l'intérieur du site, il
          signale sa nouvelle position. (3)

qqsoit x si pkt.H@ != listeMH(x).H@ alors le MH arrive d'un
autre site.

    si pkt.MAold == adresse indéterminée
    alors le MH vient de son réseau mère. (4)

    sinon si pkt.H@ == pkt.PCOA alors le MH rentre sur son
                                 réseau mère. (5)
```

```
sinon le MH vient d'un autre site. (6)
```

Traitements Voilà maintenant les traitements à effectuer pour les cas ci-dessus.

(1) Le MA acquitte le MH avec un BACK. Le BACK perdu ne peut être que celui du MA car le HA n'a pas été prévenu car il s'agit d'un déplacement intra site. Le mode de fonctionnement du mobile n'influt pas sur le comportement du MA dans ce cas précis.

(2) Si le mobile fonctionne en mode 2, c'est le MA qui est chargé d'envoyer les BU. Dans ce cas nous ne pouvons pas statuer sur l'acquittement perdu, nous allons donc provoquer le renvoi des deux BACK. Le HA est prévenu par envoi d'un BU (VCOA/H@). Ainsi le HA va acquitter. Le MA acquitte le MH avec un BACK. Si le mobile fonctionne en mode 1, le MA acquitte simplement le MH avec un BACK.

(3) Le MA modifie sa liste de MH pour mettre à jour le champ PCOA avec l'adresse source du paquet d'enregistrement, il convient également de modifier le proxy pour tenir compte de la nouvelle PCOA. Le MA acquitte le MH par envoi d'un simple BACK. Si le mobile fonctionne en mode 2, le MA peut envoyer un BU aux correspondants locaux du MH pour leur signifier la nouvelle position du mobile. Ces BU contiendront la PCOA afin d'optimiser le routage interne des paquets. Si le mobile fonctionne en mode 1, il se chargera lui même d'informer ses CH.

(4) Le MA crée une entrée dans sa liste pour le MH. Il acquitte le MH par envoi d'un BACK. Si le mobile fonctionne en mode 2, le MA informe le HA du déplacement par un BU + VCOA et H@. Il construit la liste des CH de ce mobile, cette liste ne contiendra pour l'instant que le HA.

(5)(6) Nous allons décrire en détail dans le paragraphe Interaction des MA, le processus à respecter dans ces cas.

BACK en réponse au MH Le MA doit envoyer des BACK vers les MH qui demande de s'enregistrer. Si tout c'est bien déroulé le BACK contiendra le status accepté. Si le mécanisme d'enregistrement est arrêté par une erreur, le MA devra insérer le type d'erreur dans le champ status du BACK et annuler le processus d'enregistrement :

- refusé, la machine n'est pas MS
- refusé, plus suffisamment de ressources
- refusé, numéro de séquence du paquet d'enregistrement trop petit

– refusé, raison indéterminée

Lorsqu'une erreur survient, le MA se contente de communiquer cette erreur au MH. Il n'effectue aucun traitement supplémentaire. C'est au MH de réagir en conséquence de cet échec.

4.2.3 Numéro de séquence

A chaque MH, le MA associe un compteur numéro de séquence. Ce compteur contient en permanence le numéro de séquence du dernier paquet d'enregistrement / confirmation de position valide reçu depuis ce MH. Si un nouveau paquet arrive contenant un numéro de séquence plus petit ou égal à la valeur du compteur, le paquet est rejeté. Quand le MH sort de son réseau mère, le numéro de séquence est initialisé par le MH à une valeur aléatoire. Le MA crée une entrée dans sa liste de MH gérés et copie cette valeur dans le compteur associé au MH. A chaque confirmation de position ou mouvement intra site, le MS recevra un paquet avec un nouveau numéro de séquence. Ce numéro sera recopié dans le compteur du MH, à condition qu'il soit strictement supérieur à la valeur du compteur.

4.2.4 Interaction des MA

L'interaction des MA est conforme au protocole de smooth handoff défini dans le paragraphe 3.8.2. Les MS de la définition deviennent les MA de Micro Mobile IPv6.

Soient

– un mobile MH.

– deux sites site1 et site2, avec leur MA respectif, MA1 et M2.

Cas d'enregistrement de MH supplémentaire Nous avons maintenant en main toutes les données pour expliquer les cas (5) et (6) d'enregistrement d'un MH définis dans le paragraphe 4.2.2. Le cas (5) décrit un scénario où le MH rentre sur son réseau mère après x visites sur y réseaux. Il ne sera à présent plus géré par un MA. Il s'enregistre cependant mais au dernier MA, et non le MA de son domaine. Cet enregistrement aura pour but de faire suivre les paquets encore destinés à l'ancienne VCOA vers la H@. De plus si le mobile fonctionne en mode 2, cet enregistrement provoquera l'envoi d'un BU (H@/H@) à tous les CH. Un MA recevant un enregistrement

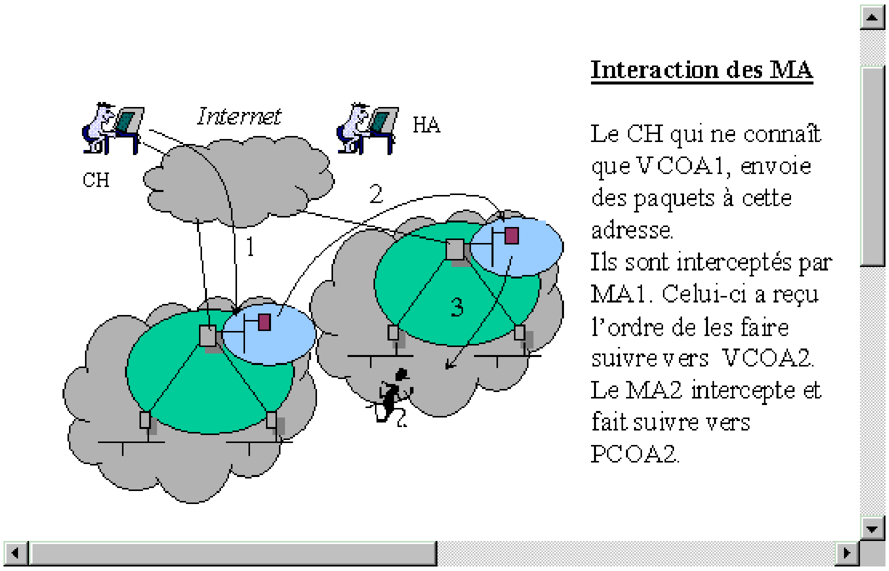

FIG. 8 – *Interaction de MA*

de MH avec le champ H@ égal au champ PCOA sait qu'il doit envoyer les BU lui même au CH pour signifier le retour sur réseau mère. Ce cas est le seul où c'est l'ancien MA qui envoie les BU, dans tous les autres cas, c'est le nouveau MA qui envoie les BU, après avoir récupéré la liste des CH par smooth handoff.

Le cas (6) traite le cas d'un MH qui voyage d'un site à un autre, sans qu'aucun des deux ne soit le réseau mère. Dans ce cas, le MA recevant la demande d'enregistrement doit initier un smooth handoff, comme nous l'avons vu dans le paragraphe 3.8.2. Si le mobile fonctionne en mode 2, le MA pourra procéder à l'envoi des BU vers les CH, et à l'envoi d'un acquittement vers le MH. L'envoi des BU est conditionné : la VCOA pour les CH externes au domaine, et la PCOA pour les CH internes au domaine.

Un nouveau cas :

Le smooth handoff tel que nous l'avons défini peut être source d'un nouveau cas d'enregistrement. Il apparaît comme un sous cas du 'qqsoit x si pkt.H@ == listeMH(x).H@ alors'.

```
si listeMH(x).PCOA != pkt.PCOA et listeMH(x).PCOA appartient
   site local et pkt.Maold != MA
```

```
alors le MH était dans le site à la date x, il s'était
      enregistré, puis à la date x+y il a changé de site,
      il était alors géré par un autre MA qui a demandé
      le smooth handoff. A la date x+y+z, le MH est revenu
      dans le site et s'est enregistré de nouveau. (7)
    y > 0, z >0, y+z < durée de vie de la redirection.
```

Au moment où le MH revient dans le site1, son entrée dans la liste des MH gérés est encore présente. Son champ PCOA est initialisé avec VCOA2 (suite au smooth handoff). VCOA2 n'est pas une adresse comprise dans la plage d'adresses du site.

Les actions à entreprendre pour le MA sont :

- mise à jour du champs PCOA de la liste des MH gérés par PCOA1.
- initier un smooth handoff vers le MA précédent. Ceci permettra en cas de mode 2 de retrouver une liste de CH à jour.

Un cas existant, le () s'enrichit d'un nouveau test :

```
si listeMH(x).PCOA != pkt.PCOA et listeMH(x).PCOA
   appartient site local
alors le MH vient de bouger à l'intérieur du site,
      il signale sa nouvelle position.
```

Pour ce cas ci, nous devons assurer que l'adresse de la liste des MH appartient bien à la plage d'adressage du site, sinon nous retombons dans le cas décrit ci-dessus.

4.2.5 Gestion des CH

Interception de paquets encapsulés : apprentissage de nouveaux CH Le MA intercepte tous les paquets à destination des VCOA des MH qu'il gère et fait suivre les paquets aux PCOA correspondantes. Le MA créait ainsi un niveau d'encapsulation. Certains des paquets interceptés peuvent déjà être encapsulés. C'est le cas de paquets en provenance soit du HA, soit d'un MA précèdent. Pour éviter les multiples niveaux d'encapsulation, le MA peut décapsuler et faire suivre le paquet vers la PCOA ou changer la VCOA par la PCOA dans l'entête du paquet et router.

Si l'expéditeur est le HA, nous sommes en présence d'un CH qui n'a pas encore connaissance de la position actuelle du MH. Il s'est donc adressé à la H@ et a été intercepté par le HA qui a fait suivre. Le MA fait de même et redirige le paquet vers la PCOA. Si le mobile associé fonctionne selon le mode 2, le MA peut envoyer un BU au CH avec un numéro de séquence égal à 1.

Si l'expéditeur est un MA, le CH ne connaît que l'ancienne position du MH (celle dans le réseau du MA précèdent), il n'a pas été averti du mouvement du MH ou bien le BU est en route ou bien le BU est perdu. Ce CH doit être dans la liste des CH puisqu'il connaît l'ancienne position du MH. Le MA peut envoyer (renvoyer) un BU à ce CH avec un numéro de séquence correct.

Nous avons volontairement employé le conditionnel pour ce qui concerne l'envoi de BU, car cela n'est pas automatique. Il y a plusieurs raisons pour cela :

- le MH peut par choix décider de ne pas communiquer sa PCOA à ses CH pour cacher sa position réelle. Dans ce cas, aucun BU ne doit être envoyé par le MA. Cette intention est communiquée par le MH lors de son enregistrement en positionnant le flag E de la Destination Option BU.

- le MH n'est peut être déjà plus dans ce site. Il y était il y a peu de temps, mais il est parti. Son nouveau MA a entamé un procédure de smooth handoff. Ce MA doit faire suivre les paquets à la nouvelle VCOA, mais ne doit en aucun cas envoyer de BU au CH, ceci est maintenant géré par le nouveau MA.

Binding request Lorsque la durée de vie d'un binding est proche de sa fin dans le cache d'un CH, ce CH peut envoyer un Binding Request (BR) pour demander au MH de rafraîchir son binding. Le MH doit alors répondre par l'envoi d'un BU. Ceci est le fonctionnement classique de Mobile IPv6. Considérons le mobile MH, fonctionnant selon UHMMA mode 2. MH est en visite dans un site x qui a déployé UHMMA. Un CH de MH veut rafraîchir son binding pour MH. Il envoie un BR vers MH.

Si MH et CH ne sont pas dans le même site, CH s'adressera à VCOAx. Le paquet BR sera intercepté par MAx. MAx détecte le BR et envoie un BU vers CH (si le MH l'y autorise). En aucun cas, il ne doit faire suivre le paquet BR vers le MH.

Si MH et CH sont dans le site x. CH connaît la PCOA de MH. Il adressera donc directement son BR à PCOA. MH refusera ce paquet et ne répondra pas, ce n'est pas prévu par UHMMA. Alors il faut faire en sorte que les CH qui sont physiquement dans le même site que le MH n'est jamais besoin d'envoyer de BR. Le MA devra leur envoyer plusieurs BU durant la durée de vie du binding dans le cache. Cela génère quelques paquets de signalisation supplémentaires, mais ces paquets sont confinés à l'intérieur du site, nous n'augmentons pas les trafics sur l'Internet.

Timer A chaque CH sera associé un timer. Ce timer servira à calculer la périodicité de l'envoi de BU vers ce CH. Dans le mode de fonctionement 2 lors d'un smooth handoff, le nouveau MA réceptionne la liste des CH et procède à l'envoi immédiat de BU vers tous les CH. Les timers sont donc réarmés à cet instant. Nous procédons ainsi à une synchronisation de l'envoi de BU.

4.2.6 Gestion des MH

Le MA doit faire office de proxy pour atteindre les MH. Il intercepte les paquets à destination des VCOA et le redirige vers les PCOA correspondantes. Le proxy doit être mis en place dès réception du paquet de demande d'enregistrement du MH, et non pas après réception du BACK du smooth handoff. Si le proxy est ouvert trop tard, il se peut que le BACK en provenance du HA soit perdu. En effet, celui-ci est adressé à la VCOA et peut arriver avant que la procédure de smooth handoff ne soit terminée. Cela signifie que si la procédure d'enregistrement du MH échoue, il faudra mettre fin à l'activité de proxy pour ce MH.

Le MA gère une liste de MH. A chaque MH est associé une liste de CH (pour le mode 2 uniquement)et un timer, le timer de maintien de position. Ce timer est lancé lorsque le MH s'enregistre pour la première fois. Il est relancé à chaque réception d'un paquet de confirmation de position ou d'enregistrement pour un déplacement intra site. Si le timer vient à expirer, nous estimons que le mobile est parti du réseau sans pouvoir effectuer de procédure de désenregistrement propre (smooth handoff). Le MA doit retirer l'entrée de ce MH de sa liste des MH gérés. Les paquets à destination de la VCOA ne seront plus interceptés et redirigés et l'envoi de BU est terminé (mode 2).

Il y a finalement peu de signalisation entre le MA et le MH. Le dialogue se résume à une demande d'enregistrement, une suite de confirmation de position et un smooth handoff pour mettre fin à la prise en charge de la mobilité. Le MA fait suivre les paquets vers le MH. Dans le sens MH -¿MA, il n'y a que de la signalisation, dans le sens MA -¿MH, il n'y a que des paquets de données encapsulés.

Confirmation de position Une confirmation de position est un paquet contenant une Destination Option BU et une Destination Option H@. Le MH confirme sa position, il est toujours dans le réseau à la même PCOA et il désire que sa mobilité soit assurée par le MA. Le MA doit vérifier que le MH est correctement enregistré dans sa liste. Si une incohérence est détectée le paquet est rejeté. Sinon, le timer de maintien de position associé au MH est relancé. Le numéro de séquence du paquet arrivant est comparé avec le numéro de séquence associé au MH. Si le nouveau numéro est plus grand, le paquet est traité et ce numéro est mémorisé, sinon le paquet est ignoré.

4.3 Récapitulatif

Reprenons rapidement les fonctionnalités du MA en développant des exemples. Soient :

- MH : un mobile
- HA : le HA de MH
- S1 : un site 1
- S2 : un site 2
- HN : le réseau mère
- MA1 : le MA du site 1
- MA2 : le MA du site 2
- MAHN : le MA du site du réseau mère

4.3.1 Exemple 1 ; le MH part de HN vers S1

1. MH s'enregistre auprès de MA1.
2. MA1 reçoit la demande.
3. MA1 affecte VCOA1 et enregistre MH dans sa liste.
4. MA1 envoie un BU (H@ / VCOA) vers HA.
5. MA1 envoie un BACK à MH avec le status accepté ou refusé, selon les résultats de l'opération 3.

4.3.2 Exemple 2 ; MH était sur MA1, il se déplace sur MA2

1. MH s'enregistre auprès de MA2.
2. MA2 reçoit la demande.
3. MA2 affecte VCOA2 à MH.
4. MA2 envoie un BU (H@ / VCOA2) initiateur de smooth handoff à MA1. Il réitère ce BU tant qu'il n'a pas reçu de BACK.
5. MA1 reçoit le BU.
6. MA1 met à jour son entrée pour MH avec VCOA2 et il marque MH comme non géré localement (plus de BU envoyé).
7. MA1 envoie un BACK vers MA2. Le status est l'image des résultats des étapes 6 et 7, accepté ou refusé.
8. MA2 reçoit le BACK.
   - Si le status du BACK est accepté :
     (a) MA2 insère MH dans la liste des MH gérés avec la liste des CH du BACK.
     (b) MA2 envoie un BU (H@ / VCOA ou H@ / PCOA) à tous les CH de la liste, si MH l'y autorise (flag dans le paquet d'enregistrement).
   - Si le status est refusé : MH n'est pas enregistré.
9. MA2 envoie un BACK à MH. Le status est soit un message reflétant une erreur suite aux étapes 9 ou 10, soit le même status que le BACK de MA1.

4.3.3 Exemple 3 ; MH était sur MA2, il revient sur HN

1. MH s'enregistre auprès de MAHN.
2. MAHN reçoit la demande.
3. MAHN envoie un BU (H@ / H@) à MA2. Il réitère tant qu'il n'a pas reçu de BACK.
4. MA2 reçoit le BU.

5. Il met à jour son entrée pour MH avec H@ et il marque MH comme non géré localement (plus de BU envoyé).
6. MA2 envoie un BACK vers MAHN. Le status est le reflet du résultat de l'étape 5.
7. MAHN reçoit BACK.
8. MAHN envoie un BACK vers MH. Le status est le même que celui du BACK de MA1.

4.3.4 exemple 4 ; mh était sur ma1, il se déplace dans MA1

1. MH s'enregistre auprès de MA1.
2. MA1 reçoit la demande.
3. MA1 met à jour son entrée pour MH avec PCOA.
4. MA1 envoie BU (H@ / PCOA) aux CH locaux au site.

4.3.5 Standardisation

- UHMMA nous avait déjà apporté l'enrichissement des flags d'un BU, Micro MOBILE IPv6 nous en donne d'autres :

AHCEPSF

Flag S : ce flag indique que le BU porteur est un BU initiateur de smooth handoff provenant d'un MA à destination d'un autre MA.

Flag P : ce flag est position lorsque le BU porteur est un BU maintien de position envoyé par un mobile vers son MA actuel.

Flag F : ce flag indique un smooth handoff particulier, un FULL smooth handoff. Il est utilisé lors d'un changement de MA pour transférer l'intégralité des listes de mobiles.

- Les MA utiliseront une nouvelle destination option pour transmettre leur adresses à tous les routeurs.

```
                                +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
                                |     type      |   longueur    |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|    flags      |      pad      |      pad      |      pad      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                                               |
|                           MA Address                          |
|                                                               |
|                                                               |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

type = type de l'option, nous lui affectons xxx.
longueur = longueur de l'option, ici 24.
MA address = adresse du MA du site.

Références

[1] David B. Johnson et Charles Perkins. Mobility Support in IPv6. Internet Draft, draft-ietf-mobileip-ipv6-07.txt. Novembre 1998.

[2] Claude Castelluccia. A hierarchical Mobile IPv6 Proposal. Technical Report. Novembre 1998.