

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

THEME

**NOUVELLE STRATEGIE DE MANAGEMENT
DES CONNEXIONS DANS LES RESEAUX
CELLULAIRES SATELLITAIRES**

Par

WASSILA KIAMOUCHE

Président du Jury :	BENNIA Abdelhak	Pr. Université de Constantine
Rapporteur :	BENSLAMA Malek	Pr. Université de Constantine
Examineur :	SOLTANI Fouzi	Pr. Université de Constantine
Examineur:	BENATIA Djamel	Pr. Université de Batna
Examineur:	DOGHMANE Nourredine	Pr. Université Annaba

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

و إِذَا عَزَمْتَ فَتَوَكَّلْ عَلَى اللَّهِ
إِنَّ اللَّهَ يَحِبُّ الْمُتَوَكِّلِينَ

إِلَى أَبِي رَحْمَةِ اللَّهِ
إِلَى أُمِّي
إِلَى كُلِّ عَائِلَةٍ

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer mes plus vifs remerciements au Professeur Malek Benslama, qui a accepté d'être le directeur de ma thèse.

J'adresse mes remerciements à toute l'équipe du laboratoire LRET et particulièrement à mes collègues et amies Mounira Kermani Siheme Lasmari et Fouzia Maamri.

Je voudrais aussi remercier les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger mon travail.

Enfin, j'adresse mes sentiments affectueux à mes parents qui leur soutien et encouragements m'ont aidé à poursuivre mes études.

ملخص

إن معرفة معلومات عن موقع مستعملي الهاتف النقال بالنسبة لشبكات الإتصال عبر الأقمار الصناعية هي أمر ضروري وهام جدا. ويعتبر نظام تحديد المواقع الشامل *Global GPS Positioning System* حتمي في هذه الحالة حتى يستطيع النظام تتبع المستعمل المتنقل عبر الشبكة. ولكن عملية إدماج نظام *GPS* في مثل هذه الشبكات تعتبر معقدة. نقترح في هذه الرسالة تقنية جديدة تعتمد أساسا على ميزات نموذج الحركة لأنظمة النقال بالنسبة لشبكات الإتصال عبر الأقمار الصناعية في المدارات المنخفضة التي تسمح بإشتقاق عدة معلومات وعوامل خاصة بالمستعمل المتنقل حتى إذا كان موقعه مجهولا. نستعمل هذه التقنية لإقتراح تقنية *DCR-like* و *Pseudo-LUI* المستنبطتان من التقنيتان *DCR* و *LUI* المقترحتان في أعمال بحث سابقة. نناقش أيضا في هذه الرسالة جانب مختلف لمشكل *Handover* وهو: المكالمات المقطوعة بعد مدة قصيرة من بدئها بسبب إخفاق عملية الانتقال إلى خلية أخرى. من أجل ذلك نقترح نظام دعم قرار *Rescuing System RS* الذي يسمح لمثل هذه المكالمات تجنب إنقطاع الإتصال بشكل مفاجئ على حساب مكالمات ذات المدة الطويلة.

RÉSUMÉ

Afin de déterminer d'importants paramètres concernant les utilisateurs mobiles UMs avec appels en cours dans les systèmes satellitaires mobiles LEO (Mobile satellite system MSS.) un système de positionnement doit être intégré au MSS afin de localiser les UMs et de les traquer durant leurs connexions au réseau. Une telle intégration est considérée comme complexe.

Nous proposons dans cette thèse une nouvelle méthode basée sur les avantages du modèle de mobilité des MSS LEO, appelée Evaluation Parameters Method EPM, qui permet pour de tels systèmes l'évaluation de différentes informations concernant un UM avec appel en cours même si sa position est inconnue. Cette méthode est ensuite utilisée pour introduire deux stratégies de priorité pour requêtes handover, Pseudo Last Useful Instant PLUI et Dynamic Channel Reservation-*like* DCR-*like* basées respectivement sur les stratégies LUI et DCR.

Nous abordons aussi un autre aspect du problème handover: les appels de courtes durée perdus à cause d'un échec de la procédure handover. Nous proposons un système de décision *Rescuing System* RS qui permet d'éviter à ces appels une fin prématurée aux dépens de ceux ayant des durées relativement longues.

ABSTRACT.

In order to derive important parameters concerning mobile subscriber MS with ongoing calls in Low Earth Orbit Mobile Satellite Systems LEO MSSs, a positioning system had to be integrated into MSS in order to localize mobile subscribers MSs and track them during the connection. Such integration is regarded as a complex implementation.

We propose in this thesis a novel method based on advantages of mobility model of Low Earth Orbit Mobile Satellite System LEO MSS which allows the evaluation of instant of subsequent handover of a MS even if its location is unknown. This method is then utilized to propose two prioritized handover schemes, Pseudo Last Useful Instant PLUI strategy and Dynamic Channel Reservation DCR-like scheme based respectively on LUI and DCR schemes, previously proposed in literature.

We also approach a different aspect of handover problem: calls with short durations dropped due to a handover failure. We propose a decision system based on fuzzy logic Rescuing System that allows the rescue of calls with short durations facing a premature at the expense of those lasting for long durations.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements.

Liste des figures.

Liste symboles\abréviations.

Introduction générale.

I Fondements des réseaux satellitaires.

<i>I. 1 Introduction</i>	7
<i>I. 2 Orbites pour la satellisation</i>	8
I.2.1 Caractéristiques d'une ellipse	8
I.2.2 Les lois de Kepler	9
I.2.3 Paramètres orbitaux des satellites terrestres	10
I.2.4 Perturbations des orbites	11
I.2.5 Maintien et survie sur une orbite	12
<i>I. 3 Délai, variation de délai et couverture</i>	13
I.3.1 Données géométriques	13
I.3.2 Approximation de la couverture	15
I.3.3 Intervalle de temps entre deux transferts inter-satellites successifs	16
I.3.4 Délai et variation de délai	16
<i>I. 4 Trajectoires orbitales</i>	17
I.4.1 Systèmes de type GEO	18
I.4.2 Systèmes elliptiques	19
I.4.3 Systèmes de type MEO	20
I.4.4 Systèmes de type LEO	21
<i>I. 5 Caractéristiques des systèmes cellulaires satellitaires</i>	23
<i>I. 6 Avantages des systèmes LEO</i>	25
<i>I. 7 Handover dans les réseaux satellitaires LEO</i>	26
I.7.1 Handover couche-liaison	27
I.7.2 Handover de La couche-réseau	28

II Introduction au télétrafic

<i>II.1. Introduction</i>	29
<i>II.2 Théorie et technique du télé trafic, historique</i>	29
<i>II.2.1 Théorie des files d'attente</i>	30
<i>II.2.2 Théorie du Télé trafic</i>	30
<i>II.3 Concepts de base</i>	31
<i>II.3.1 Processus de naissance et de mort</i>	32
<i>II.3.2 Processus de Poisson</i>	33
<i>II.4 Modèles Erlang B et Erlang C</i>	34
<i>II.4.1 Probabilité de blocage et formule d'Erlang B</i>	35
<i>II.4.2 Probabilité de mise en attente et formule d'Erlang C</i>	37

III Stratégies d'affectation des canaux et modèle de mobilité

<i>III.1 Introduction</i>	39
<i>III.2 Techniques d'affectation des canaux</i>	39
<i>III.2.1 Techniques d'affectation fixe des canaux (FCA)</i>	40
<i>III.2.2 Techniques d'affectation dynamique des canaux (DCA)</i>	41
<i>III.3 Handover entre faisceaux et stratégies de priorité</i>	43
<i>III.3.1 Handover entre faisceaux</i>	43
<i>III.3.2 Stratégies de priorité pour requêtes handover</i>	44
<i>III.4 Modèle de mobilité</i>	47
<i>III.5 Analyse du modèle de mobilité</i>	51

IV Méthode d'évaluation de paramètres

<i>IV.1 Introduction</i>	59
<i>IV.2 Avantages du modèle de mobilité des MSS LEO</i>	59
<i>IV.3 Evaluation parameters method EPM</i>	66
<i>IV.4 Stratégie de mise en file d'attente Pseudo Last Useful Instant</i>	71
<i>IV.4.1 Mise en attente des requêtes handover</i>	71
<i>IV.4.2 Gestion des requêtes handover</i>	71
<i>IV.4.3 Stratégie de mise en file d'attente LUI (Last Useful Instant)</i>	71
<i>IV.4.4 Stratégie de mise en file d'attente Pseudo LUI</i>	72
<i>IV.5 Stratégie de canaux de garde Dynamic Channel Reservation -like</i>	74
<i>IV.5.1 Dynamic Channel Reservation DCR technique</i>	74

IV.5.2 Dynamic Channel Reservation DCR-like technique	76
---	----

V Etude analytique

V.1 Introduction	77
V.2 Analyse de FCA-QH avec différentes Stratégies de mise en attente	77
V.3 Etude Analytique de FCR et FCR-like	82

VI Le système RS

VI.1 Introduction	92
VI.2 La logique floue	92
VI.3 Problème posé	93

VII Résultats et simulation

VII.1 Introduction	97
VII.2 Le réseau simulé (plié)	97
VII.3 Résultats de simulation	99
1ère partie : Stratégies de mise en file d'attente	99
2 ^{ème} partie : Stratégies utilisant le concept de canaux de garde	105
3 ^{ème} partie : le système RS	108

Annexe 1

Annexe 2

Annexe 3

Annexe 4

Références

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 Réutilisation des fréquences par des satellites d'altitudes différentes.....	8
Figure I-2 Quelques propriétés de l'ellipse.....	9
Figure I-3 Points remarquables d'une orbite d'un satellite de la Terre.....	10
Figure I-4 Angle solide de couverture.....	13
Figure I-5 Angle d'élévation.....	14
Figure I-6 Relation entre θ , ω et h	15
Figure I-7 Temps de réponse (d) perçu via un satellite avec un temps de traitement T	17
Figure I-8 Système GEO, constellation de 3 satellites.....	18
Figure I-9 Système elliptique constellation LOOPUS.....	20
Figure I-10 Système MEO, constellation Spaceway NGSO.....	21
Figure I-11 Système LEO constellation Iridium.....	22
Figure I-12 Deux types répandus de constellations, vus du pôle.....	22
Figure I-13 Projection de couverture.....	23
Figure I-14 Hémisphère d'une constellation.....	24
Figure III-1 scénario du handover cellulaire.....	44
Figure III-2 Géométrie du réseau cellulaire avec un motif hexagonal.....	48
Figure III-3 Conservation du flux des requêtes entrant et sortant d'une cellule.....	50
Figure III-4 Probabilités handover P_{H1} et P_{H2} en fonction du facteur de mobilité α	54
Figure IV-1 Comparaison entre les fonctions de densité de probabilité $f(z)$ et $f^*(z)$ dans le cas Iridium.....	62
Figure IV-2 Temps maximum de mise en queue en fonction de z pour le modèle de mobilité.....	64
Figure IV-3 Localisation d'un utilisateur mobile.....	65
Figure IV-4 Temps maximum de séjour en fonction de z	67
Figure IV-5 nouvel offset z_n dans la cellule de transit.....	68
Figure IV-6 Temps Maximum de séjour dans les cellules de source et transit en fonction de $ z $	68
Figure IV-7 Temps maximum de mise en file d'attente et temps de séjour en fonction de z	69
Figure IV-8 Temps maximum de mise en queue en fonction du temps de séjour maximum.....	70
Figure IV-9 Fonction $y = -a x^2 + b x$	70
Figure IV-10 Réservation dynamique des canaux DCR.....	75
Figure V-1 Système d'attente pour FCA-QH chaîne de Markov.....	78
Figure V-2 Comparaison théorique entre FIFO, LUI et PLUI pour le cas FCA-QH au terme de P_{ns}	82
Figure V-3 Diagramme de transitions des états.....	84
Figure V-4 flux des appels entrants et sortants.....	86
Figure V-5 Comparaison théorique entre FCR, et FCR-like au terme de P_{ns} et P_{drp}	90
Figure VI-1 Période maximale qu'un appel peut passer dans une cellule t_{MP} en fonction de z	94
Figure VI-2 un appel affrontant le rejet de sa requête handover.....	95
Figure VI-3 Fonction d'appartenance des durées d'appels.....	95
Figure VII-1 Réseau plié avec de fausses cellules d'interférence.....	99
Figure VII-2 FCA-QH LUI & PLUI, comparaison entre simulation et prédiction analytiques.....	100
Figure VII-3 Comparaison de FCA DCA.....	101
Figure VII-4 Comparaison QH LUI-NPS.....	103
Figure VII-5 Comparaison de performances FIFO, LUI et PLUI (cas IRIDIUM).....	105
Figure VII-6 FCR et FCR-like comparaison entre simulation et prédiction analytiques.....	106
Figure VII-7 Performances des techniques DCR et DCR-like.....	107
Figure VII-8 Distribution des durées des appels perdus pour différentes valeurs de λ sans RS.....	109
Figure VII-9 Distributions des durées des appels perdus pour différentes valeurs de λ avec RS.....	110
Figure VII-10 Durées moyennes des appels perdus.....	110
Figure VII-11 Performances du réseau DCA QH-LUI avec RS.....	111

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

CRN : Channel Reservation Number.

DCA: Dynamic Channel Allocation.

DCR: Dynamic Channel Reservation.

DDBHP: Dynamic Doppler-Based Handover Prioritization Technique.

ECL: Elastic Channel Locking.

EPM: Evaluation Parameters Method.

FCA: Fixed Channel Allocation.

FCR: Fixed Channel Reservation

FIFO: First In First Out.

GEO: Geostationary Earth Orbit.

GH: Guaranteed Handover.

GPS: Global Positioning System.

HEO: High Earth Orbit.

HG: Handover Guard.

IP: Internet Protocol.

ISL : Inter Satellite Link.

ITU : International Telecommunication Union ou Union internationale des télécommunications (UIT): la plus ancienne organisation internationale technique de coordination.

LEO: Low Earth Orbit.

LUI: Last Useful Instant.

MBPS: Measurement Based Priority Scheme.

MEO: Medium Earth Orbit.

MSS: Mobile Satellite System.

NPS: Non Prioritization Scheme.

PASTA: Poisson Arrivals See Time Averages

pdf: Probability density function.

PLUI : Pseudo LUI.

QH : Queueing Handover.

QoS: Quality of Service.

TCRA: Time-based Channel Reservation Algorithm

UM : Utilisateur mobile.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Nous vivons de nos jours une réelle révolution en communication ; la demande pour une large gamme de services de télécommunication (exemple: transmission de la voix, de messages courts, de localisation géographique type GPS, ...etc.) est en perpétuelle croissance, et des solutions d'accès radio sont de plus en plus attrayantes puisqu'elles libèrent les utilisateurs des contraintes d'attachement [1]. Des projets ont été développés pour satisfaire ces besoins pressants et parvenir à un réseau mondial capable de fournir un accès radio aux utilisateurs où qu'ils soient, utilisant une adresse personnelle universelle. Le défi est donc une mise en œuvre de services de communication universelle.

Dans un tel défi, les systèmes satellitaires mobiles (*Mobile Satellite System MSS*) jouent un rôle très important. Le développement attendu de ces systèmes est articulé sur leurs capacités à fournir une couverture globale pour une large gamme d'utilisateurs sur terre, dans l'air, ou en mer. De plus, les systèmes satellitaires mobiles présentent une opportunité rare pour assurer des services de communication pour les endroits à faible population ou les régions étendues où la mise en œuvre d'un réseau mobile terrestre est irréalisable ou trop coûteuse (exemple océan).

Récemment les constellations de satellites à basse altitude (*Low Earth Orbit LEO*) ont fait l'objet d'un grand intérêt pour les opérateurs des réseaux satellitaires compte tenu des avantages qu'elles présentent par rapport à celles utilisant des satellites d'altitudes supérieures[2][3]. D'une part, les satellites LEO peuvent communiquer dans de bonnes conditions avec les régions de très hautes latitudes et les régions polaires, ce que les satellites géosynchrones au-dessus de l'équateur, ne peuvent pas faire. D'autre part, leur faible altitude leur permet de communiquer avec des stations au sol de très faibles puissances ou équipées d'antennes de petites dimensions[4], d'où un regain d'intérêt appuyé pour ce type de satellites permettant d'établir des communications avec les mobiles et les stations portables.

La fin du dernier siècle a été marquée par les constellations satellitaires qui ont eu leur heure de gloire [5]. En effet durant cette décade plusieurs réseaux commerciaux de

constellation satellitaire ont été construits et mis en œuvre; Iridium 1998, Global star 1998, et Teledesic 2002[6] [7] [8].

Le problème le plus important dans la conception de ces systèmes est d'établir la meilleure technique de routage de communications qui maintiendra un niveau raisonnable de la qualité de service.

Toutefois ces systèmes rencontrent un problème de première importance. En effet, la géométrie d'une telle constellation est dynamique avec des liaisons de courte durée étant donné que les satellites se déplacent vite par rapport aux stations terrestres. Pour ne pas bloquer un appel déjà établi, il est nécessaire de basculer d'un satellite (ou d'un faisceau) à un autre, si jamais l'utilisateur quitte la zone de couverture du satellite (du faisceau) qui le servait. Ce basculement plus connu sous le nom de 'handover', est un paramètre essentiel pour assurer une bonne qualité de service [1] [9] [10]. En effet, la probabilité d'un échec handover est un critère commun pour l'évaluation de performances dans les réseaux satellitaires.

S'il existe différents types de handover dans les réseaux MSS LEO (handover entre faisceaux, entre satellites,...*etc.*), le handover entre faisceaux a attiré plus d'intérêt et a été sujet à d'extensives recherches compte tenu de sa grande fréquence. En effet, pour un appel en cours, une requête de handover entre faisceau est prévue chaque minute, et parfois même moins. Ce type de handover est celui que nous abordons dans notre étude.

Du point de vue des abonnés, une terminaison forcée d'un appel en cours est de loin moins désirable que la rejection d'une tentative d'un nouvel appel [6][11]. Par conséquence, en vu d'augmenter la qualité de service cellulaire, plusieurs méthodes donnant la priorité de service aux requêtes handover ont été proposées en littérature [12]-[24]. Ces méthodes ou procédures peuvent être largement réparties en deux groupes selon les deux concepts suivants:

- ✓ Systèmes de handover garanti.
- ✓ Systèmes de priorité garantie pour handover.

Les premiers systèmes garantissent la réussite des requêtes handover et donc fournissent une probabilité nulle d'échec d'une requête handover. Les autres assurent la priorité de service aux requêtes handover par rapport à ceux des nouveaux appels, ce qui

diminue la probabilité d'échec des requêtes handover, et cela aux dépens d'une augmentation, toutefois tolérable, de la probabilité de blocage de nouveaux appels [25] [26].

Dans les systèmes sans ordre de priorité, les requêtes handover sont traitées de la même façon que les nouveaux appels, augmentant ainsi la probabilité de perte d'appel durant une procédure handover.

Dans [27] Maral et *al.* proposent un système de handover garanti "*Guaranteed Handover*" GH, où chaque appel basculé vers une cellule initialise une requête pour réservation d'un canal dans la cellule de transit suivante. Cette stratégie a permis la diminution de la probabilité de blocage d'appels en cours à des valeurs presque nulles, au dépens de la probabilité de blocage de nouveaux appels qui atteint des valeurs trop élevés. Afin d'améliorer l'allocation de ressources, quelques études ont proposé des systèmes GH modifiés, citons : *Elastic Channel Locking* ECL [28], *Time-based Channel Reservation Algorithm* TCRA [29] [30] [31], *Dynamic Doppler-Based Handover Prioritization Technique* DDBHP [32] [33].

Les systèmes assurant la priorité aux requêtes handover se partagent en quatre groupes selon le concept adopté:

- ✓ handover avec canaux de garde: le système réserve un nombre de canaux exclusivement pour les requêtes handover.
- ✓ handover avec mise en file d'attente: le système utilise l'avantage de la zone de chevauchement entre les cellules - dans cette zone l'utilisateur mobile peut être servi par deux cellules -pour mettre, durant une certaine période, les requêtes handover en attente pour un canal libre dans la cellule de transit.
- ✓ handover basé sur réarrangement des canaux: utilisé seulement avec une allocation dynamique des canaux [11], à chaque terminaison d'un appel le système exécute un réarrangement des canaux pour libérer le canal qui deviendra disponible dans le maximum des cellules adjacentes.
- ✓ handover avec canaux de garde et mise en attente: associe les avantages de l'utilisation des canaux de garde et de la mise en attente des handover.

En plus des avantages que les systèmes satellitaires LEO présentent pour les systèmes de télécommunication mobiles universels tel qu'une puissance de transmission relativement

basse et un court délai de transmission [34], un autre avantage tout aussi important de pareils systèmes est le comportement prévisible du mouvement relatif utilisateur mobile UM-satellite. En effet, la vitesse de l'empreinte des satellites sur la terre est de loin supérieure à celles de l'UM et de la rotation de la Terre [35], et donc le mouvement relatif UM-satellite peut être approximé seulement par le mouvement du satellite [11], [26].

Cet avantage permet au système de déterminer différents importants paramètres tels que le temps maximum de mise en file d'attente d'une requête handover et l'instant d'initialisation de la prochaine requête handover suivante pour un appel en cours. Dans les études antérieures présentées dans la littérature, ces paramètres ont été déterminés en considérant que le système estime la position de l'UM au début de l'appel. Cela nécessite qu'un système de positionnement *positioning system* soit intégré au LEO MSS [11] [27] [36] [37] [38].

Nous démontrons dans cette thèse qu'il est possible, même si l'emplacement exact d'un UM est inconnu, de déterminer quelques informations et paramètres importants, et cela en tirant avantage du comportement prévisible du mouvement relatif UM-satellite et de la disposition régulière des cellules du réseau.

En effet, l'orientation et vitesse fixes du mouvement en plus du motif cellulaire régulier, permettent la détermination de différents paramètres et informations en fonction du temps de séjour maximal nécessaire à un UM avec appel en cours pour traverser une cellule, et qui est égal à la période séparant deux initialisations consécutives de requêtes handover.

En se basant sur cette appréciation nous proposons une méthode, *Evaluation Parameters Method* EPM, que nous utilisons ensuite pour introduire deux stratégies de priorité pour requêtes handover[39].

Nous nous intéressons en premier lieu au concept de mise en file d'attente des requêtes handover, et plus précisément à la stratégie de mise en file d'attente *Last Useful Instant* LUI introduite par *E. Del Re et al.* [11]. Cette stratégie est considérée comme idéale étant donné qu'elle est basée sur une estimation exacte de la période maximale qu'un appel peut passer dans la zone de chevauchement, et donc en attente pour un canal libre. Comparé avec la stratégie de mise en attente la plus commune *First In First Out* FIFO [1], [40] [41], LUI assure une grande capacité de système puisqu'elle sert toujours la requête handover la plus urgente. Toutefois, elle (LUI) nécessite une mise en œuvre plus compliquée. En effet, un

système de positionnement "*positioning system*" est nécessaire afin d'estimer la position de l'UM initialisant un appel et de le suivre tant que l'appel est en cours [11], [27], [38].

Afin de parvenir à un compromis entre ces deux stratégies, nous proposons ici une nouvelle stratégie de mise en attente combinant la simplicité de mise en œuvre de FIFO et l'efficacité de LUI. Cette stratégie appelée Pseudo-LUI est essentiellement basée sur la méthode EPM que nous proposons dans cette étude [42].

Nous nous intéressons ensuite au concept de priorité affectant des canaux de garde pour requêtes handover, et plus précisément à la stratégie *Dynamic Channel Reservation* DCR qui a été proposé par Z. Wang et al. [36], où le nombre de canaux de garde est dynamiquement calculé par le paramètre système *Channel Number Reservation* CNR donné en fonction de plusieurs paramètres concernant les UM avec appel en cours, dont la position et le temps de séjour maximal dans la cellule, cela également nécessite un système de positionnement pour traquer les UM avec appel en cours.

En se basant sur la méthode EPM et la stratégie DCR, la stratégie que nous proposons DCR-like [43] est une combinaison du mécanisme *locking-channel mechanism* [27] et de la stratégie DCR.

Nous abordons aussi dans notre étude un autre aspect du problème handover: les appels de courtes durées perdus à cause d'un échec de la procédure handover. En effet, à cause de la grande mobilité dans les systèmes LEO MSS, des appels en cours sont interrompus après une courte durée de leurs initialisations. Pour remédier à cela, Nous proposons un système de décision *Rescuing System* RS qui permet d'éviter à ces appels une fin prématurée aux dépens de ceux ayant une durée relativement longue.

Nous présentons dans le premier chapitre les réseaux satellitaires, leurs caractéristiques, leurs avantages, et les différents types de procédures handover qu'ils rencontrent. Dans le deuxième chapitre nous exposons l'historique de la théorie des files d'attente et du télétrafic qui sont les outils de bases pour l'étude de performance des systèmes de communications téléphoniques.

Nous exposons ensuite dans le troisième chapitre les stratégies d'affectations des canaux, quelques stratégies de managements des requêtes handover, et le modèle de mobilité adopté dans notre étude.

Nous proposons dans le quatrième chapitre une nouvelle méthode d'évaluation d'importants paramètres EPM, que nous utilisons ensuite pour introduire deux nouvelles stratégies de priorité handover *Pseudo-LUI* et *DCR-like* basées respectivement sur les stratégies LUI et DCR.

Dans le cinquième chapitre, une étude théorique de différentes stratégies de priorité handover est développée, notamment pour les stratégies proposées.

Le système RS est présenté dans le sixième chapitre. Le dernier chapitre est réservé aux résultats obtenus pour les différentes stratégies, et leurs discussions.

CHAPITRE I

Fondements des réseaux satellites

I.1 Introduction

I.2 Orbites pour la satellisation.

I.3 Délai, variation de délai et couverture

I.4 Trajectoires orbitales

I.5 Caractéristiques des systèmes cellulaires satellites

I.6 Avantages des systèmes LEO

I.7 Handover dans les réseaux satellites LEO

I. 1 Introduction

Fondamentalement, les réseaux satellitaires se démarquent par l'utilisation du satellite, ils ont été conçus dans le but d'assurer une couverture globale de la Terre, et de fournir différents services de transmission de la voix, de messages courts, de localisation géographique (type GPS), etc. Ces réseaux permettent aussi, l'établissement de communication entre deux points éloignés se trouvant n'importe où sur Terre. Cependant, construire un réseau demande toujours de nombreuses précautions, et plus particulièrement des spécifications bien précises en matière de performance. Ces spécificités sont établies, en théorie, à l'issue d'une étude de marché qui prévoit les différents usages du système. Il serait bien naïf de penser, cependant, qu'une telle étude prévoit exactement les besoins futurs des utilisateurs.

L'état du marché peut évoluer très vite, si bien que telle ou telle propriété, négligée à la conception du réseau, peut devenir le facteur déterminant pour devancer la concurrence, et dans ce cas le réseau doit impérativement suivre cette évolution.

À titre d'exemple, prenons les réseaux mobiles terrestres qui ont vu de nombreuses évolutions d'infrastructure. Dans un premier temps les opérateurs se sont attachés à couvrir une superficie aussi grande que possible du territoire habité. Mais l'explosion du marché les a amenés à recentrer leurs efforts sur des régions déjà largement couvertes pour des raisons de capacité : dans certains cas, une station n'arrivait plus à satisfaire la demande qui émergeait dans la zone qu'elle couvrait, zone appelée *cellule*. On a donc cherché à subdiviser les cellules surchargées en cellules plus petites et associées à des stations moins puissantes (donc moins *bruyantes*), pour permettre la réutilisation des canaux radio.

Cette idée d'utilisation de cellules plus nombreuses, plus petites et moins puissantes a son pendant dans les réseaux satellitaires. Pour augmenter la capacité d'un système, on peut *rapprocher* les satellites de la Terre et ainsi leur donner une meilleure acuité pour différencier les terminaux terrestres, comme l'illustre la Figure I-1: pour couvrir une surface d'air équivalente, un satellite éloigné devra utiliser un faisceau nettement plus précis qu'un satellite proche.

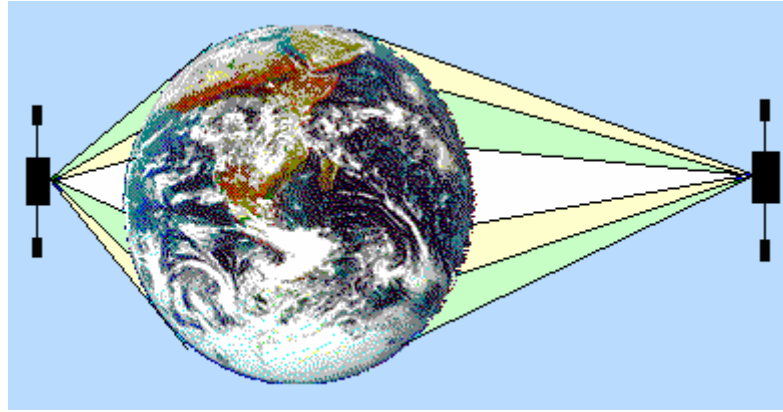


Figure I-1 Réutilisation des fréquences par des satellites d'altitudes différentes.

Dans un premier temps, ce chapitre présente les endroits où il est possible de placer un satellite de télécommunications dans les environs de la Terre. Nous verrons ensuite comment plusieurs satellites peuvent travailler ensemble pour assurer une couverture mondiale. Nous aborderons également les questions de délai de traversée du réseau liées aux choix des emplacements, et nous étudierons concrètement les grandes catégories de réseaux satellitaires qui en résultent. Nous exposons par la suite les caractéristiques des réseaux cellulaires satellitaires. Enfin, nous présentons les avantages des systèmes LEO et introduisons le problème handover dans les réseaux satellitaires LEO.

I. 2 Orbites pour la satellisation

Une orbite est la trajectoire idéale que suit le satellite en l'absence de perturbations. Il existe de multiples possibilités d'orbites pour un satellite. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la trajectoire sans propulsion d'un appareil autour de la Terre ne dépend pas du tout de son poids. Cependant, elle est conditionnée par des règles précises, que nous décrivons ici. Avant tout, il est utile de rappeler quelques propriétés de base de l'ellipse.

I.2.1 Caractéristiques d'une ellipse

Nous nous plaçons ici dans le plan muni d'un repère orthonormé (O, \vec{i}, \vec{j}) . Etant données deux constantes réelles positives a et b avec $a > b$, l'ellipse ξ centrée en O de demi axe principal a et de demi petit axe b est l'ensemble des points $P(x, y)$ qui vérifient l'équation :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad \text{I-1}$$

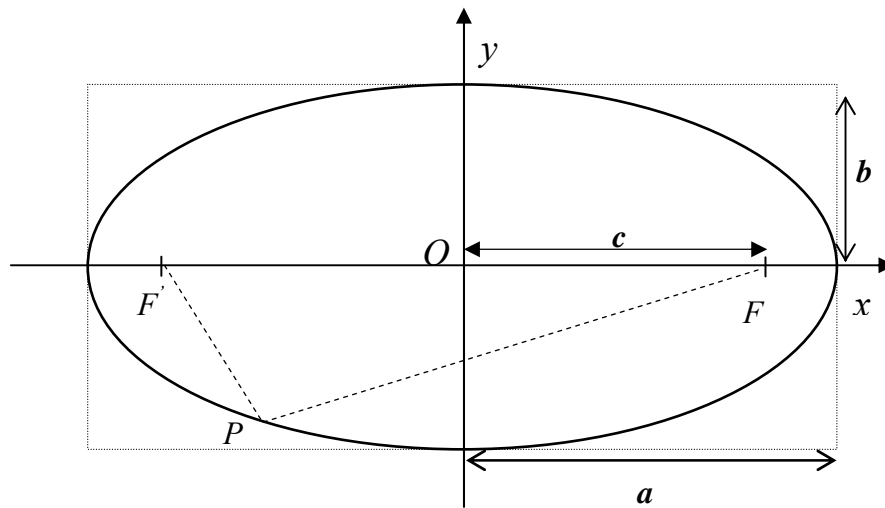


Figure I-2 Quelques propriétés de l'ellipse

Il existe une forme paramétrique simple de l'ellipse ; elle peut être formulée comme suit :

$$\varepsilon = \left\{ P(x, y) \text{ avec } \begin{cases} x = a \cos(k) \\ y = b \sin(k) \end{cases} \right\} \quad \text{avec } k \in \mathbb{R} \quad \text{I-2}$$

Sur la **Figure I-2**, différents paramètres sont représentés. On voit apparaître les deux foyers de l'ellipse à savoir les points $F(c, 0)$ et $F'(-c, 0)$ avec $c = \sqrt{a^2 - b^2}$. L'excentricité de l'ellipse est alors définie par $e = c / a$. Pour tout point P de ξ , la relation suivante est vérifiée :

$$PF + PF' = 2a$$

I.2.2 Les lois de Kepler

Les paramètres qui servent aujourd'hui à décrire les orbites satellitaires sont inspirés des travaux de Kepler (1571-1630) [44].

Ces lois décrivent la manière dont les planètes évoluent autour du soleil ; elles caractérisent les paramètres suivants :

- *L'orbite des planètes*, c'est à dire la trajectoire qu'elles suivent au cours du temps.
- *La vitesse instantanée* de parcours de chaque orbite par la planète associée.
- *La période orbitale* d'une planète, qui est le temps total qu'elle met à décrire son orbite.

Ces lois peuvent se résumer comme suit :

1. L'orbite de chaque planète est une ellipse dont le Soleil est un des foyers.

2. L'aire balayée par un rayon Soleil- planète au cours d'une unité de temps est constante.
3. Le carré de la période orbitale d'une planète est proportionnel au cube de l'axe principal de son orbite.

Ces lois s'appliquent en fait à tout système où un corps céleste de masse importante (le soleil), appelé *élément primaire*, régit le mouvement de corps de masses négligeables par rapport au premier (les planètes), appelés *éléments secondaires*. En particulier, elles servent aussi à décrire le mouvement des satellites (*éléments secondaires*) autour de la Terre (*élément primaire* dans ce cas).

Il est utile de resituer ces orbites par rapport au mouvement terrestre autour du soleil. Sept paramètres, souvent désignés comme *paramètres képlériens*, permettent de caractériser le mouvement d'un satellite.

I.2.3 Paramètres orbitaux des satellites terrestres

Prenons comme repère $(Oxyz)$, où O est le centre de la Terre, Oz son axe de rotation, (Oxy) son plan équatorial, en prenant la direction de (Ox) comme l'intersection du plan équatorial avec le plan écliptique (plan de rotation de la Terre autour du soleil).

Pour un satellite en orbite, plusieurs points sont remarquables (Figure I-3) :

- L'apogée A , point où le satellite est le plus loin de la Terre.
- Le périégée P , point où le satellite est le plus proche de la Terre.
- Les nœuds N et N' , points où le satellite traverse le plan équatorial. En N , le satellite passe au-dessus du plan équatorial et en N' il repasse au-dessous.

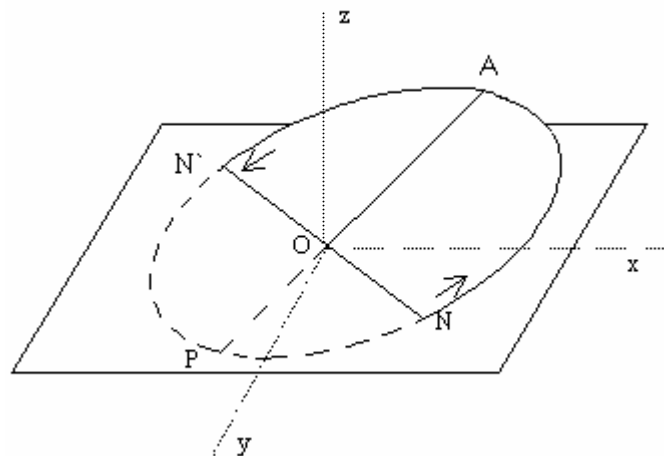


Figure I-3 Points remarquables d'une orbite d'un satellite de la Terre

Le mouvement du satellite peut être décrit à l'aide des sept paramètres suivants :

Description de l'orbite

L'orbite est une ellipse donnée par :

1. Le demi - axe principal a , moitié de la longueur de l'axe principal.
2. L'excentricité e . Lorsque $e=0$, l'orbite est qualifiée de circulaire, et dans le cas contraire d'elliptique.

Position de l'orbite par rapport à la Terre

Les paramètres qui caractérisent la position de l'ellipse sont :

3. *L'inclinaison i* définie comme l'angle entre le plan de l'orbite et le plan équatorial, qui est aussi l'angle entre la normale à l'orbite et l'axe de rotation de la Terre. Par convention, l'inclinaison est comprise entre 0° et 90° lorsque le satellite tourne dans le même sens de la Terre, et entre 90° et 180° lorsqu'il tourne dans le sens contraire.

4. *L'argument du périégée*, qui est l'angle (ON, OP) .

5. *L'ascension droite du nœud ascendant (Ω)* , qui est en fait simplement l'angle (Ox, ON)

Position du satellite sur orbite

Maintenant que l'orbite est définie, il s'agit de préciser où se situe le satellite sur celle-ci. Pour cela, il faut spécifier une date d'observation, et un lieu sur l'orbite.

6. *La date d'observation t* est l'instant où le satellite est observé.

7. *L'anomalie moyenne M* est l'angle que le satellite fait avec le périégée. L'angle est orienté par le sens que l'on a donné à l'orbite (d'où la subtile différence entre N et N').

1.2.4 Perturbations des orbites

Les orbites décrites précédemment sont des orbites parfaites. En réalité deux types de perturbations sont à prendre en considération :

- *Les perturbations gravitationnelles* ne font intervenir que les forces de gravitations, mais à cause d'éléments, qui ne sont pas pris en compte par le modèle précédent. Les lois de Kepler reviennent en effet à considérer que chaque planète est un point de volume nul. En réalité, la Terre a un volume qui n'est pas négligeable surtout lorsqu'on se rapproche d'elle

(satellites à orbite basse.).Interviennent également les marées, la lune, le soleil. Ces forces dérivant d'un potentiel, elles ne traduisent pas une perte ou un gain d'énergie du satellite. Cependant, la déviation qu'elles font subir à la trajectoire Képlérienne du satellite n'est pas toujours souhaitable.

- *Les perturbations non gravitationnelles* contiennent notamment le frottement atmosphérique, la pression des radiations d'origine solaire (directe et indirecte) ou autre (en particulier dans l'infrarouge.)

I.2.5 Maintien et survie sur une orbite

La Terre contient des champs magnétiques importants, ce qui a des répercussions sur son voisinage. Plus précisément, certaines zones au-delà de la surface terrestre présentent des radiations suffisamment importantes pour endommager les composants électroniques qui les franchissent.

Deux tores de niveau d'énergie, appelées *ceintures de Van Allen*, entourent la Terre au niveau de l'équateur. Ces ceintures présentent des radiations intenses et très dangereuses pour les équipements électroniques à bords d'un satellite. La ceinture intérieure affecte surtout les altitudes entre *1 500 km* et *5 000 km*, et la ceinture extérieure affecte ceux comprises entre *13 000 km* et *20 000 km*.

On distingue quatre régions principales de mise en orbite des satellites :

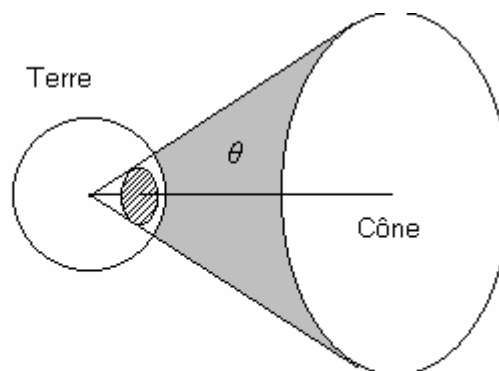
- On distingue La zone LEO (*Low Earth Orbit*), entre la fin de l'atmosphère et la première ceinture de Van Allen, de *400 km* à *1 500 km* d'altitude ;
- La zone MEO (*Medium Earth Orbit*), entre les deux ceintures de Van Allen de *5 000 km* à *13 000 km* d'altitude ;
- La zone HEO (*High Earth Orbit*), dont l'apogée est au-delà des ceintures de Van Allen, mais qui, dans le cadre des orbites elliptique embrasse une ou plusieurs zones précédentes.
- La zone GEO (*Geostationary Earth Orbit*), qui pourrait se voir comme un cas particulier de HEO, pour les satellites géostationnaires, à une altitude de *35 786 km*.

I. 3 Délai, variation de délai et couverture

Un reproche régulièrement fait aux satellites géostationnaires est leur délai de transmission. Ce délai correspond au temps de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide avec une vitesse qui est, avec une bonne approximation, égale à la vitesse de la lumière dans le vide ($300\,000\text{ km/s}$). Ainsi, un aller retour vers un satellite géostationnaire prend environ 240 ms . C'est pour cela que l'une des motivations essentielles des satellites à orbite basse est de réduire les délais de communications introduits par les anciens systèmes. Cependant, alors que les délais des satellites géostationnaires correspondent, de manière quasi- uniforme, au parcours des quelques $35\,800$ kilomètres qui les séparent de la Terre, le schéma devient moins uniforme lorsque le satellite voit la Terre avec un grand angle d'une part, et lorsque son mouvement n'est plus synchronisé avec la rotation de la Terre sur elle-même d'autre part.

I.3.1 Données géométriques

Le point de la surface terrestre le plus proche pour la communication radio avec un satellite est celui qui se trouve exactement à sa verticale. Partant de ce point sur la surface terrestre par cercles concentriques, la réception se dégrade au fur et à mesure que l'on s'éloigne du satellite. En effet, étant donnée l'altitude minimale à laquelle les satellites évoluent (au bas mot, donc, 200 km), le relief de notre planète peut être considéré comme inexistant. La zone de couverture finale est alors décrite comme un disque sur la surface terrestre, ce disque porte le nom d'empreinte (*footprint*) du satellite. Il serait possible d'en donner le rayon ; toutefois un paramètre plus important est en fait le rayon de son angle solide de couverture, comme l'illustre la **Figure I-4**. L'angle solide est donc le cône centré sur le centre de la Terre, d'axe passant par le satellite, et dont l'angle d'ouverture est θ .



Zone hachurée :
Intersection de la surface
terrestre et du cône

Figure I-4 Angle solide de couverture.

En effet, la zone de couverture peut être vue comme l'intersection d'un cône circulaire partant du centre de la Terre et de sa surface. Connaissant la verticale du satellite, et ainsi l'axe du cône, il suffit de connaître son angle θ pour le caractériser. Cette notion a l'avantage d'être duale :

1. Tous les utilisateurs couverts par un satellite de couverture θ sont à l'intersection de la surface terrestre et du cône centré sur la Terre d'angle θ dont l'axe passe par le satellite.

2. Tous les satellites de couverture θ couvrant un utilisateur sont contenus dans le cône centré sur la Terre d'angle θ dont l'axe passe par l'utilisateur.

Un élément essentiel pour la caractérisation de la couverture est l'angle d'élévation ω avec lequel l'utilisateur peut voir le satellite. En effet, si le récepteur est au beau milieu d'une zone désertique et sans relief, il lui est possible de capter tous les signaux provenant du demi-sphère qui est au-dessus de sa tête. Si on considère le plan P tangent à la surface terrestre au niveau du récepteur, ce dernier reçoit les signaux du demi-espace de frontière P qui ne contient pas la Terre. Cependant la présence du relief masque dans la majorité des cas au moins une partie de cet espace. En effet, un satellite situé trop proche de l'horizon est à la merci du moindre obstacle qui pourrait s'interposer : montagnes, collines, immeubles, arbres, etc. Pour combattre cela, il s'agit en quelque sorte de *lever* la ligne d'horizon pour voir des satellites plus *verticaux*.

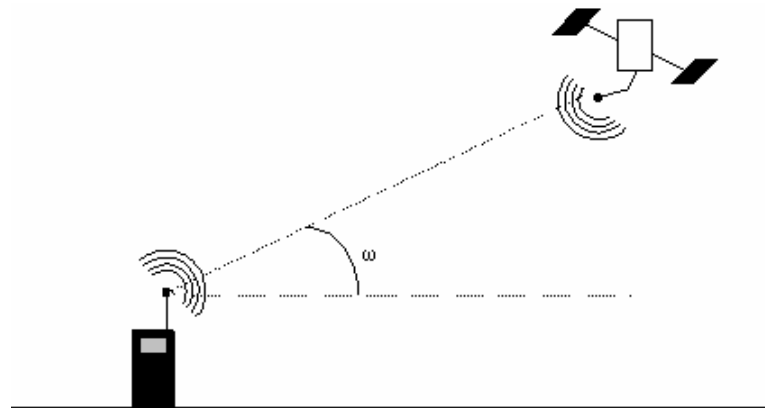


Figure I-5 Angle d'élévation.

La **Figure I-6** nous montre comment est ainsi mesuré l'angle minimal ω avec lequel on peut voir un satellite.

Connaissant l'altitude h d'un satellite et l'angle d'élévation ω avec lequel on désire qu'il

soit visible, il est facile de déterminer l'angle de couverture θ (**Figure I-6**). Ces différents paramètres sont en effet liés par l'équation [45]:

$$h = R_T (\cos \theta (1 + \tan \theta \tan(\theta + \omega)) - 1) \quad \text{I-3}$$

Où R_T représente le rayon terrestre. On notera que cette équation s'écrit aussi :

$$\frac{h + R_T}{R_T} = \frac{\cos \omega}{\cos(\theta + \omega)} \quad \text{I-4}$$

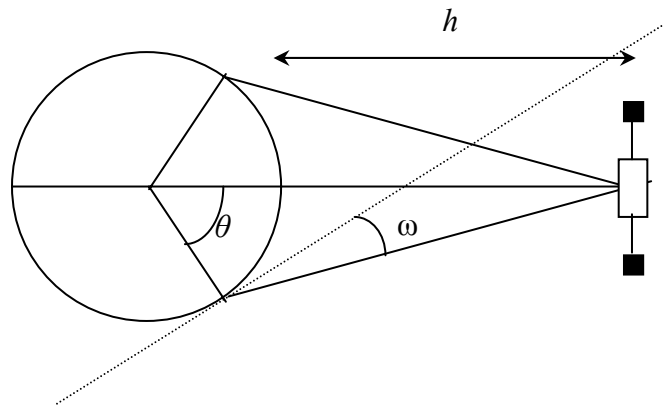


Figure I-6 Relation entre θ , ω et h .

I.3.2 Approximation de la couverture

L'aire couverte par un satellite de couverture θ a une superficie de $2\pi(1 - \cos \theta)R_T^2$ [45], [46]. La superficie terrestre totale étant de $4\pi R_T^2$, il faut au moins $2/(1 - \cos \theta)$ satellites pour couvrir complètement la Terre.

Cependant cette borne est difficile à atteindre. En fait, chaque satellite couvre un disque et les disques doivent nécessairement se recouper. Même en supposant les satellites immobiles, trouver le nombre minimal de disques nécessaires à la couverture d'une sphère est un problème mathématique qui, aujourd'hui encore, n'est pas complètement résolu [47]. Une approximation

plus fine de notre problème [45], valable en particulier quand le nombre de satellites devient grand, consiste à considérer que les cellules couvertes par les satellites sont en fait hexagonales. Or l'aire d'un hexagone fait un ratio de $0,827$ environ avec l'aire contenue dans son cercle circonscrit. Cela revient à dire qu'il faudrait rajouter approximativement 21% de satellites au nombre minimum.

La couverture doit par ailleurs tenir compte du mouvement du satellite. En effet lorsqu'un service veut être permanent, disons au minimum sur une zone donnée, il doit soit être assuré par un satellite géostationnaire, soit disposer d'une famille de satellites, on parle alors de *constellation* qui assure globalement le service. Dans ce cas, le mouvement des satellites entraîne par ailleurs un changement continu de satellite couvrant, même pour un utilisateur immobile.

I.3.3 Intervalle de temps entre deux transferts inter satellitaires successifs

Un transfert satellitaire est le passage d'un utilisateur en cours de communication d'un satellite à un autre.

Si un utilisateur frôle juste la zone de couverture d'un satellite son temps de couverture par ce dernier sera très restreint. En fait, il est possible de remédier à ce problème en introduisant des zones de recouvrement plus importantes entre les satellites voisins, de sorte que les utilisateurs à l'extrême frontière d'un domaine soient couverts par au moins deux satellites. L'intervalle de temps entre deux transferts inter satellitaire équivaut au temps maximum au cours duquel un même satellite pourra s'occuper d'un utilisateur.

I.3.4 Délai et variation de délai

Les liaisons entre utilisateurs sont souvent prises avec des voies de retour. En particulier, pour les communications téléphoniques, la conversation entre un individu A et un individu B est faite de deux liaisons, $A-B$ et $B-A$. Ainsi, si un délai d_1 (respectivement d_2) est nécessaire pour qu'un utilisateur terrestre A (respectivement B) atteigne un satellite, le temps de retard dû au réseau et perçu par A lorsqu'il pose une question à B est de $2(d_1 + d_2)$ (**Figure I-7**). D'une manière générale, le temps de réponse additionnel perçu est de deux fois le temps de traversée du réseau. On peut considérer, avec une bonne approximation, que le délai est proportionnel à la distance, les ondes radio se déplaçant, y compris dans l'atmosphère, à une vitesse proche de la célérité de la lumière dans le vide. Ainsi le délai de transaction via un satellite géostationnaire est au minimum de $\frac{4 \times 35\,800}{300\,000} = 0,477$ s.

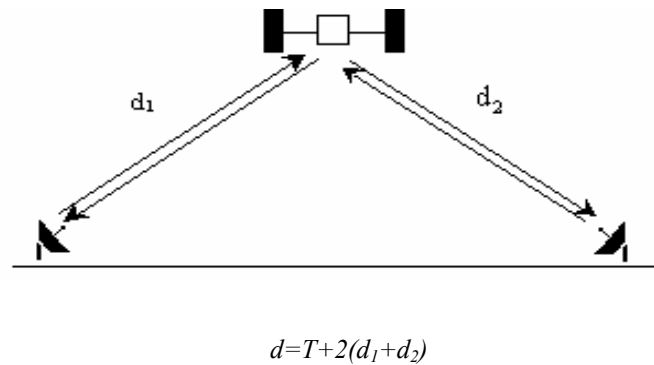


Figure I-7 Temps de réponse (d) perçu via un satellite avec un temps de traitement T .

Les satellites à orbite basse ont un comportement différent des autres catégories. En effet leur délai est très faible, et varie rapidement, contrairement aux satellites MEO et GEO pour qui ce délai est assez important, avec une faible variation. Incontestablement, les LEO permettent de franchir sous ce rapport de nouvelles frontières en matière d'applications. Certaines d'entre elles, cependant, supportent mal les variations de délai perçu, quitte à retarder l'information reçue de manière précoce.

I. 4 Trajectoires orbitales [8]

Nous avons vu dans le paragraphe précédant les critères nécessaires à l'établissement d'une communication, mais ces critères restent locaux et ne peuvent donner un point de vue satisfaisant. En effet, en plus de l'établissement de la communication, il faut aussi assurer un service permanent dont l'étendue englobe la planète entière. C'est pour cela qu'il existe d'autres éléments tout aussi importants à prendre en considération ; comme les contraintes spécifiques de liens avec la Terre, de mise en réseau, et même de cohabitation avec des systèmes concurrents. Parmi ces éléments, nous pouvons prendre en compte :

- Le *synchronisme* des trajectoires des satellites avec la rotation de la Terre sur elle-même ; il est en effet souhaitable que le satellite se maintienne à la même position pour un observateur terrestre (c'est le cas des satellites géostationnaires), ou qu'il se retrouve périodiquement à la même place dans la journée.
- Le *délai de transmission Terre- satellite*, il conditionne la latence du réseau (i.e. la durée de transmission de bout en bout).
- L'*angle de pénétration* de l'atmosphère terrestre qui correspond à l'angle d'élévation.

- La taille des *cellules de couverture*, plus les cellules sont petites, plus la réutilisation des fréquences radio est plus importante, et plus le nombre maximum d'utilisateurs augmente.
- L'*aire totale de couverture d'un satellite* (qui peut contenir plusieurs cellules), ce qui affecte la fréquence des transferts inter- satellitaires, ainsi que le nombre de satellites nécessaires à couvrir une zone donnée.
- Le *nombre des satellites nécessaires*, en particulier pour assurer la couverture planétaire pour un service.
- La *puissance de transmission requise*, la puissance pouvant être utilisée pour augmenter la quantité d'information transmise, ou encore pour améliorer la portabilité des antennes de réception (téléphones mobiles).

Examinons plus en détail les caractéristiques de chacun des systèmes.

I.4.1 Systèmes de type GEO

Ces systèmes ont un délai de transmission de $0,27 s$, ce qui est très élevé. Ils gardent une position fixe au-dessus de l'équateur. Leur altitude importante leur permet de couvrir une large partie du globe. En effet, trois satellites géostationnaires suffisent pour une couverture presque totale de la surface terrestre.

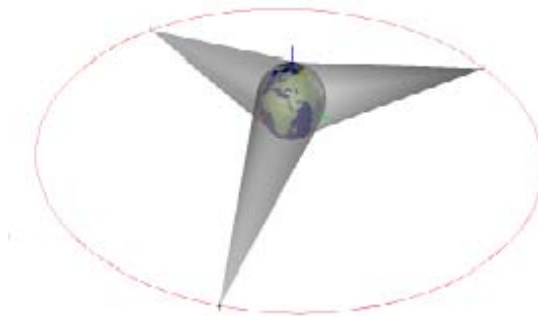


Figure I-8 Système GEO, constellation de 3 satellites.

Cependant, ces systèmes posent des problèmes importants de couverture. En effet, il leur est impossible, pour des raisons de simple visibilité, de couvrir les pôles ainsi que toute position qui a une latitude de plus de 81° . De surcroît, l'angle de pénétration dans l'atmosphère rend, en pratique, les liaisons de télécommunications difficiles au-delà de 75° . Cependant, même à des latitudes comprises entre 45° et 75° , l'angle du satellite est petit et pose des difficultés dès que le

relief n'est pas plat. Ainsi, de graves problèmes de blocage peuvent apparaître à cause des grands immeubles dans les zones urbaines.

Il serait possible de remédier à ce défaut en utilisant des orbites légèrement inclinées se relayant les unes aux autres. Les trajectoires des satellites se présentent alors sous la forme d'un *huit* décrit quotidiennement. Il s'agit de trajectoires géosynchrones non géostationnaires.

I.4.2 Systèmes elliptiques

Dans un certain sens, les systèmes elliptiques remédient aux problèmes de blocage que présentent les GEO dans les latitudes élevées. L'inclinaison de $63,4^\circ$ de leurs orbites leur permet en effet de se positionner bien au-dessus de l'équateur. La vitesse angulaire du satellite sur son orbite elliptique est inversement proportionnelle au carré de sa distance par rapport au centre de la Terre (Deuxième loi de Kepler) Ainsi donc :

❖ *Au périégée* le satellite se déplace très rapidement par rapport à la Terre, plus vite même qu'un satellite à orbite circulaire situé au même endroit à cet instant ;

❖ *A l'apogée* le satellite évolue très lentement par rapport à la Terre, à une vitesse inférieure à celle d'un satellite à orbite circulaire situé au même endroit à cet instant.

Les satellites à orbite elliptique présentent un meilleur centrage de l'empreinte sur le Nord, et des possibilités de réglage plus fines (de couverture, de synchronisation). En revanche, ils franchissent régulièrement les ceintures de *Van Allen*, ce qui réduit considérablement leur espérance de vie.

Cependant, tant les systèmes elliptiques que géostationnaires présentent en général des distances très importantes avec la Terre, ce qui a des conséquences importantes sur les délais et l'affaiblissement du signal. Ce fait a poussé les concepteurs des systèmes de transmission à se tourner vers d'autres solutions.

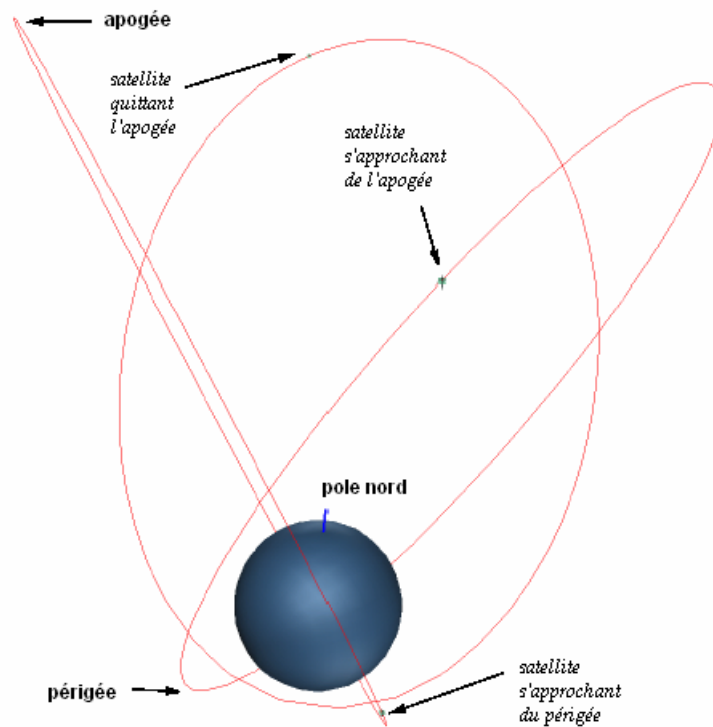


Figure I-9 Système elliptique constellation LOOPUS

I.4.3 Systèmes de type MEO

Ces systèmes offrent un délai de transmission inférieur de celui de leurs homologues géostationnaires ($110-130\text{ ms}$ à environ $13\ 000\text{ km}$ d'altitude.). La plus part des constellations MEO prévoient une dizaine de satellite pour assurer une couverture mondiale. Certains systèmes utilisent uniquement une orbite à inclinaison nulle, auquel cas la couverture est excellente à l'équateur, mais décroît rapidement des que la latitude augmente. D'autres prennent des orbites légèrement inclinées, ce qui demande plus de satellites mais améliore la couverture.

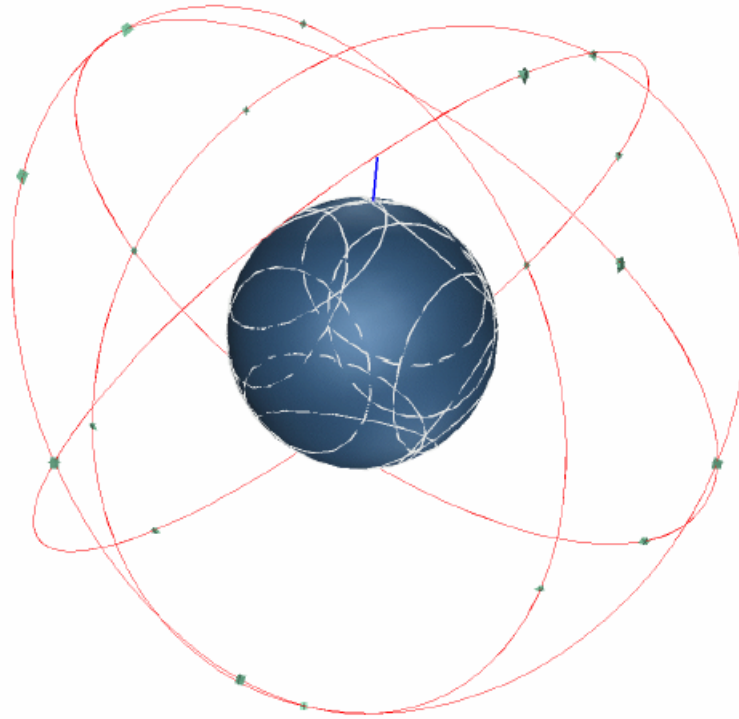


Figure I-10 *Système MEO, constellation Spaceway NGSO.*

I.4.4 Systèmes de type LEO

Pour ces systèmes, le délai de transmission varie autour de $20\text{-}25\text{ ms}$; le temps exact est au moins aussi sensible à l'angle de pénétration des signaux à l'atmosphère qu'à l'altitude précise du satellite. Cependant, les appareils sont tellement proches de la Terre qu'il est nécessaire d'en avoir un grand nombre (au minimum une cinquantaine) pour couvrir la planète, pour des raisons de couverture décrite dans la section précédente. Cette panoplie nécessaire justifie en grande partie le nom de *constellation de satellites* qui leur a été donné. Notons que pour maintenir des zones de couverture cohérentes, il est nécessaire de synchroniser très précisément les mouvements des satellites entre eux.

Deux types principaux de constellation ont été définis par *J.Walker* et dominent les conceptions de constellations de satellites d'aujourd'hui (Figure I-12).

❖ **Les constellations inclinées** (*Delta-constellation* suivant *Walker*.) [48]

Elles présentent des orbites de même inclinaison i , avec des ascensions droites du nœud ascendant Ω , régulièrement espacées sur une plage de 360° . Pour ces constellations, ce sont à la fois les satellites montants et descendants qui assurent la couverture d'une zone. En fonction de l'inclinaison i , leur couverture sera meilleure aux pôles ou à l'équateur.

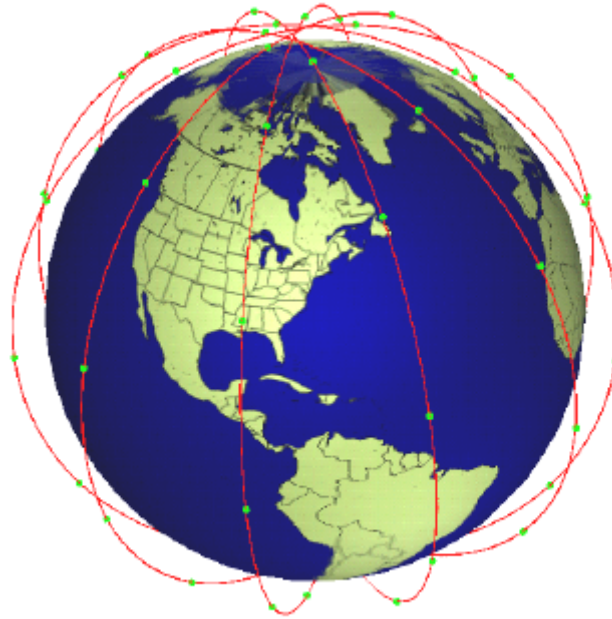


Figure I-11 *Système LEO constellation Iridium*

❖ **Les constellations polaires** (*Star-constellation* par Walker.) [49] [50]

Elles disposent d'une série d'orbites passant à peu près par les pôles de façon à ce que les satellites montants (allant du Sud vers le Nord) couvrent une moitié de la Terre. Les orbites sont toutes de la même inclinaison i proche de 90° et présentent des ascensions droites du nœud ascendant Ω , régulièrement espacées sur une plage de 180° . De ce fait, leur couverture est très dense au pôle, et plus faible à l'équateur. En outre on pourrait dire que d'un côté de la Terre tous les satellites vont du Sud vers le Nord, tandis que de l'autre ils vont du Nord vers le Sud. Par conséquent, les satellites qui sont sur la première orbite circulent en vis-à-vis et dans le sens opposé à ceux qui sont sur la dernière orbite. Ce phénomène, appelé *couture*, pose des difficultés lorsque l'on cherche à établir des communications entre les satellites.



Figure I-12 *Deux types répandus de constellations, vus du pôle.*

I. 5 Caractéristiques des systèmes cellulaires satellitaires

Les systèmes cellulaires satellitaires sont conçus de telle façon que tout utilisateur autorisé, se trouvant n'importe où sur Terre, peut y avoir accès, en utilisant un téléphone portatif ou une unité fixe, et communiquer avec tout autre utilisateur directement, ou à travers un réseau public.

Ces systèmes sont présentés sous forme de constellations de satellites, disposés sur plusieurs plans orbitaux interconnectés, dans une structure *bague* entourant la Terre. Chacun des satellites génère plusieurs faisceaux étroits, pour former des cellules sur la surface terrestre. Ces cellules, contrairement aux cellules des réseaux terrestres qui sont fixes, se déplacent avec le satellite, et balayent la surface de la Terre.

La conception de la constellation d'un système cellulaire satellitaire est telle que les empreintes de couvertures des satellites, symétriquement distribués, chevauchent pour assurer une couverture continue tout au long de la projection orbitale, comme le montre la **Figure I-13**.

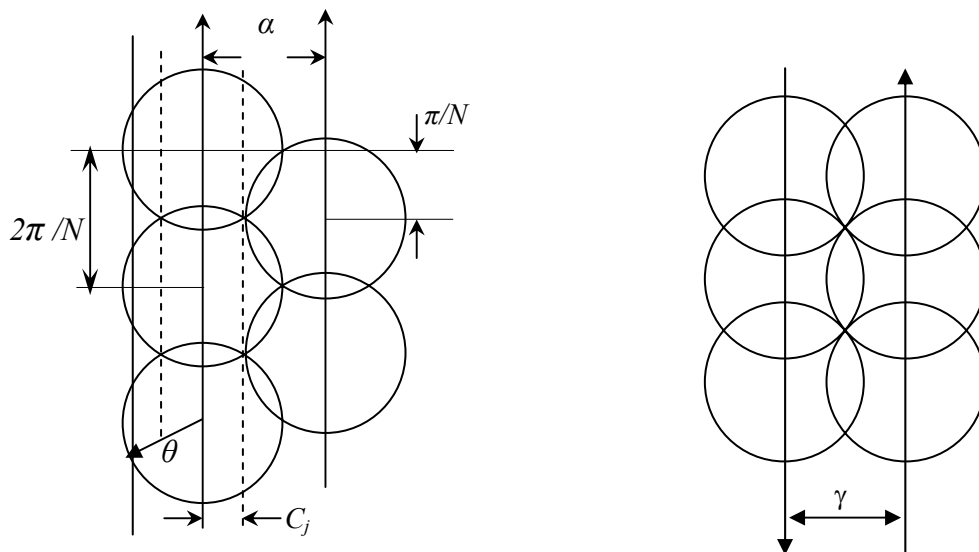


Figure I-13 *Projection de couverture*

θ Rayon de couverture du satellite.

Avec comme demi-largeur de route (*half street width*) :

$$C_j = \text{Cos}^{-1} \left[\frac{\text{Cos } \theta}{\text{Cos } \pi/N} \right]$$

I-5

N est le nombre des satellites sur l'orbite.

L'orientation de cette constellation est déterminée par l'angle de phase ψ séparant les plans des satellites, et la séparation angulaire α_a entre les nœuds ascendants des plans orbitaux successifs. Dans toute constellation, il y a autant de plans orbitaux que d'interfaces de couvertures (interfaces séparant ces plans), et autant de satellites que d'interfaces de couvertures entre les plans des satellites.

Si une constellation de a plan orbitaux est désignée pour $(a-1)$ plan co-rotatifs, l'angle de séparation γ entre le dernier et le premier plan, dans le secteur contra-rotatif sera égal à $2C_j=180-(a-1)\alpha_a$, de telle façon qu'il n'y aura aucun vide, ni aucun silence radio à n'importe quel instant, lorsque les satellites de ces deux plans se déplacent dans des directions opposées.

De même pour les $(a-1)$ plans co-rotatifs, l'angle de phase inter-plan $\psi = \pi/N$, séparant chaque satellite de ses voisins dans les plans adjacents, ne laissera aucun silence radio ou vide aux interfaces de couverture entre les plans.

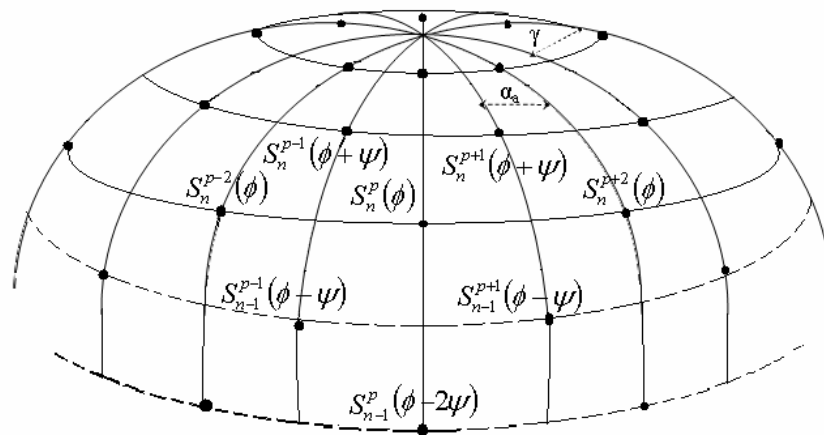


Figure I-14 Hémisphère d'une constellation.

Les caractéristiques communes entre les systèmes satellitaires afin d'assurer des services permanents de communication mobile sont les suivants [44] :

1. 'Pluralité' des orbites co-rotatives et contra-rotatives qui dépendent de la hauteur orbitale.
2. Le nombre des satellites équidistants dans chaque plan orbital.

3. La différence de phase de latitude entre les satellites du secteur co-rotatif est constante et dépend de la hauteur orbitale.
4. L'étendue de la zone de couverture chevauchée de chaque satellite avec les satellites voisins est une fonction de sa position latitude.

Les différences entre les architectures de constellations des différents systèmes satellitaire mondiales, résident essentiellement en l'inclinaison et la hauteur des orbites et en conséquence, dans le nombre des plans orbitaux et des satellites dans chaque plan.

I. 6 Avantages des systèmes LEO

Trois satellites géostationnaires, à 36 000 km au dessus de la Terre, permettent d'assurer une couverture globale. S'ils sont parfaitement appropriés pour la fourniture de services de diffusion (radio, télévision), ils sont mal adaptés aux services interactifs de type multimédia puisqu'une transmission via un satellite géostationnaire (GEO) introduit un retard d'environ 270 ms qui rend difficile les applications temps réel.

Les nouveaux systèmes de constellations en orbites basses (entre 500 et 2000 km d'altitude) évitent l'encombrement grandissant du spectre des fréquences particulièrement sensible sur l'orbite géostationnaire. Les délais introduits par le temps de propagation, inférieurs à 20 ms, sont compatibles avec les protocoles de communication (TCP/IP...) ce qui permet d'assurer la transparence du service par rapport aux réseaux terrestres. De plus, l'altitude faible des satellites rend le bilan de liaison plus favorable et permet la diminution des puissances d'émission, de la taille des satellites (les satellites LEO ont généralement une masse d'environ 500 kg à comparer à celle des satellites GEO de plusieurs tonnes) et de la taille des terminaux (en particulier les antennes).

Les constellations LEO présentent cependant quelques inconvénients. Il faut de nombreux satellites pour assurer une couverture globale (le projet initial du système *Teledesic* allait jusqu'à proposer une constellation de 840 satellites). Les satellites LEO, dits à défilement puisque leur vitesse de rotation est supérieure à celle de la Terre, ne restent en visibilité avec un utilisateur terrestre que quelques minutes ce qui implique de basculer régulièrement la transmission d'un satellite à un autre pour garantir la continuité du service.

I. 7 Handover dans les réseaux satellitaires LEO

Présentant d'importantes caractéristiques tels que: un court délai de la propagation, de faibles revendications de la puissance que ce soit pour le satellite ou l'utilisateur, et une allocation plus effective du spectre de fréquences, les satellites LEO sont considérés comme le noyau des futurs systèmes de communication et de l'information. Cependant, les satellites LEO ne sont pas stationnaires par rapport à un utilisateur fixe sur la surface de la Terre. En effet, la vitesse de l'empreinte du satellite sur la terre est largement supérieure à la vitesse de rotation terrestre et à celle de l'utilisateur. La période de visibilité d'un satellite dans une cellule est très petite, et donc durant une connexion, un utilisateur peut être servi par plusieurs faisceaux et satellites. En conséquence, la liaison sera basculée d'un faisceau (éventuellement d'un satellite) à un autre. Ce basculement est communément connu sous le nom de handover.

De ce fait, Maintenir une communication continue sur un système satellitaire LEO peut exiger le changement d'un ou plusieurs liens ainsi que d'adresses IP des points de fin *endpoints* d'une communication [7] [26]. De ce fait, des handovers de la couche-liaison et de la couche-réseau sont indispensables dans les réseaux satellitaires.

La gestion de mobilité des satellites LEO est donc beaucoup plus défiante que celles des systèmes GEO ou MEO. La mobilité d'un système satellitaire LEO est plutôt similaire à celle des systèmes de la radio cellulaires avec certaines différences. En effet, dans les deux systèmes, la position relative entre les cellules et les terminaux mobiles change de façon continue, exigeant le basculement handover des terminaux mobiles entre cellules adjacentes. Les différences entre la mobilité de ces deux systèmes sont comme suit: dans les systèmes cellulaires, les terminaux mobiles se déplacent à travers les cellules, tandis que dans les systèmes LEO ce sont les cellules qui se déplacent à travers les terminaux mobiles. Les dimensions de la cellule dans les systèmes satellitaires LEO sont plus grandes comparées à celles des systèmes radio cellulaires. De plus, la vitesse d'un terminal mobile peut être ignorée dans les systèmes satellitaires LEO, puisqu'elle est négligeable comparée à la vitesse rotationnelle des satellites LEO. Cependant, contrairement au système cellulaires terrestres où le mouvement des appareils mobiles est difficilement prévisible, dans les systèmes satellitaires LEO il est possible de prévoir le mouvement des satellites, et donc, la prédiction du prochain satellite ou faisceau entretenant est relativement simple. A tout instant nous pouvons obtenir un scénario réel de la constellation satellitaire qui facilite une sélection soigneuse des satellites dans la trajectoire d'une communication entre deux points de fin

endpoints afin d'éviter des handovers inutiles. Les handovers dans les réseaux satellitaires peuvent être largement classés comme suit:

I.7.1 Handover de la couche liaison

Le handover de la couche-liaison se produit quand nous devons changer un lien ou plus entre les points de fins de la communication à cause des modèles de connectivité dynamiques des satellites LEO.

Il existe trois types de handover de couche-liaison:

- ✓ **Handover entre faisceaux** (*Spotbeam handover*): Quand les utilisateurs traversent la limite entre les faisceaux adjacents d'un satellite, un intrasatellite ou handover entre faisceau se produit. Comme la zone de couverture d'un faisceau est relativement petite, les handovers entre faisceaux sont plus fréquents (chaque 1–2 min)[6].
- ✓ **Handover entre satellites** (*Satellite handover*): Quand la connexion établie entre un satellite et le point d'attachement d'un utilisateur est transférée à un autre satellite, un handover intersatellite se produit.
- ✓ **Handover des liens inter satellitaires** (*ISL Handover*): Ce type de handover se produit quand les liens inter satellites *Inter Satellites Links* ISLs interplan seraient éteints dû au changements temporaires de distance et d'angle de visibilité entre les satellites dans les orbites adjacentes. Alors les connexions progressives qui utilisent ces liens ISLs sont déroutées, causant ainsi un handover ISL.

La performance du handover de la couche-liaison peut être évaluée utilisant deux critères classiques de qualité de service (QoS) [51]:

- Probabilité de blocage d'appel (P_{b1}), la probabilité qu'une requête pour un nouvel appel soit bloquée.
- Probabilité de terminaison forcée (P_{b2}), la probabilité d'échec de la procédure handover causant la perte d'un appel en cours.

Il y a un compromis entre P_{b1} et P_{b2} dans les différents systèmes du handover. La priorité peut être donnée par traitements différents des nouveaux appels et des requêtes handover, afin de diminuer le blocage d'un appel en cours à cause d'un échec de la procédure handover [6].

I.7.2 Handover de La couche réseau

Quand un des points de fin de la communication (satellite ou utilisateur) change d'adresse IP à cause d'un changement de la zone de couverture du satellite ou de la mobilité du terminal utilisateur, un handover réseau -ou handover de couche supérieure - est nécessaire afin d'émigrer les liaisons existantes des protocoles de haut niveau (TCP, UDP, SCTP, etc.) à la nouvelle adresse IP. Cela est référencié comme handover réseau ou handover de couche supérieure.

Trois classifications différentes peuvent être utilisées pendant le processus du transfert de l'appel [53]:

- **Systemes *hard-handover***: Dans ces systèmes, la liaison en cours est libérée avant que la prochaine liaison ne soit établie.
- **Systemes *soft-handover***: Dans ces systèmes la liaison en cours ne sera libérée que lorsque la liaison subséquente est établie.
- **Systemes *signaling-diversity***: Ce système est similaire au système précédent *soft handover*, avec l'exception seule que dans ces systèmes le flux signal des liaisons ancienne et nouvelle ainsi que les données de l'utilisateur sont entretenus par l'ancienne liaison pendant la procédure handover [53].

CHAPITRE 2

Introduction au télétrafic

II.1 Introduction

II.2 Théorie et technique du télétrafic

II.3 Concepts de base

II.4 Modèles Erlang B et Erlang C

II.1. Introduction

Les réseaux de communication (téléphone, Internet, réseaux locaux, etc.) ont connu, au cours des dernières décennies, une expansion phénoménale. Pour leurs opérateurs, une question centrale est de savoir contrôler les flux d'information de façon optimale, afin d'éviter tout engorgement et d'offrir aux utilisateurs un service de bonne qualité, fiable et rapide. Or pour concevoir des procédures efficaces de contrôle de la circulation des informations, pour dimensionner correctement les logiciels et les équipements matériels nécessaires, une connaissance approfondie des propriétés du trafic des communications dans de tels réseaux s'impose.

La discussion qui suit éclaire les aspects de la théorie des files d'attente qui sont fondamentaux pour la théorie classique du télétrafic. La grande partie de cette matière est donnée avec plus de détails dans les références [54]-[59], qui traitent les théories de télétrafic et des files d'attentes et les modèles de télétrafic développés depuis les travaux *d'Erlang*.

Nous commençons d'abord par l'historique du télétrafic et de la théorie des files d'attente qui sont la base de la technique du télétrafic, nous exposons ensuite les concepts de bases de la théorie du télétrafic : essentiellement le processus de mort et de naissances et le processus de Poisson, et enfin nous présentons quelques modèles de télétrafic.

II.2 Théorie et technique du télétrafic, *historique*

Le téléphone a été fait breveter en 1876, et le premier comité du commutateur du téléphone commercial est entré en opération en 1878 dans New Haven, Connecticut. Il a consisté en un ensemble d'abonnés qui pouvait être connectés deux à la fois. Le besoin pour une théorie du télétrafic est devenu évident aussitôt que le nombre des abonnés a augmenté à trois!

La première progression considérable dans la théorie du télétrafic est apparue en 1917, quand *A. K. Erlang*, un scientifique, mathématicien et ingénieur danois, qui travaillait pour la *Copenhagen Telephone Company*, a publié un article qui décrivait une méthode et l'utilisait pour dériver quelques formules qui fournissaient la base pour une théorie et une technique du télétrafic moderne.

Plus tard, avec l'invention de la recherche opérationnelle pendant la deuxième guerre mondiale, les méthodes et modèles *d'Erlang* ont été incorporés dans la théorie des files d'attente, et ces deux sujets (théorie des files d'attente, théorie du télétrafic) sont maintenant étroitement reliés. Il y a un énorme intérêt dans la littérature pour ces théories.

II.2.1 Théorie des files d'attente

La théorie des files d'attente est la théorie mathématique des systèmes qui fournissent le service aux clients de temps d'arrivée et de demandes de service aléatoires. Si les serveurs ne sont pas disponibles lors d'arrivées de clients, alors une file d'attente de service est formée, d'où le nom.

Les origines de cette théorie remontent à 1909 à l'époque où *A. K. Erlang* en a posé les bases dans ses recherches sur le trafic téléphonique. Ses travaux ont par la suite été intégrés à la recherche opérationnelle. Malheureusement, les publications sur la théorie des files d'attente ont adopté un langage de plus en plus mathématique, ce qui a freiné l'utilisation de cette théorie. La situation a toutefois changé lorsque on a commencé à appliquer la théorie des files d'attente à l'évaluation des performances. Pour ce type d'applications, il est apparu que même des modèles de files d'attente relativement simples fournissaient des résultats qui correspondaient de près aux observations réelles. On assista alors à une évolution rapide de la théorie des files d'attente qu'on appliqua alors à l'évaluation des performances des systèmes informatiques et aux communications. Grâce à différentes recherches, la théorie des files d'attente est aujourd'hui largement utilisée et ses applications sont multiples.

La théorie traditionnelle se fonde sur les chaînes de Markov, c à d que tout les événements tels que les arrivées, les fins de service, les changements de files d'attente etc., dépendent uniquement de l'état actuel du système et non de son comportement antérieur. Cela simplifie non seulement le traitement mathématique, mais aussi la collecte de données puisque seules les moyennes sont requises, par exemple une moyenne des délais de service, une moyenne des arrivées par unité de temps et ainsi de suite.

II.2.2 Théorie du Télé trafic

L'analyse mathématique du trafic dans les réseaux de communication est une discipline déjà ancienne. Elle remonte à 1917, avec les travaux engagés par l'ingénieur danois *A. K. Erlang*. Sa démarche, poursuivie par beaucoup d'autres chercheurs, a fourni les principaux outils mathématiques de dimensionnement utilisés par les opérateurs et les constructeurs de réseaux, jusqu'aux années 1990 environ.

Dans ses principes, la démarche mathématique explorée par *Erlang* et par d'autres chercheurs et ingénieurs après lui est markovienne. Cela signifie qu'elle décrit le trafic en

s'appuyant sur un modèle simple de processus aléatoires, les chaînes de Markov, pour lesquelles la théorie mathématique est bien avancée et puissante. (*Andreï Markov* 1856-1922 était un mathématicien russe qui a apporté des contributions importantes à la théorie des probabilités).

En simplifiant, une chaîne de Markov est une suite d'événements aléatoires, dans laquelle la probabilité d'un événement donné ne dépend que de l'événement qui précède immédiatement. Dans le cadre des réseaux de communication, la démarche markovienne d'Erlang suppose que les lois statistiques caractérisant le trafic sont des lois de Poisson ; la loi de Poisson est une des lois de probabilité ou de statistique les plus répandues et les plus simples, elle tire son nom du mathématicien français *Denis Poisson* (1781-1840). L'hypothèse poissonnienne s'avérait justifiée pour le trafic téléphonique (où les événements aléatoires sont les appels des abonnés, qui surviennent à des instants aléatoires et dont la durée est également aléatoire).

Ce type de modélisation de trafic a permis de mettre en place des procédures de contrôle adaptées. Jusqu'à une date récente, le contrôle des réseaux de communication était un contrôle d'admission, c'est-à-dire que l'opérateur refuse à l'utilisateur l'accès au réseau lorsque ce dernier ne peut garantir une qualité de service prédéfinie.

II.3 Concepts de base

Prenons comme modèle de base, un système où les appels arrivent à des instants aléatoires, et chaque appel requière l'utilisation d'un canal. Si un canal est disponible, l'appel l'occupe pour une durée aléatoire appelée période d'occupation '*holding time*', mais si aucun des canaux n'est disponible, l'appel bloqué prend quelques actions spécifiques, blocage, nouvelle tentative, ou attente en queue (aux termes de la théorie des files d'attentes, les appels sont les clients, les canaux sont les serveurs, et le temps d'occupation est le temps de service). L'objectif de la théorie du télé trafic est de déterminer des descriptions appropriées du télé trafic aléatoire (une description des propriétés statistiques, ou stochastiques, des temps d'arrivés des appels et des temps d'occupation), et de dériver des formules décrivant la performance du système (exemple : probabilité de blocage, fraction des appels perdus, le temps d'attente moyen, etc..) en fonction de la demande et du nombre des canaux. Cette théorie est ensuite adaptée et appliquée à la conception et gestion des systèmes de télécommunication réels; c'est la technique du télé trafic.

Le concept essentiel de la technique du télé trafic est la nature stochastique de ce dernier, donc les mathématiques utilisées ci dessous sont les probabilités, statistiques, et les processus

stochastiques. Pour cela, nous résumons, aussi brièvement que possible, ces processus mathématiques. Après, nous appliquerons cela pour dériver et comprendre les formules de base de la théorie du télétrafic.

II.3.1 Processus de naissance et de mort

Pour fixer ces concepts, considérons le modèle suivant : Des appels arrivent selon un processus stochastique à un groupe de S canaux identiques. Si un appel arrivant trouve un canal disponible, il l'occupe pour une période d'occupation aléatoire, après laquelle l'appel libère le canal qui devient disponible pour un autre. Si tous les canaux sont occupés, l'appel qui arrive est rejeté, et dans ce cas prend une des actions spécifiques décrites ci dessus.

Supposons que P_j dénote la probabilité que le système est à l'état j , donc P_j est la probabilité que le nombre d'appels présents (en service ou, si le modèle le permet, attendant en queue pour qu'un canal devient disponible) est égal à j , supposons que lorsque le système est à l'état j , le taux des arrivées des appels est λ_j , et le taux de départ d'appel est μ_j . Donc, il est possible de montrer que, sous certaines conditions que doivent satisfaire les processus d'arrivée et de départ, les équations suivantes déterminent les probabilités des états en fonction des taux λ_j , et μ_j :

$$\lambda_j P_j = \mu_{j+1} P_{j+1} \quad (j = 0, 1, 2, \dots) \quad \text{II-1}$$

Et

$$P_0 + P_1 + \dots = 1 \quad \text{II-2}$$

Une solution successive de l'équation (II-1) pour chaque P_j nous donne:

$$P_j = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{j-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_j} P_0 \quad \text{II-3}$$

P_0 est calculée à partir de l'équation de normalisation, équation (II-2):

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0}{\mu_1} + \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\mu_0 \mu_1} + \dots} \quad \text{II-4}$$

Un processus stochastique décrit par l'équation (II-1) est appelé 'processus de mort et naissance'. Les probabilités P_j décrites par (II-1) sont les probabilités des temps moyens; P_j est la fraction de temps que le système passe à l'état j . D'autres probabilités dignes d'intérêt sont les probabilités du nombre moyen des abonnés A_j ; la fraction d'abonnés arrivant au système lorsqu'il est à l'état j . En général, ces deux probabilités ne sont pas égales mais lorsque les clients arrivent selon un processus de Poisson:

$$A_j = P_j \quad (j = 0, 1, \dots) \quad \text{II-5}$$

Cette égalité reflète le théorème PASTA (*Poisson Arrivals See Time Averages*).

II.3.2 Processus de Poisson

Une supposition courante dans la théorie du télétrafic est que les arrivées d'appels suivent un processus de Poisson.

Assumons que le temps est divisé en intervalles de largeurs égales Δt et :

1- qu'il y aura au plus, une arrivée dans chaque intervalle,

2- la probabilité d'une arrivée à un intervalle donné est proportionnelle à Δt ,

3- les intervalles sont statistiquement indépendants les uns des autres.

Mettons que la variable aléatoire x est la période de temps s'étendant de l'instant t_0 (temps 0 sec) jusqu'à l'instant d'arrivée du prochain appel. Calculons la probabilité $P(x > t)$ qu'aucun appel n'arrive durant l'intervalle $[0, t]$. Imaginons que l'intervalle $[0, t]$ est divisé en n intervalles chacun de largeur $\Delta t = t/n$. Si nous dénotons par λ la constante de proportionnalité supposée en 2, donc la probabilité qu'une arrivée se produit dans n'importe quel intervalle Δt est $\lambda \Delta t = \lambda t/n$, et à partir de 3, la probabilité qu'aucune arrivée ne se produira dans les n intervalles de $[0, t]$ est $(1 -$

$\lambda t/n)^n$. Passons maintenant du temps discret au temps continu $\Delta t \rightarrow 0$, et donc $n \rightarrow \infty$, cela nous donne:

$$P(x > t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\lambda t}{n}\right)^n \quad \text{II-6}$$

C'est une limite connue en mathématique, qui est égale à $e^{-\lambda t}$. Désignons par $F_x(t) = P(x \leq t)$ la fonction de distribution de x , donc à partir de (II-6):

$$F_x(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad \text{II-7}$$

Une variable aléatoire avec une fonction de distribution donnée par l'équation (II-7) est dite exponentiellement distribuée de valeur moyenne $E(x) = 1/\lambda$, et le processus décrivant des arrivées avec des intervalles de temps i.i.d (indépendants identiquement distribués) qui leur fonction de distribution est donnée par (II-7) est dit processus de Poisson. La valeur moyenne $E(x)$ est la constante de proportionnalité supposée.

Une propriété importante de toute variable aléatoire exponentiellement distribuée est la propriété de Markov (sans mémoire) exprimée par:

$$P(x > y + t | x > y) = P(x > t) \quad \text{II-8}$$

Dans le contexte du processus mort et naissance décrit par l'équation (II-1), si les arrivées des appels suivent un processus de Poisson de taux λ , alors le taux instantané de naissance λ_j lorsque le système est à l'état j est le même pour tout les états, donc $\lambda_j = \lambda$. De même, on trouve le taux instantané de mort μ_j , en supposant que les durées des appels (donc les périodes de garder un canal) sont des variables aléatoires exponentielles i.i.d avec valeur moyenne $\tau = 1/\mu$, et en appliquons la propriété de la distribution exponentielle qui dit que le minimum d'un groupe de variables indépendantes et exponentiellement distribués est, lui aussi, exponentiellement distribué avec un taux égal à la somme des taux originaux, ce qui nous donne $\mu_j = j \mu$ lorsque nous avons j appels en cours simultanément.

II.4 Modèles Erlang B et Erlang C

Lorsque nous avons un processus d'arrivée de Poisson avec un taux λ et les temps d'occupation sont exponentiels avec une moyenne $1/\mu$, alors les probabilités des états P_j sont

déterminées par l'équation (II-1) avec $\lambda_j = \lambda$ et $\mu_j = j\mu$ lorsque $j \leq S$ et $\mu_j = S\mu$ pour $j > S$. la solution de l'équation (II-3) pour $j \leq S$:

$$P_j = \frac{(\lambda/\mu)^j}{j!} P_0 \quad (j = 0, 1, \dots, S) \quad \text{II-9}$$

II.4.1 Probabilité de blocage et formule d'Erlang B

On s'intéresse ici à un système disposant de S canaux de communications. Si les S canaux sont occupés, les appels qui arrivent alors sont perdus (absence de tonalité ou tonalité d'occupation par exemple). On parle alors de blocage de système *Blocked Calls Cleared BCC*. On va chercher à estimer cette probabilité de blocage en fonction du nombre de canaux disponibles et du trafic. Les nouveaux appels arrivent suivant un processus de Poisson.

Donc, dans ce cas $P_j = 0$ pour tout $j > S$ et donc l'équation (II-2) donne:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^S \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!}} \quad \text{II-10}$$

En remplaçant avec $a = \lambda/\mu$, ce qui représente le trafic offert, nous obtenons:

$$P_j = \frac{\frac{a^j}{j!}}{\sum_{k=0}^S \frac{a^k}{k!}} \quad (j = 0, 1, \dots, S) \quad \text{II-11}$$

Le groupe des probabilités définies par l'équation II-1 est appelé *Erlang loss distribution*, et a été dérivé par *Erlang* en 1917.

En particulier, la probabilité de blocage d'un système disposant de S canaux et pour un trafic a s'écrit alors $B(S, a)$, elle est égale à la probabilité de se trouver dans l'état S , $B(S, a) \equiv P_S$ et elle s'obtient grâce à l'équation suivante :

$$B(S, a) = \frac{a^S}{S! \sum_{k=0}^S \frac{a^k}{k!}} \quad \text{II-12}$$

Cette formule est très importante en télécommunications et elle porte le nom de : formule d'Erlang-B.

Pour ce modèle, le trafic écoulé est donné par:

$$a'_{BCC} = \sum_{j \leq S} jP_j \quad \text{II-13}$$

En substituant l'équation (II-11) dans l'équation (II-13) nous obtenons facilement :

$$a'_{BCC} = a[1 - B(S, a)] \quad \text{II-14}$$

Ceci nous permet de dire que le trafic écoulé égal au produit du trafic offert et de la fraction de ce dernier qui n'est pas perdu, et donc:

$$a'_{BCC} = a - aB(S, a) \quad \text{II-15}$$

Il est difficile de calculer des valeurs numérique pour Erlang-B directement de l'équation (II-12) pour de grandes valeurs de a et S . Toutefois il est facile de démontrer [Annexe 1] que:

$$B(n, a) = \frac{aB(n-1, a)}{n + aB(n-1, a)} \quad (n = 1, 2, \dots, S; B(0, a) = 1) \quad \text{II-16}$$

Et l'utiliser pour écrire un programme. Cet algorithme est stable et rapide.

II.4.2 Probabilité de mise en attente et formule d'Erlang C

Si l'on considère un système pour lequel les appels bloqués peuvent être mis en file d'attente avant d'être servis, on peut alors définir une probabilité d'être mis en attente. Nous supposons dans ce cas aussi que les nouveaux appels arrivent suivant un processus de Poisson.

Avec ce système nous avons toujours

$$\lambda_j = \lambda \quad \text{II-17}$$

Par contre, pour la probabilité de fin d'appel nous avons:

$$\mu_j = \begin{cases} j\mu & (j \leq S) \\ S\mu & (j > S) \end{cases} \quad \text{II-18}$$

En remplaçant λ_j et μ_j dans l'équation (II-3) nous obtenons:

$$P_j = \begin{cases} \frac{a^j}{j!} P_0 & (j = 1, 2, \dots, S-1) \\ \frac{a^S a^{j-S}}{S! S^{j-S}} P_0 & (j = S, S+1, \dots) \end{cases} \quad \text{II-19}$$

P_0 est donnée par :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{s-1} \frac{a^k}{k!} + \sum_{k=S}^{\infty} \frac{a^S}{S!} \frac{a^{k-S}}{S^{k-S}}}$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{s-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^S}{S!} \sum_{k=S}^{\infty} \frac{a^{k-S}}{S^{k-S}}}$$

On peut écrire :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{s-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^s}{S!} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{a}{S}\right)^k}$$

On obtient pour $a/S < 1$:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{s-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^s}{S!(1-a/S)}} \quad (a < S) \quad \text{II-20}$$

Et donc, dans ce cas la probabilité de blocage d'un appel qui est aussi la probabilité de mise en attente est égale à $P_S + P_{S+1} + \dots \equiv C(S, a)$:

$$C(S, a) = \frac{\frac{a^s}{S!(1-a/S)}}{\sum_{k=0}^{s-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^s}{S!(1-a/S)}} \quad (a < S) \quad \text{II-21}$$

Cette formule est aussi très importante et elle porte le nom de : formule *d'Erlang-C*.

Dans ce cas le trafic écoulé est égal à:

$$a_{BCD} = \begin{cases} a & (a < S) \\ S & (a \geq S) \end{cases} \quad \text{II-22}$$

Comme pour la formule d'Erlang B, il est possible de donner une autre formule pour ce cas, il est facile de démontrer [Annexe 1] que:

$$C(S, a) = \frac{SB(S, a)}{S - a[1 - B(S, a)]} \quad (a < S) \quad \text{II-23}$$

CHAPITRE 3

Stratégies d'affectation des canaux et modèle de mobilité

III.1 Introduction

III.2 Techniques d'affectation des canaux

III.3 Handover entre faisceaux et stratégies de priorité

III.4 Modèle de mobilité

III.5 Analyse du modèle de mobilité

III.1 Introduction

Il est très important dans la conception des systèmes satellitaires cellulaires d'établir la meilleure technique de routage de messages qui maintiendra un niveau raisonnable de la qualité du trafic. En effet, la géométrie des constellations de tels réseaux est dynamique avec des liaisons de courte durée étant donné que les satellites se déplacent rapidement par rapport aux stations terrestres. Plusieurs stratégies de gestion de ressources radio ont été développées, et cela pour mieux subvenir aux besoins des utilisateurs des réseaux de communications mobiles, notamment l'affectation des canaux.

Effectivement, d'extensives recherches ont été présentées en littérature concernant l'affectation des canaux dans les systèmes de téléphonie cellulaire, compte tenu du fait de la congestion du spectre de fréquences disponibles. Les techniques les plus répandues sont: l'affectation fixe des canaux (*Fixed Channel Allocation FCA*) et l'affectation dynamique des canaux (*Dynamic Channel Allocation DCA*).

Un autre problème de première importance dans la gestion des ressources dans les systèmes de téléphonie mobile est le handover entre faisceaux. Très fréquent, ce problème a été sujet de plusieurs recherches où différentes stratégies et méthodes pour le management des requêtes handover ont été proposées.

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu les techniques de base d'affectation des canaux. Nous abordons ensuite, les stratégies garantissant la priorité aux requêtes handover.

Une étude qu'elle soit théorique ou par simulation de l'impact d'une affectation des canaux ou d'une stratégie de management des requêtes handover, nécessite une définition du modèle de mobilité du réseau étudié. De ce fait, nous présentons ici le modèle de mobilité adopté dans notre étude dans l'avant dernière section, suivi dans la dernière section d'une analyse de ce modèle.

III.2 Techniques d'affectation des canaux

Plusieurs techniques d'affectation des canaux ont été proposées dans la littérature. Concernant les problèmes d'assignements des fréquences, *Arie Koster* présente dans [61] une étude détaillée et très intéressante sur les algorithmes et modèles mathématiques. Dans la

référence [62] *S. Tekinay* et *B. Jabbari* présentent les trois principales catégories de ces techniques qui sont:

- ✓ Affectation fixe des canaux '*Fixed channel assignement*' FCA.
- ✓ Affectation dynamique des canaux '*Dynamic Chanel Allocation*' DCA.
- ✓ Affectation hybride des canaux.

Comme son nom l'indique cette dernière est une hybride des deux autres, fixe et dynamique qui sont les techniques de base d'assignement des canaux les plus utilisées dans les réseaux de communications mobiles.

Ces techniques doivent satisfaire le critère de réutilisation de fréquence; deux cellules différentes peuvent utiliser un même canal, à condition qu'elles soient à une distance convenable l'une de l'autre, appelée *distance de réutilisation* permettant des niveaux tolérables d'interférence [63].

Une courte description des deux stratégies est donnée ci dessous.

III.2.1 Techniques d'affectation fixe des canaux (FCA)

Avec la technique FCA [11] [25], un ensemble de canaux est assigné en permanence à chaque cellule, en respectant la distance de réutilisation permise. Un appel peut être servi seulement par un canal disponible appartenant à cet ensemble. Si un nouvel appel initialisé dans une cellule ne trouve aucun de ses canaux nominaux libres, l'appel est bloqué et perdu.

Pour des conditions de trafic uniforme, l'ensemble entier des M canaux est réparti en groupes égaux, chacun composé de S canaux [63].

$$S = \frac{M}{K}, \quad \text{avec} \quad K = \frac{D^2}{3R^2} \quad \text{III-1}$$

Dans (III-1), le paramètre K est le nombre de cellules qui forment le motif cellulaire FCA [63], D est la distance de réutilisation de fréquence, et R est le côté de l'hexagone cellulaire. La répétition spatiale de ce groupe assure la couverture du territoire comme dans une mosaïque.

Nous désignerons, dans ce qui suit, par $F_D(x)$ le groupe de canaux assignés à une cellule x selon la technique FCA.

L'utilisation de FCA dans le cas d'un trafic non uniforme exige une planification complexe du réseau afin d'assigner plus de capacité aux cellules où l'on prévoit un trafic plus important. Dans le cas des réseaux de communication par satellite LEO, une telle planification n'a pas de signification puisque le trafic offert à une cellule donnée est imprévisible à cause du mouvement rapide du satellite par rapport à la terre. C'est la raison pour laquelle une solution plus convenable pour les systèmes LEO-MSS est donnée par l'approche DCA, décrite ci-dessous.

III.2.2 Techniques d'affectation dynamique des canaux (DCA)

Un grand nombre de techniques dynamiques d'affectation des canaux ont été développées en littérature [1], [11], [12], [64]-[67]. Nous présentons en particulier l'affectation dynamique présentée par Del Re *et al.* [1] [11].

Une affectation dynamique des canaux DCA (*Dynamic channel allocation*) est un processus automatique d'affectation des canaux de transmission hertziens qui assure le moins d'interférence possible entre les cellules du réseau.

Cette stratégie permet que tout canal du système puisse être temporairement assigné à n'importe quelle cellule, pourvu que la contrainte de la distance de réutilisation soit satisfaite.

Soit x la cellule d'arrivée d'un nouvel appel, $I(x)$ l'ensemble des cellules d'interférence de x (c.-à-d. les cellules se trouvant à une distance inférieure à D de x), et $\Pi(x)$ l'ensemble des canaux disponibles dans x (c.-à-d., les canaux qui ne sont utilisés ni dans x ni dans les cellules appartenant à $I(x)$).

La technique DCA considérée sélectionne le canal, qui doit être affecté au nouvel appel arrivant dans la cellule, selon le critère de charge minimum '*minimum cost*' suivant:

$$C_x(i^*) = \min_{i \in \Pi(x)} \{C_x(i)\} \quad \text{III-2}$$

La fonction d'évaluation de charge '*cost function*' $C_x(i)$ est définie comme suit:

$$C_x(i) = q_x(i) + \sum_{k \in I(x)} \{C_x(k, i)\}, \quad \forall i \in \Pi(x) \quad \text{III-3}$$

Où la contribution de charge du canal $i \in \Pi(x)$ due à la cellule d'interférence $k \in I(x)$, $C_x(k, i)$ est donnée par:

$$C_x(k, i) = u_k(i) + 2(1 - q_k(i)) \quad \forall k \in I(x) \quad \text{III-4}$$

Avec:

$$u_k(i) = \begin{cases} 1, & \text{si } i \in \Pi(k) \\ 0, & \text{ailleurs} \end{cases}$$

$$q_k(i) = \begin{cases} 0, & \text{si } i \in F_D(k) \\ 1, & \text{ailleurs} \end{cases} \quad \text{III-5}$$

Il faut remarquer que $C_x(k, i)$ ne prend que quatre valeurs :

$$C_x(k, i) = \begin{cases} 0, & \text{if } i \notin \Pi(k) \text{ et } i \notin F_D(k) \\ 1, & \text{if } i \in \Pi(k) \text{ et } i \notin F_D(k) \\ 2, & \text{if } i \notin \Pi(k) \text{ et } i \in F_D(k) \\ 3, & \text{if } i \in \Pi(k) \text{ et } i \in F_D(k) \end{cases} \quad \text{III-6}$$

Le premier terme dans $C_x(k, i)$ prend en compte la disponibilité du canal dans la cellule k , tandis que le deuxième prend en compte l'appartenance du canal au groupe nominal de la cellule k (c.à.d $F_D(k)$). Ce second terme est renforcé par un facteur 2 afin de suivre tant que possible la distribution d'affectation fixe des canaux FCA.

De même le terme $q_x(i)$ est introduit dans la formule (III-3) afin de favoriser tant que possible la sélection des canaux appartenant à $F_D(x)$, c.-à-d., l'ensemble de canaux attribués à x selon FCA. Autrement dit, la stratégie DCA choisit dans $\Pi(x)$, le canal qui devient verrouillé dans le minimum de cellules d'interférences. Si $\Pi(x)$ est vide, l'appel est bloqué.

A fin d'améliorer la performance DCA, chaque fois qu'une fin d'appel se produit dans une cellule (due soit à la fin physique d'un appel ou à un échec de la procédure handover), un canal est libéré selon un critère de déaffectation [1] ayant une fonction d'évaluation de charge

complémentaire à celle utilisée dans la phase d'affectation ; Elle choisit (pour être libéré dans x) le canal qui devient disponible dans le plus grand nombre de cellules d'interférences et -tant que possible - un canal qui n'appartient pas au motif FCA de x [voir Annexe 2]. Si le canal choisi est différent du canal où l'appel s'est réellement terminé, l'appel en cours dans le premier canal doit être transféré vers ce dernier.

III.3 Handover entre faisceaux et stratégies de priorité

III.3.1 Handover entre faisceaux

Compte tenu de la grande vitesse des satellites par rapport à la surface terrestre, les réseaux de télécommunication satellitaires LEO rencontrent un problème de première importance connu sous le nom de handover; un utilisateur mobile UM avec un appel en cours peut changer de faisceau et éventuellement de satellite. Dans ce cas, un nouveau canal doit lui être automatiquement assigné dans les faisceaux de destination, afin d'avoir une conversation sans coupure. Si aucun canal n'est disponible dans la cellule de transit, l'appel est perdu.

Dans les systèmes satellitaires non géostationnaires, le taux de la procédure handover est conditionné par la vitesse du satellite (et donc par l'altitude des satellites de la constellation). Dans les réseaux satellitaires LEO cette procédure est très fréquente que ce soit pour les utilisateurs fixes ou mobiles. La procédure handover échoue lorsque aucun canal ne se trouve libre dans la cellule de transit. Un tel échec cause une fin forcée d'un appel en cours, et cette rupture est perçue par les utilisateurs comme une frustration, et par conséquence viole les revendications de qualité de service *Quality of Service* (QoS) [11][68]. Pour cela, une faible probabilité de rupture d'appels déjà établis doit être l'un des desseins primordiaux lors de la conception d'un réseau de communication.

Dans le but d'augmenter la qualité de service cellulaire, plusieurs méthodes donnant la priorité aux requêtes handover par rapport à ceux des nouveaux appels ont été proposées afin de diminuer la probabilité d'échec handover et cela aux dépens d'une augmentation, toutefois tolérable, de la probabilité de blocage de nouveaux appels.

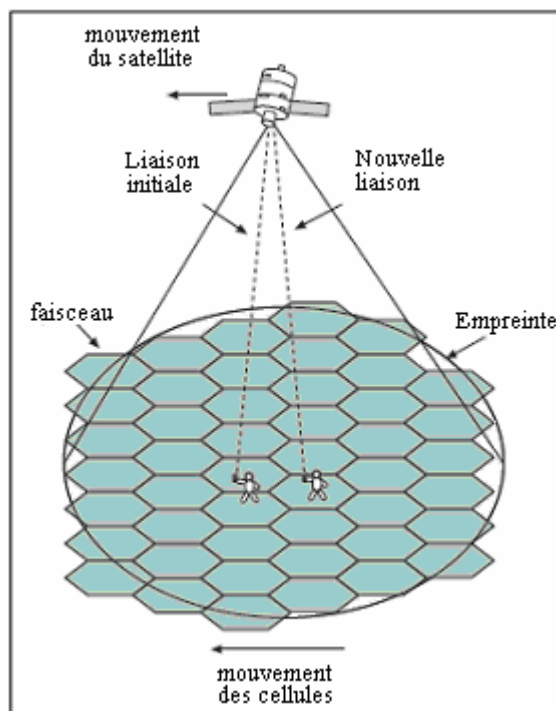


Figure III-1 scénario du handover cellulaire

III.3.2 Stratégies de priorité pour requêtes handover

Dans les réseaux satellitaires LEO, le handover entre faisceaux est une procédure fréquemment rencontrée à cause des zones relativement petites des faisceaux hertziens et la vitesse relativement grande des satellites [6]. De fréquentes requêtes handover causeraient le blocage d'un appel si aucune ressource n'est disponible dans le faisceau de destination. Du point de vue des utilisateurs, le blocage d'un appel en cours est généralement considéré moins désirable que celui d'une nouvelle requête d'appel. Et donc, une priorité de service peut être arrangée au profit des requêtes handover.

Plusieurs stratégies de gestion des requêtes handover proposées en littérature, fournissent la garantie de réussite aux procédures handover afin d'éviter la perte des appels en cours lors du basculement d'un faisceau à un autre. D'autres stratégies essaient d'assurer une bonne qualité de service en donnant la priorité de service aux requêtes handover par rapport aux nouveaux appels, sans garantir toute fois la réussite de la procédure.

Les systèmes de priorité proposés peuvent être largement réparti en deux groupes selon les deux concepts suivants:

III. 3.2. 1 Concepts du handover garanti

Dans [27] *Maral et al.* Proposent un système de handover garanti "*Guaranteed Handover*" GH, où chaque appel tente de réserver un canal dans la cellule de transit suivante à celle où il se trouve. Si aucun canal n'est libre, la requête est mise en attente. Donc un nouvel appel arrivant dans la cellule i essaye de réserver un canal non seulement dans la cellule i mais aussi un autre canal dans la cellule de transit $i+1$. Cette stratégie a permis une diminution considérable de la probabilité de blocage d'appels en cours, au dépens de la probabilité de rejet de nouveaux appels qui atteint des valeurs trop élevés. Afin d'améliorer l'affectation de ressources, quelques études ont proposé des techniques GH modifiées; *Elastic Channel Locking* ECL [28], *Time-based Channel Reservation Algorithm* TCRA [29], *Dynamic Doppler-Based Handover Prioritization* DDBHP [32].

III. 3.2. 2 Concepts de priorité garantie pour handover

Les systèmes assurant la priorité aux requêtes handover se partagent en quatre groupes selon le concept adopté:

- ✓ handover avec canaux de garde: le système réserve un nombre de canaux exclusivement pour les requêtes handover.
- ✓ handover avec mise en attente: le système utilise l'avantage de la zone de chevauchement entre les cellules - l'utilisateur mobile dans cette zone peut être servi par les deux cellules [11]-pour mettre, durant une certaine période, les requêtes handover en attente pour un canal libre dans la cellule de transit.
- ✓ handover basé sur réarrangement des canaux: utilisé seulement avec une affectation dynamique des canaux [11], le système exécute à chaque fin d'appel un réarrangement des canaux pour libérer le canal qui deviendra disponible dans le maximum des cellules adjacentes.
- ✓ handover avec canaux de garde et mise en attente: associe les avantages de l'utilisation des canaux de garde et de la mise en attente des handover.

Nous présentons une courte description des deux premières catégories :

a. Le concept handover avec canaux de garde

Introduit dans les années quatre-vingt [69], ce concept offre un système générique améliorant la probabilité de succès des requêtes handover, et cela en leur réservant exclusivement plusieurs canaux. Les autres canaux seront utilisés aussi bien pour les requêtes handover que pour les nouveaux appels. Le désavantage majeur de cette méthode est que l'attribution de canaux de garde signifie moins de canaux disponibles pour les nouveaux appels, donc une augmentation sensible de la probabilité de rejet de nouveaux appels et donc, une réduction de la capacité totale du trafic. Cet inconvénient peut être évité en autorisant la mise en file d'attente des nouveaux appels. Intuitivement, nous pouvons dire que cette méthode est faisable puisque les nouveaux appels sont considérablement moins sensibles au délai que les requêtes handover.

Un autre défaut de l'emploi des canaux de garde, surtout avec les stratégies d'assignement des canaux fixes, est le risque d'une utilisation inefficace du spectre alloué, donc une estimation prudente du nombre optimum des canaux de garde est nécessaire. Avec les stratégies d'assignement flexibles ou dynamiques des canaux, le concept des canaux de garde se présente d'une autre façon. Le nombre est déterminé dynamiquement en fonction de la capacité du trafic. Citons comme exemple la stratégie dynamique *Dynamic Channel Reservation DCR* introduite par *Z. Wang et al.* [36], où la réservation des canaux dans une cellule se fait dynamiquement et cela en estimant continuellement le nombre probable de requêtes handover que les appels de la cellule précédente peuvent initialiser. Ce nombre est calculé en fonction de la position des utilisateurs et de leurs probabilités handover (probabilité que les utilisateurs avec appel en cours auront besoin d'une procédure handover). Adoptée dans notre étude, cette stratégie sera expliquée avec plus de détails dans le chapitre suivant.

b. Organisation en files d'attente des requêtes handover

Cette stratégie prend avantage de la zone de chevauchement entre les cellules, zone où les appels peuvent être servi par deux stations en même temps. En effet, les zones de couverture de deux cellules adjacentes chevauchent et ont ainsi une zone commune appelée zone de chevauchement, cette zone permet à une requête handover ne trouvant pas de canal libre dans la cellule de transit, une période supplémentaire dans l'attente d'être servi au lieu d'une fin brusque à la limite de la cellule en cours; si entre temps un canal se libère dans la cellule de transit l'appel

est basculé vers cette dernière. Toutefois si l'UM atteint la limite de la zone de chevauchement sans être servi, l'appel est perdu.

La mise en file d'attente des appels se fait selon une organisation spécifique. Plusieurs stratégies de mise en file d'attente '*queuing strategies*' ont été proposées en littérature. La stratégie la plus commune est la stratégie FIFO (First In First Out.) [1][40][41] où les appels sont classés suivant leurs instants d'arrivés. L'appel passant le plus de temps dans l'attente de libération d'un canal dans la cellule de transit se trouve à la tête de la file. Une stratégie plus compliquée MBPS (*Measurment-Based Priority Scheme*) a été proposée par Tekinay et al. [9] [70]. Cette méthode utilise une technique de priorité dynamique *non préventive*, où les priorités des requêtes handover sont définies par les niveaux de puissance que le satellite reçoit des appels concernés (en attente) de leurs faisceaux actuels. Une stratégie considérée comme idéale est la stratégie LUI *Last Useful Instant* [11] qui est basée sur le temps maximum d'attente en queue. Cette dernière a été adoptée dans notre étude, et sera expliquée avec plus de détails dans le chapitre suivant.

III.4 Modèle de mobilité

Afin d'étudier le processus de génération des requêtes handover vers une cellule et évaluer l'impact des stratégies de gestion des ressources radio sur la performance du réseau, il est nécessaire de définir un modèle de mobilité de l'utilisateur.

Pour cela les modèles de mobilité ont été matière de recherche pour plusieurs études que ce soit pour les réseaux terrestres ou les réseaux satellitaires. Par exemple dans [71] B. P. Quiles présente un modèle de mobilité pour les réseaux terrestres. Son étude est très intéressante du fait qu'elle inclue la possibilité que l'utilisateur avec un appel en cours s'arrête pour une certaine période durant la communication. Pour les réseaux satellitaire qui leur modèle est très différent des réseaux terrestres, un modèle présenté dans [1] [40] [64] a été largement utilisé dans la littérature. Son inconvénient majeur était qu'il assumait la génération d'appels seulement dans la zone centrale des cellules. En 1999, E. Del Re et al. ont présenté un modèle de mobilité plus réaliste qui ne négligeait pas la partie *jonction* des cellules du réseau [11]. Ce modèle est celui que nous avons considéré dans notre étude et que nous développons dans ce paragraphe.

Pour modéliser la mobilité des utilisateurs dans un réseau de communication, les aspects suivants doivent être considérés: 1) les conditions de propagation des canaux radio du satellite;

2) le mouvement de l'utilisateur par rapport aux cellules; et 3) la géométrie des cellules et leur disposition, ce qui représente la topologie du réseau.

Dans le but de réduire la complexité analytique du modèle, une approche communément utilisée en littérature est de négliger les aspects de la propagation [1] [11] [41] [72]; par conséquent, cette étude prend en considération seulement le mouvement de l'utilisateur et la topologie du réseau. Le trafic considéré est de nature téléphonique.

La zone de couverture a été divisée en plusieurs cellules et chaque cellule est rayonnée par une antenne du satellite. Il a été assumé que les cellules sont hexagonales et régulières (voir **Figure III-2**).

Dans les applications pratiques, le côté de la cellule R varie entre une valeur minimale R_{min} (lorsque le satellite est au zénith) et une valeur maximale R_{max} (correspond à l'angle d'élévation minimale avec lequel l'UM peut voir le satellite.) suivant la position du satellite par rapport à l'UM.

Nous assumons R égal à $0.5(R_{min} + R_{max})$. Cette supposition nous permettra d'obtenir une caractérisation analytique simple de la mobilité de l'utilisateur.

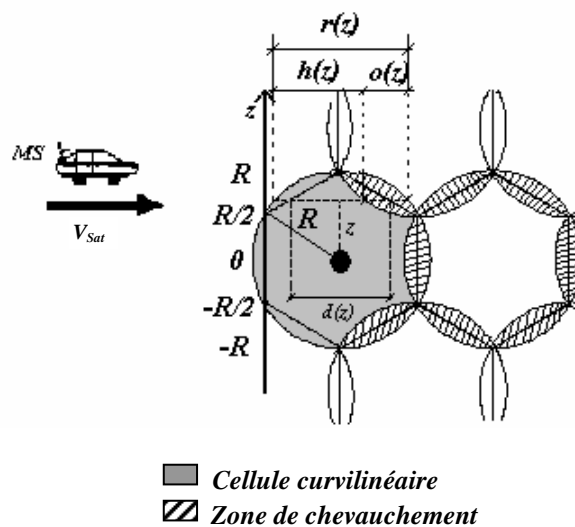


Figure III-2 Géométrie du réseau cellulaire avec un motif hexagonal

Nous appelons cellule de source la cellule où commence l'appel et cellule de transit toute cellule consécutive atteinte par l'utilisateur mobile avec un appel en cours.

Prenons une cellule donnée x , l'indice $i=1$ sera utilisé pour les paramètres statistiques en rapport avec les appels initialisés dans cette cellule, alors que l'indice $i=2$ sera utilisé pour les paramètres ayant rapport aux appels basculés vers x .

Le mouvement relatif satellite-UM peut être approximé seulement par la vitesse de l'empreinte de couverture du satellite sur terre '*ground-track satellite*' (c.-à-d., vecteur V_{sat}), et cela à cause de sa valeur élevée par rapport aux valeurs des autres composants de vitesse (mouvement de UM et rotation de la Terre). En conséquence, le mouvement relatif satellite-UM a une orientation fixe par rapport à l'empreinte de couverture sur la Terre, rayonnée par les satellites (voir **Figure III-2**).

Les UMs (et les appels qu'ils génèrent) sont considérés uniformément distribués sur la zone de simulation [1] [40] [65] [73]. Par conséquent, la probabilité d'arrivée d'un nouvel appel est la même dans chaque point du réseau cellulaire satellitaire.

D'après les suppositions précitées, nous avons :

- ✓ Quand une arrivée d'un nouvel appel se produit, toute cellule du système a la même probabilité d'être la cellule de source de cet appel.
- ✓ Une fois que la cellule de source d'un appel est définie, une position aléatoire z est lui est associée. La fonction de la densité de probabilité (*probability density function*) $pdf f(z)$ de z , est obtenue en prenant en considération que des UMs actifs sont uniformément générés dans une cellule et qu'ils se déplacent selon des lignes droites.
- ✓ Un nouvel appel dans sa cellule de source appartient à une bande élémentaire horizontale avec côté $d(z)$ et hauteur dz (voir **Figure III-3**) selon une probabilité donnée par le rapport entre la surface de la bande [$=d(z)dz$] et la surface de la cellule ($= 3\sqrt{3}R^2 / 2$)

Alors, $f(z)$ est donnée par:

$$f(z) = \frac{d(z)}{3\frac{\sqrt{3}}{2}R^2} \quad \text{III-7}$$

Où $d(z)$ égale à:

$$d(z) = \begin{cases} \sqrt{3}R, & \text{si } |z| \leq \frac{R}{2} \\ 2\sqrt{3}(R - |z|), & \text{si } R \geq |z| > \frac{R}{2} \end{cases} \quad \text{III-8}$$

- ✓ Une fois que l'offset z de l'UM est choisi dans la cellule de source, la distance couverte dans cette cellule par l'UM depuis l'instant d'arrivée de l'appel est uniformément distribuée entre zéro et $d(z)$.

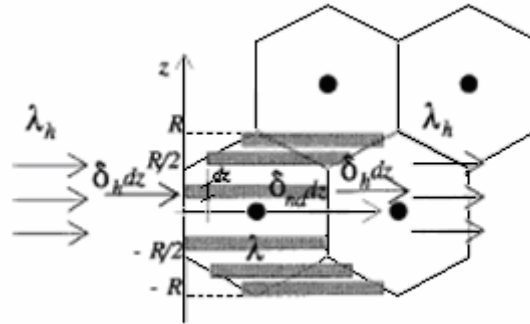


Figure III-3 Conservation du flux des requêtes entrant et sortant d'une cellule.

Conformément à la génération spatiale uniforme des requêtes des nouveaux appels, l'offset d'un UM dans une cellule de transit est uniformément distribué. Cela implique que la *pdf* de l'offset z selon lequel un UM traverse la cellule de source ou une cellule de transit, peut être donnée par :

$$f_i(z) = \begin{cases} f(z), & \text{si } i = 1 \\ \frac{u[z + R] - u[z - R]}{2R}, & \text{si } i = 2 \end{cases} \quad \text{III-9}$$

Avec

$$u(x) \equiv \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & \text{ailleurs} \end{cases}$$

Nous pouvons résumer le modèle de mobilité LEO proposé comme suit.

- 1) Les UMs traversent le réseau cellulaire avec une vitesse relative (c.-à-d., vecteur V_{sat}), disposée par rapport au plan cellulaire comme le montre la **Figure III-2**.
- 2) quand un handover se produit, la cellule de transit sera la cellule avoisinante dans la direction du mouvement relatif satellite-UM.
- 3) UM traverse le réseau cellulaire avec un offset distribué uniformément sur le réseau.

4) Depuis l'instant d'arrivée d'un appel à une cellule où z est l'offset de l'UM, ce dernier traverse une distance:

- ✓ Uniformément distribuée entre zéro et $d(z)$ si la cellule est la cellule de source de l'appel.
- ✓ Exactement égale à $d(z)$ si la cellule est une cellule de transit.

Afin de caractériser la mobilité (relative) de l'utilisateur dans les réseaux satellitaires mobiles LEO, le paramètre α est défini comme:

$$\alpha = \frac{\sqrt{3}R}{V_{sat} T_m} \quad \text{III-10}$$

Où T_m est la durée moyenne de l'appel.

Les paramètres R et V_{sat} dépendent de l'altitude de la constellation du satellite; de plus, R dépend aussi de la demi puissance de la largeur de bande (*Half Power Beam Width*) des rayons d'antennes des satellites. Les valeurs typiques de α sont $0.20-0.60$ pour MSS-LEO, pour $T_m=3 \text{ min}$.

Plus α est petit, plus fréquentes sont les requêtes handover pendant la durée de l'appel. En particulier, dans le cas de mobilité IRIDIUM considéré dans cette étude ($R=212.5 \text{ km}$, $V_{sat}=26\,600 \text{ km/h}$) α est environ égal à 0.27 , pour $T_m=3 \text{ min}$.

III.5 Analyse du modèle de mobilité

Considérons toujours une cellule donnée x . Nous dénotons par t_{mc2} le temps nécessaire à un UM pour traverser la cellule d'un bout à l'autre (c.-à-d., le temps de séjour du mobile dans une cellule), et par t_{mc1} le temps écoulé depuis l'initialisation de l'appel jusqu'au moment où l'UM apparenté quitte la cellule. Les distributions des variables t_{mci} peuvent être facilement dérivées comme [11]:

$$\Pr \text{ob}\{t_{mci} < t\} = \int_{-R}^R \Pr \text{ob}\{t_{mci} < t|z\} f_i(z) dz \quad \text{III-11}$$

Avec:

$$\Pr ob\{t_{mci} < t|z\} = \begin{cases} \frac{tV_{sat}}{d(z)} \left\{ u(t) - u\left[t - \frac{d(z)}{V_{sat}}\right] \right\} + u\left[t - \frac{d(z)}{V_{sat}}\right], & \text{pour } i = 1 \\ u\left[t - \frac{d(z)}{V_{sat}}\right], & \text{pour } i = 2 \end{cases} \quad \text{III-12}$$

Les pdf des variables t_{mci} sont obtenues en dérivant (III-11) par rapport à t . avec quelques manipulations algébriques nous obtenons:

$$pdf_{t_{mci}}(t) = \frac{2}{3} \left\{ 2 - \frac{t}{\alpha T_m} \right\} \frac{\{u(t) - u(t - \alpha T_m)\}}{\alpha T_m} \quad \text{III-13}$$

Et

$$pdf_{t_{mc2}}(t) = \frac{\{u(t) - u(t - \alpha T_m)\}}{2\alpha T_m} + \frac{1}{2} \delta(t - \alpha T_m) \quad \text{III-14}$$

Avec $\delta(t)$ la fonction delta de Dirac.

Les fonction de distributions des variables aléatoires t_{mc1} et t_{mc2} ne sont pas indépendantes, puisque t_{mc1} peut être considéré comme le temps résiduel par rapport à t_{mc2} commençant à un instant d'arrivé dans l'intervalle $[0, t_{mc2}]$ (*excess life theorem* [20] [74] [75]). Ainsi, à partir de (III-13) et (III-14), nous obtenons la relation:

$$pdf_{t_{mc1}}(t) = \frac{1 - \int_{\tau=0}^t pdf_{t_{mc2}}(\tau) d\tau}{E[t_{mc2}]} \quad \text{III-15}$$

Puisque la longévité des appels *unencumbered call duration* t_d , est supposée une variable aléatoire exponentiellement distribuée, la même distribution est valide pour la durée résiduelle de l'appel après une requête handover (propriété sans mémoire), par conséquence, nous désignons également par t_d la durée résiduelle de l'appel.

Une procédure de basculement handover est initialisée pour un UM avec appel en cours dans la cellule x des que $t_d > t_{mci}$. Les probabilités de ces événements, P_{Hi} , $i=1,2$, peuvent être obtenu comme suit:

$$\begin{aligned}
P_{Hi} &= \Pr \text{ob} \{t_d > t_{mci}\} \\
&= \int_0^{+\infty} \Pr \text{ob} \{t_d > t | t_{mci} = t\} \text{pdf}_{t_{mci}}(t) dt \\
&= \int_0^{+\infty} e^{-\left(\frac{t}{T_m}\right)} \text{pdf}_{t_{mci}}(t) dt \\
&= L(\text{pdf}_{t_{mci}}(t)) \Big|_{s=1/T_m} \quad i = 1, 2
\end{aligned}
\tag{III-16}$$

$L(g(t))$ dénote la transformé de Laplace de la fonction $g(t)$ [74].

En substituant (III-13) et (III-14) dans (III-16) et par exécution de quelque manipulations algébriques, nous obtenant les probabilités de handover P_{H1} et P_{H2} :

$$\begin{aligned}
P_{H1}(\alpha) &= \frac{2}{3} \left\{ P_{h1}(\alpha) + \frac{1 - P_{h1}(\alpha)}{\alpha} \right\} \\
P_{H2}(\alpha) &= \frac{P_{h1}(\alpha) + P_{h2}(\alpha)}{2}
\end{aligned}
\tag{III-17}$$

Avec:

$$P_{h1}(y) = \frac{1 - e^{-y}}{y}, \quad P_{h2}(y) = e^{-y}
\tag{III-18}$$

Noter que $P_{hi}(y)$ dans, $i=1,2$, représente la probabilité qu'un appel initialise une requête handover pour un appel (de durée moyenne T_m) dans une cellule où l'UM apparenté traverse une distance (depuis l'instant d'arrivée de l'appel) qui est:

- ✓ Uniformément distribuée entre *zéro* et q pour $i=1$;
- ✓ Fixe et égale à q pour $i=2$.

Avec $y=q/[V_{sat} T_m]$ [1].

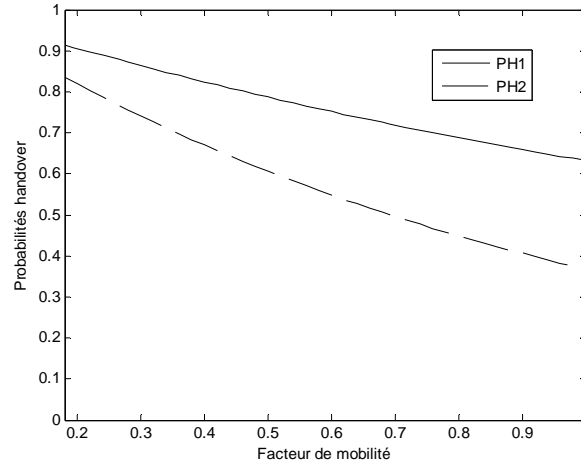


Figure III-4 Probabilités handover P_{H1} et P_{H2} en fonction du facteur de mobilité α .

Noter que P_{H1} et P_{H2} dépendent seulement du paramètre de mobilité α . La **Figure III-4** montre les variations de ces deux probabilités en fonction de α . Il est évident que lorsque α approche 0 (∞), P_{H1} et P_{H2} tendent vers 1 (0).

Le temps d'occupation du canal (*the channel holding time*) dans une cellule peut être donné par [41] :

$$T_{Hi} = \min [td, t_{mci}] \quad \text{III-19}$$

La valeur moyenne de t_{Hi} , $E[t_{Hi}]$, est donnée par [74]:

$$E[t_{Hi}] = T_m (1 - P_{Hi}), \quad j = 1, 2 \quad \text{III-20}$$

Cette équation démontre que dû à la mobilité, la valeur moyenne du temps d'occupation du canal est réduite par rapport à T_m .

Suivant l'hypothèse de trafic uniforme, nous dénotons par λ le taux moyen d'arrivée de nouvelles tentatives d'appel dans une cellule générique du système. Le processus d'arrivée de requêtes handover examiné ici concerne les appels qui ont besoin d'être basculés d'une cellule à une autre: c.-à-d., handover inter faisceaux. Le processus d'arrivée des requêtes handover dans une cellule dépend du mouvement des UMs par rapport aux cellules, de la forme et dimension des cellules, et de la distribution des UMs sur le territoire. Puisque toutes les cellules ont la

même forme et la même dimension et cela au moyen de la technique *beamforming*, tous les UMs ont les mêmes conditions de mobilité par rapport aux cellules (à cause de la grande valeur de la vitesse des satellites). De plus, la distribution des UMs sur le territoire est uniforme et le taux moyen d'arrivée des requêtes handover vers une cellule, est le même pour toutes les cellules. Nous obtenons une relation entre λ_h et λ par application de la condition de conservation de flux entre les requêtes handover sortantes et entrantes dans une zone donné [1]. En particulier, nous considérons l'équation de conservation de flux dans des bandes horizontales avec hauteur élémentaire dz et longueur $\sqrt{3}R$ disposées sur le réseau cellulaire aux emplacements z , avec z qui varie de $z=-R$ jusqu'à $z=R$ (voir **Figure III-3**). Les taux d'arrivée élémentaires dans une bande générique sont $\delta_{na}(z)dz$ et $\delta_h(z)dz$ pour nouvelles tentatives d'appel et requêtes handover, respectivement. La somme des taux élémentaires $\delta_h(z)dz$ pour les bandes de $z=-R$ à $z=R$ donne le taux moyen d'arrivée des requêtes handover vers une cellule :

$$\int_{-R}^R \delta_h(z)dz = \lambda_h \quad \text{III-21}$$

La somme des régions des bandes élémentaires de $z=-R$ à $z=R$ est égale au 4/3 de la zone d'une cellule. Dû à la génération spatiale uniforme des nouvelles arrivées d'appel, δ_{na} est indépendant de z . D'où, nous avons :

$$\int_{-R}^R \delta_{na} dz = \frac{4}{3} \lambda \quad \Rightarrow \quad \delta_{na} = \frac{2}{3R} \lambda. \quad \text{III-22}$$

Dans l'analyse qui suit, nous allons différencier le cas $|z| \leq R/2$ du cas $R \geq |z| > R/2$.

1. Cas $|z| \leq R/2$: la condition d'équilibre de flux est appliquée à $\delta_{na} dz$ et $\delta_h(z) dz$ qui sont liés à une bande élémentaire générique à l'offset z [1]:

$$\delta_{na} dz(1 - P_{b1})P_{h1}(\alpha) + \delta_h(z)dz(1 - P_{b2})P_{h2}(\alpha) = \delta_h(z)dz \quad \text{III-23}$$

Mettons que λ_{hc} dénote le taux moyen des requêtes handover dans la partie centrale de la cellule défini par:

$$\lambda_{hc} = \int_{-R/2}^{R/2} \delta_h(z) dz. \quad \text{III-24}$$

En intégrant (III-23) de $z = -R/2$ à $z = R/2$ et en utilisant (III-22) et (III-24), nous avons:

$$\frac{\lambda_{hc}}{\lambda} = \frac{2}{3} \frac{(1 - P_{b1})P_{h1}(\alpha)}{1 - (1 - P_{b2})P_{h2}(\alpha)} \quad \text{III-25}$$

2. Cas $R \geq |Z| > R/2$: les bords de cellule divisent la bande élémentaire à l'offset z en deux segments de largeurs $d(z)$ et $\sqrt{3}R - d(z)$, respectivement. Dénotons par:

$$\alpha_1(z) = \frac{d(z)}{V_{sat} T_m}, \quad \alpha_2(z) = \frac{\sqrt{3}R - d(z)}{V_{sat} T_m} \quad \text{III-26}$$

Par conséquent, nous avons $\alpha_1(z) + \alpha_2(z) = \alpha$.

A cause de la génération spatiale uniforme des nouveaux appels, l'arrivée d'un nouvel appel (dans une bande) a lieu dans le premier segment avec une probabilité $d(z)/\sqrt{3}R = \alpha_1/\alpha$ et dans le second segment avec une probabilité $(\sqrt{3}R - d(z))/\sqrt{3}R = \alpha_2/\alpha$.

Par conséquent, l'arrivée d'un nouvel appel initialisé dans cette bande génère une requête handover avec probabilité $(1 - P_{b1})[(\alpha_1/\alpha)P_{h1}(\alpha_1)P_{h2}(\alpha_2)(1 - P_{b2}) + (\alpha_2/\alpha)P_{h1}(\alpha_2)]$, alors qu'un appel basculé vers la bande requière une nouvelle requête handover avec une probabilité égale à $(1 - P_{b2})P_{h2}(\alpha_1)(1 - P_{b2})P_{h2}(\alpha_2) = (1 - P_{b2})^2 P_{h2}(\alpha)$.

Par conséquent, nous avons l'équation de conservation de flux suivante:

$$\delta_{na} dz (1 - P_{b1}) \left[\frac{\alpha_1}{\alpha} P_{h1}(\alpha_1) P_{h2}(\alpha_2) (1 - P_{b2}) + \frac{\alpha_2}{\alpha} P_{h1}(\alpha_2) \right] + \delta_h(z) dz (1 - P_{b2})^2 P_{h2}(\alpha) = \delta_h(z) dz. \quad \text{III-27}$$

Intégrons les deux côtés de l'équation (III-27) sur la partie de jonction *-seam-* du réseau cellulaire, c.-à-d., de $z = -R$ à $z = -R/2$ et de $z = R/2$ à $z = R$. A cause de la symétrie du

problème, il est équivalent d'intégrer les deux côtés de l'équation de $z = R/2$ à $z = R$ multipliée par deux. De plus, nous divisons le résultat par λ et nous obtenons $\frac{\lambda_h}{\lambda}$:

$$\frac{\lambda_h}{\lambda} = \frac{\lambda_{hc}}{\lambda} + \frac{2}{3}(1 - P_{b1}) \frac{1 - P_{h1}(\alpha) + (1 - P_{b2})(P_{h1}(\alpha) - P_{h2}(\alpha))}{\alpha - \alpha(1 - P_{b2})^2 P_{h2}(\alpha)} \quad \text{III-28}$$

Etant donné que:

$$2 \int_{R/2}^R \delta_h(z) dz = \lambda_h - \lambda_{hc} \quad \text{III-29}$$

Finalement, en substituant (III-25) dans (III-28), nous avons :

$$\frac{\lambda_h}{\lambda} = \frac{2}{3}(1 - P_{b1}) \left\{ \frac{P_{h1}(\alpha)}{1 - (1 - P_{b2})P_{h2}(\alpha)} + \frac{1 - P_{h1}(\alpha) + (1 - P_{b2})(P_{h1}(\alpha) - P_{h2}(\alpha))}{\alpha - \alpha(1 - P_{b2})^2 P_{h2}(\alpha)} \right\} \quad \text{III-30}$$

D'après [1] et [74], le nombre moyen des requêtes handover par tentative d'appel n_h est donné par :

$$n_h = \frac{\lambda_h}{\lambda} \frac{\text{requête handover}}{\text{tentative d'appel}} \quad \text{III-31}$$

Le paramètre n_h est une mesure utile du degré de mobilité de l'environnement. Si $P_{b1} = P_{b2} = 0$, la valeur de n_h donnée par (III-30) est maximal et égale à $4 / (3 \alpha)$; en particulier, dans le cas de la mobilité IRIDIUM ($R=212.5 \text{ km}$, $V_{sat} = 26 \text{ 600 km/h}$), en moyenne, 4.9 handover sont nécessaires par appel avec $T_m = 3 \text{ min}$.

Considérons un système cellulaire équivalent à celui obtenu avec les cellules hexagonales dans **Figure III-3**, mais où nous éliminons la partie *seam jonction* en utilisant des cellules rectangulaires: ces cellules ont les dimensions suivantes: $\sqrt{3}R \times 1.5R$ et ont la même zone de cellules hexagonales. Chaque UM traverse dans une cellule une distance $\sqrt{3}R$ de bout en bout. Dans ce cas nous utilisons l'étude présentée dans [1] et [40]: si $P_{b1} = P_{b2} = 0$, $n_h = 1/\alpha$ (3.6

handover / appel pour le cas IRIDIUM et $T_m = 3 \text{ min}$). Donc, ce modèle simplifié sous-estime le taux des requêtes handover et, en conséquence, sous-estime la probabilité de blocage d'appel.

Parmi les appels générés, nous avons ceux bloqués (avec probabilité P_{b1}) et ceux admis dans le réseau (avec probabilité $(1-P_{b1})$). Le nombre moyen des requêtes handover par appel admis dans le réseau n_h' , peut être relié au nombre moyen de requête handover par tentative d'appel n_h en prenant en compte que la grandeur $1-P_{b1}$ est le nombre moyen d'appels acceptés par appels générés. Par conséquent, si nous multiplions n_h' par $1-P_{b1}$, nous obtenons n_h . Et donc, la relation suivante est valide:

$$n_h' = \frac{n_h}{1 - P_{b1}} \frac{\text{requête handover}}{\text{appel accepté}} \quad \text{III-32}$$

Il est facile de vérifier que si un appel accepté est originaire, en moyenne, de n_h' requête handover, et si à chaque requête l'appel peut être perdu avec une probabilité P_{b2} , la probabilité de perdre un appel en cours est [1]:

$$P_{drop} = n_h' P_{b2} \quad \text{III-33}$$

Finalement, la probabilité d'insuccès d'un appel P_{ns} est donnée par [1]:

$$P_{ns} = P_{b1} + (1 - P_{b1}) P_{drop} \quad \text{III-34}$$

CHAPITRE 4

Méthode d'évaluation de paramètres

IV.1 Introduction

IV.2 Avantages du modèle de mobilité des MMS LEO

IV.3 Méthode d'évaluation de paramètres

IV.4 Stratégie de mise en attente Pseudo -LUI

IV.5 Stratégie de canaux de garde DCR *-like*

IV.1 Introduction

Étant donné que les vitesses des utilisateurs et de la rotation de la terre sont négligeables devant celles des satellites LEO, le mouvement relatif UM-satellite est dominé par le mouvement du satellite, ce qui permet de prévoir le parcours de chaque UM avec appel en cours dans le réseau. Toutefois, ceci nécessite l'intégration d'un système de positionnement global au réseau, afin de localiser exactement l'emplacement de l'UM à l'instant du début de l'appel. Ceci facilite considérablement la procédure de poursuite des UMs, essentielle à plusieurs techniques de gestion des requêtes handover. Néanmoins, une telle intégration rajoute plus de complexité à la conception des MSSs.

Nous exploitons dans cette étude le modèle de mobilité et ses caractéristiques avantageuses pour introduire une nouvelle stratégie permettant la détermination de différents paramètres concernant les UMs avec appel en cours, lorsque le système n'est pas intégré à un système de positionnement global.

Nous présentons en premier lieu, les avantages des réseaux cellulaires satellitaires LEO, surtout dans l'analyse du modèle de mobilité. En se basant sur cette étude nous introduisons ensuite une nouvelle méthode pour évaluer différents paramètres concernant les UMs avec appels en cours. Nous dérivons ensuite à partir de cette méthode deux nouvelles stratégies de gestion de requêtes handover: stratégie de mise en attente basée sur la stratégie *Last Useful Instant* LUI que nous appelons Pseudo-LUI, et une autre basée sur la stratégie *Dynamic Channel Reservation* DCR que nous appelons DCR-like.

IV.2 Avantages du modèle de mobilité des MSS LEO

Comme il a été expliqué dans le premier chapitre, le modèle de mobilité des systèmes satellitaires LEO présente des caractéristiques très importantes qui rendent l'étude de ces derniers plus simple comparé aux autres systèmes tels que MEO ou GEO.

Ces caractéristiques qui sont une vitesse et orientation constantes du mouvement relatif UM-satellite ont permis dans plusieurs études antérieures la détermination de différents paramètres et informations importants, permettant ainsi une amélioration dans les performances du réseau.

En effet, une fois la position de l'UM initialisant un appel est estimée, il est possible de le traquer à travers le réseau et de connaître sa position exacte durant toute la durée de l'appel.

Ceci nous permet de déterminer différentes informations : la position de l'UM dans la cellule, l'instant de la prochaine requête handover et le temps maximum d'attente pour un appel dans la zone de chevauchement. Présentons d'abord la zone de chevauchement relative au modèle de mobilité choisi dans notre étude.

Modèle de la zone de chevauchement:

Le temps maximum d'attente en queue t_{qmax} , représente la période nécessaire à un UM avec appel en cours, pour traverser la zone de chevauchement.

En général, t_{qmax} est une variable aléatoire qui dépend du degré de chevauchement entre les faisceaux voisins (caractéristiques des antennes et de la configuration orbitale des satellite), de la puissance du signal, des conditions de propagation (environnement du mobile: rural, urbain, etc..) et de la direction du mouvement de l'UM par rapport au plan cellulaire.

Supposons que les empreintes de couverture des faisceaux sont disposées sur la terre selon un plan hexagonal régulier (de côté R) et ont une couverture circulaire de rayon R' . Dans la littérature, les valeurs possibles du rapport R'/R varient de 1 à 1.5 [77]. Évidemment, plus grand est ce rapport, plus large est la zone de chevauchement et donc meilleure est la performance de la technique de mise en attente. Nous considérons ici l'extension minimale possible de la zone de chevauchement $R=R'$.

Une fois la position de l'UM à l'instant de l'arrivée de l'appel est définie, un offset z est assigné à cet UM dans la cellule de source. Compte tenu du plan cellulaire régulier et des suppositions de mobilité, la distance $o(z)$ couverte par l'UM dans la zone de chevauchement reste la même pour toute requête handover, qu'elle soit générée dans la cellule de source ou une cellule de transit. Pour un UM traversant la zone de chevauchement à l'offset z , le paramètre t_{qmax} est donné par:

$$t_{qmax} = o(z) / V_{sat}$$

IV-1

Noter que, selon les suppositions faites, la nature aléatoire de t_{qmax} dépend seulement de l'offset z de l'UM qui traverse le réseau cellulaire.

Nous considérons ici que les appels générés dans la zone de chevauchement sont adressés automatiquement vers la cellule de destination afin d'éviter que ces appels ne génèrent des

requêtes handover avant même d'être servis. Le terme de cellule dénote une région où les nouveaux appels sont gérés par le même faisceau. L'étude de la zone de chevauchement entraîne donc une cellule de forme curvilinéaire (**Figure III-2**), au lieu d'une forme hexagonale, assumée précédemment dans le modèle de mobilité. La largeur de la cellule circulaire de rayon R à une hauteur z est égale à:

$$r(z) = 2\sqrt{R^2 - z^2} \quad \text{IV-2}$$

La distance maximale parcourue par un UM avec appel en cours dans une cellule curvilinéaire avant d'initialiser une requête handover $h(z)$ est:

$$h(z) = r(z) - o(z) \quad \text{IV-3}$$

Avec $o(z)$ donnée par :

$$o(z) = \begin{cases} 2\sqrt{R^2 - z^2} - \sqrt{3}R, & \text{pour } |z| \leq \frac{R}{2} \\ \sqrt{R^2 - z^2} - \frac{\sqrt{3}}{2}R + \sqrt{R^2 - \left(|z| - \frac{3}{2}R\right)^2}, & \text{pour } R \geq |z| > \frac{R}{2} \end{cases} \quad \text{IV-4}$$

Noter que la surface de la cellule curvilinéaire est équivalente à celle de la cellule hexagonale de côté R (c.à.d $3\sqrt{3}R^2/2$). Alors selon l'hypothèse de trafic uniforme, le taux moyen d'arrivée des tentatives de nouveaux appels λ est le même pour une cellule hexagonale ou curvilinéaire. En se basant sur la nouvelle forme de la cellule, nous recalculons la *pdf* de l'offset z d'une tentative d'un nouvel appel dans sa cellule de source $f^*(z)$ en utilisant la même approche donnée dans le chapitre 3 pour dériver la *pdf* $f(z)$ des cellules hexagonales:

$$f^*(z) = \frac{h(z)}{3\frac{\sqrt{3}}{2}R^2} \quad \text{IV-5}$$

La *pdf* de l'offset d'un UM actif dans une cellule de transit reste uniforme comme pour les cellules hexagonales. Dans la **Figure IV-1** les distributions $f(z)$ et $f^*(z)$ sont comparées; nous pouvons noter qu'il n'y a pas une grande différence entre $f^*(z)$ et $f(z)$. Donc, les résultats analytiques qui ont été dérivés dans les sections précédentes peuvent être étendues, avec une bonne approximation, au cas des cellules curvilinéaires.

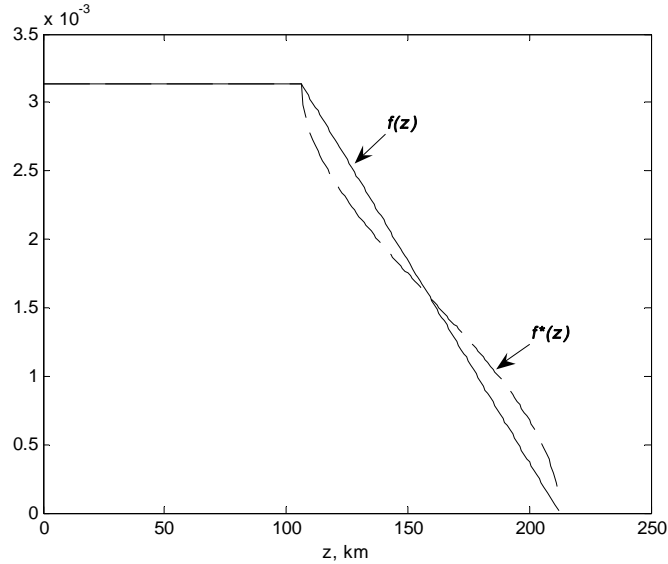


Figure IV-1 Comparaison entre les fonctions de densité de probabilité $f(z)$ et $f^*(z)$ dans le cas Iridium.

Utilisons $f^*(z)$ pour déterminer la valeur moyenne de la période maximale d'attente :

$$E[t_{q \max}] = \frac{E[o(z)]}{V_{sat}} \quad \text{IV-6}$$

$$= \frac{1}{V_{sat}} \int_{z=-R}^{z=R} o(z) f^*(z) dz \quad \text{IV-7}$$

$$= \alpha T_m \beta \quad \text{IV-8}$$

avec β égale à :

$$\beta = \frac{4}{9} \left(\frac{\sqrt{3}}{3} \pi - \frac{3}{2} \right) \approx 0.1394. \quad \text{IV-9}$$

Le paramètre β dépend seulement des suppositions géométriques du modèle de mobilité et de la zone de chevauchement. Pour le cas du modèle de mobilité IRIDIUM la période moyenne d'attente est à peu près de $7sec$.

Revenons maintenant aux paramètres qu'il est possible de déterminer dans le cas d'un système cellulaire LEO pour un UM avec appel en cours lorsque sa position initiale est connue.

a-Position de l'UM dans la cellule

Lorsque un UM initialisant un appel est localisé, sa position dans la cellule peut être déterminée avec deux coordonnées z et x . Désignons par z_i et x_i les coordonnées de l'UM à sa position initiale c'est à dire au commencement de l'appel.

Sachant que l'orientation et la vitesse du mouvement relatif UM-satellite sont fixes par rapport au motif cellulaire rayonné sur la Terre par le satellite, la position de l'UM dans la cellule varie seulement en fonction de la coordonnée x et elle peut être déterminée par:

$$x = x_i + (t_{cl} V_{sat}) \quad \text{IV-10}$$

t_{cl} étant la durée de l'appel dans la cellule.

b-Temps maximum de mise en file d'attente

Le temps maximum qu'un appel peut passer dans la file en attendant qu'un canal devient disponible dans sa cellule de transit représente la période nécessaire à l'UM pour traverser la région de chevauchement entre sa cellule de source et sa cellule de transit, où dans cette région l'appel peut être servi par les deux cellules. Ce paramètre varie seulement en fonction de la coordonnée z , il est égal à:

$$t_{qmax} = o(z) / V_{sat} \quad \text{IV-11}$$

La figure suivante montre la variation de t_{qmax} en fonction de z :

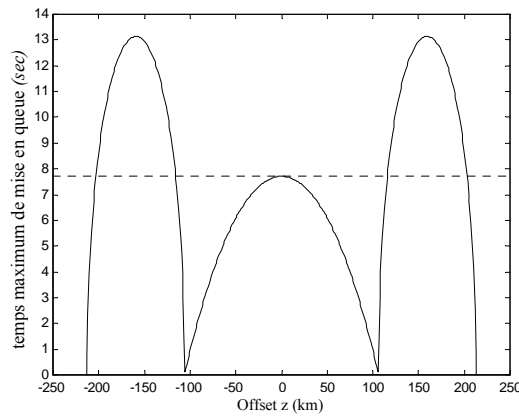


Figure IV-2 Temps maximum de mise en queue en fonction de z pour le modèle de mobilité.

c-Instant d'initialisation de la prochaine requête handover

Connaissant la position d'un UM avec appel en cours, il est possible d'estimer le temps résiduel avant que ce dernier n'exécute une requête handover, et cela en se basant sur le mouvement prévisible de l'UM à travers le motif cellulaire et sur la géométrie cellulaire du réseau.

Désignons par T_{nxt} le temps résiduel avant qu'un appel, avec coordonnées (z, x) dans une cellule donnée, n'initialise sa prochaine requête handover. T_{nxt} est donné par :

$$T_{nxt} = \frac{h(z) - \left(x + \frac{o(z)}{2} \right)}{V_{sat}} \quad \text{pour } |z| \leq R/2$$

$$T_{nxt} = \frac{h(z) - \left(x - \frac{\sqrt{3}R - r(z)}{2} \right)}{V_{sat}} \quad \text{pour } R \geq |z| \geq \frac{R}{2}$$

IV-12

Pour le calcul de ces paramètres, les études antérieures présentées dans la littérature [11] [27] [36] [37] présumaient qu'un système de positionnement est intégré au réseau, et cela afin de localiser l'appel à l'instant de son initialisation. Connaissant la position initiale de l'UM il est facile de déterminer ces différents paramètres.

La position de UM peut être estimée par un système de positionnement *Global Positioning System* GPS en mesurant le délai de propagation et la variation de la fréquence Doppler des transmissions de l'UM [11] [38] [76] [77] [78]. Utilisant les mesures de délai de temps, on obtient un cercle fixe de délai de propagation sur la terre. Puisque la variation de fréquence Doppler est en relation avec l'angle entre le vecteur de vitesse de satellite et le vecteur de direction UM-satellite, les mesures de Doppler définissent un cône faisant un angle fixe avec le vecteur de vitesse du satellite. L'intersection sur la terre entre le cercle constant du délai de propagation et le cône identifie deux points qui représentent les positions possibles de UM. Une solution possible pour résoudre cette ambiguïté spatiale est de prendre une autre mesure de fréquence Doppler à partir d'un autre satellite en visibilité, cette solution ajoute quelques contraintes à la constellation satellitaire. En conséquence, l'implémentation d'un système de positionnement rend la mise en œuvre du système satellitaire plus compliquée.

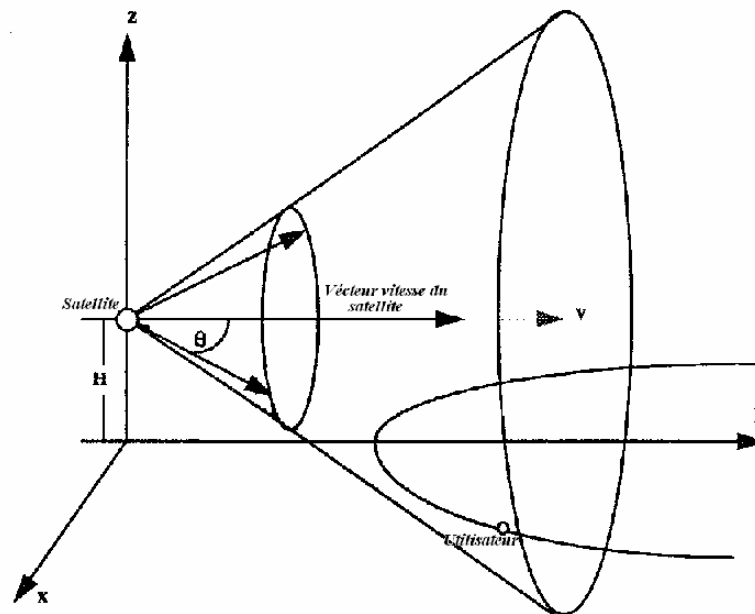


Figure IV-3 Localisation d'un utilisateur mobile.

Nous introduisons dans la section suivante une nouvelle méthode d'évaluation de ces paramètres que nous appelons (*Evaluation Parameters Method.*) EPM [39], démontrant qu'il est possible de déterminer d'importants paramètres et informations concernant un UM avec appel en cours, même si la position de ce dernier est inconnue, et cela en tirant profit du mouvement relatif prévisible UM-satellite, et du motif cellulaire régulier des MSSs.

IV.3 Evaluation parameters method EPM

Le comportement du mouvement relatif UM-satellite est prévisible du fait qu'il est dominé par le mouvement du satellite. Donc, dans les systèmes LEO MSS, la cellule de destination d'une requête handover sera toujours la cellule adjacente dans la direction du mouvement relatif UM-satellite.

La période nécessaire à un UM pour traverser la distance maximale dans une cellule avant d'initialiser une requête handover (c.à.d le temps de séjour maximal t_{Msj}) est égale à t_{sH} la période qui sépare deux initialisations de requêtes handover consécutives que l'UM génère. En utilisant un chronomètreur *timer*, la période t_{sH} peut être estimée pour chaque UM avec un appel en cours, lorsque ce dernier initialise sa deuxième requête handover.

Le temps de séjour maximal t_{Msj} est égale à:

$$t_{Msj} = h(z) / V_{sat}. \quad \text{IV-13}$$

Différentes informations et paramètres peuvent être déterminés en utilisant la valeur de t_{sH} , même la si la position de l'UM est inconnue, comme il est présenté dans les sections suivantes.

a-Position de l'UM dans la cellule

La **Figure IV-4** représente la variation de t_{Msj} ($t_{Msj} = t_{sH}$) en fonction de z pour le modèle de mobilité considéré. Nous remarquons que pour la zone centrale de la cellule, t_{Msj} a des valeurs constantes égales à $T_{sM} \approx 50\text{sec}$, alors que pour la zone de jonction les valeurs de t_{Msj} sont inférieurs à T_{sM} et varient en fonction des valeurs absolues de z (z et $-z$ donnent des valeurs égales de t_{Msj}).

Par conséquent, la valeur estimée du temps de séjour maximal nous permet de déterminer si l'appel appartient à la zone *de jonction* ou à la zone centrale; si le t_{Msj} est égal à T_{sM} l'appel est dans la zone centrale, sinon il appartient à la région *de jonction* de la cellule.

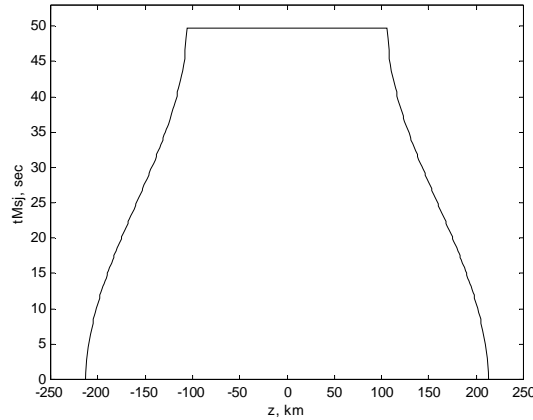


Figure IV-4 Temps maximum de séjour en fonction de z .

b-Instant d'initialisation du prochain handover

D'après la disposition cellulaire et les suppositions de mobilité, un appel appartenant à la zone de *centre (jonction)* d'une cellule est basculé vers la zone de *centre (jonction)* de la cellule de transit.

Donc pour un appel appartenant à la zone centrale de la cellule, la valeur de t_{Msj} reste la même dans toute cellule de transit que l'appel atteindra, puisque dans cette zone les valeurs de t_{Msj} sont constantes.

Pour les appels appartenant à la zone *de jonction*, cette période change de cellule en cellule. Cependant, il est facile de déterminer la prochaine valeur de t_{Msj} en utilisant la valeur antérieure dans la cellule précédente:

Supposons qu'un UM avec appel en cours à l'offset z dans la zone *de jonction* d'une cellule et avec un temps de séjour maximal t_{Msja} est permuté vers une autre cellule. Le nouvel offset z_n (**Figure IV-5**) apparenté à cet appel dans le système de coordonnées de la cellule de transit est égal à:

$$|z_n| = \frac{3}{2} R - |z| \quad \text{IV-14}$$

Alors la valeur du temps de séjour maximal dans la nouvelle cellule t_{Msjb} est donnée par:

$$t_{Msjb} = h(z_n) / V_{sat} \quad \text{IV-15}$$

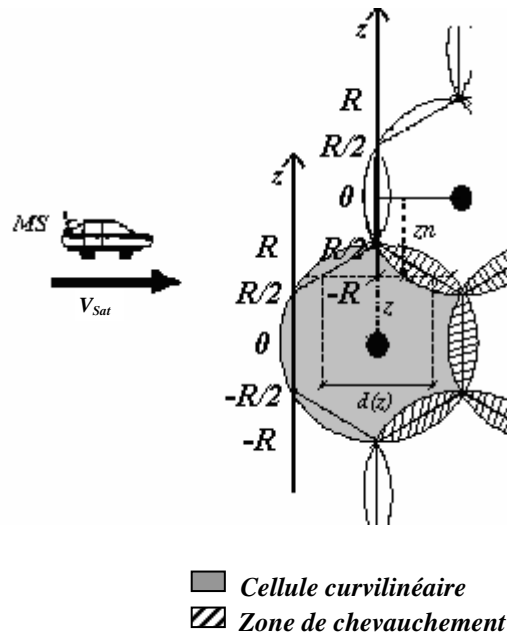


Figure IV-5 nouvel offset z_n dans la cellule de transit.

Représentons la variation de t_{Msja} , t_{Msjb} et $t_{Msja} + t_{Msjb}$ en fonction de $|z|$, dans la zone de jonction d'une cellule. Le résultat est donné par la **Figure IV-6**. Nous remarquons que la somme de t_{Msja} et t_{Msjb} est constante et égale à T_{sM} . Et donc pour tout appel dans la zone de jonction initialisant sa deuxième requête handover le temps de séjour maximal dans la cellule voisine est donné par:

$$t_{Msjb} = T_{sM} - t_{Msja}$$

IV-16

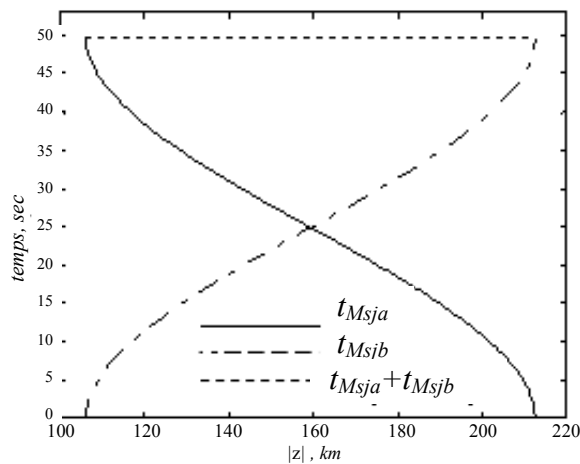


Figure IV-6 Temps Maximum de séjour dans les cellules de source et transit en fonction de $|z|$.

Cette période t_{Msj} permet au système d'estimer exactement le temps résiduel avant que l'appel n'initialise une nouvelle requête handover: un chronomètre est mis en marche lorsque un appel initialise une requête handover. Le temps écoulé depuis ce moment, désignons-le par t_{hr} , est utilisé alors pour évaluer le temps qui reste avant que l'appel n'exécute sa prochaine requête handover : $T_{nxt} = t_{Msj} - t_{hr}$.

c-Temps Maximum de mise en attente

La **Figure IV-7** représente la variation de t_{Msj} et t_{qmax} en fonction de z pour le modèle de mobilité considéré. Nous remarquons pour la zone *de jonction*, que chaque valeur de t_{Msj} a une valeur équivalente de t_{qmax} . Nous remarquons aussi que les valeurs égales de t_{Msj} dans des zones différentes (pour z et $-z$) ont la même valeur de t_{qmax} . Cela est dû à la symétrie de la topologie du système.

Représentons la variation de t_{qmax} selon t_{Msj} et cela en utilisant les relations (IV-11) et (IV-13) [42], le résultat est présenté par la **Figure IV-8**. En se reportant donc à ce résultat, il est possible pour les appels appartenant à la zone *de jonction*, de déterminer le temps de la mise en file d'attente maximal à partir de l'instant d'initialisation de la deuxième requête handover en utilisant la valeur de t_{Msj} . Pour les appels initialisés dans la zone centrale d'une cellule, l'information disponible est que $t_{qmax} \leq 7.706 \text{ sec}$ voir **Figure IV-2**.

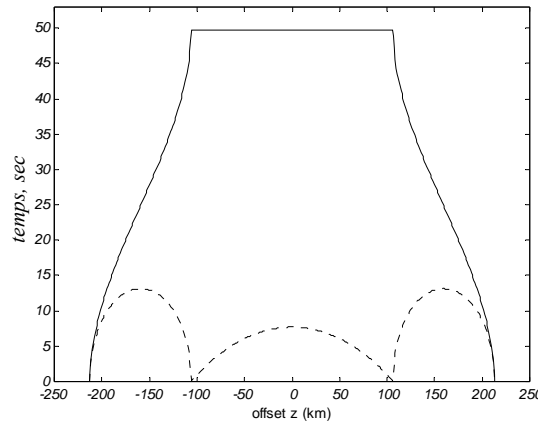


Figure IV-7 Temps maximum de mise en file d'attente et temps de séjour en fonction de z .

Remarquons que grâce à la disposition cellulaire régulière et les hypothèses de mobilité, le temps maximal de mise en file d'attente pour les UMs reste le même pour toute requête handover, qu'elle provienne de la cellule de source ou d'une cellule de transit [11].

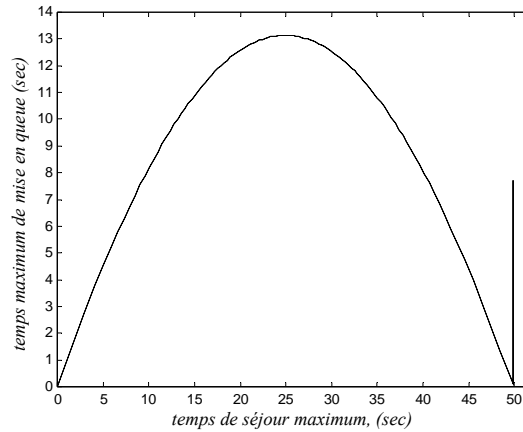


Figure IV-8 Temps maximum de mise en queue en fonction du temps de séjour maximum.

La **Figure IV-7** représente la variation de t_{sH} et t_{qmax} en fonction de z , nous remarquons qu'à l'exception de la région centrale des cellules, chaque valeur de t_{sH} a une valeur correspondante de t_{qmax} . Utilisant ces valeurs, la **Figure IV-8** donne la variation de t_{qmax} en fonction de t_{sH} . Il faut remarquer que dû à la symétrie de la topologie du système, les mêmes valeurs de t_{sH} dans différentes régions (z et $-z$) correspondent aux mêmes valeurs de t_{qmax} . Il en résulte qu'il est possible de déterminer les valeurs de t_{qmax} en utilisant les valeurs de t_{sH} . En effet, la **Figure IV-8** représente le graphe de la fonction $-ax^2+bx$ (voir **Figure IV-9**). Utilisant les valeurs de t_{qmax} et t_{sH} , il est possible d'obtenir les valeurs de a et b :

$$t_{qmax}(t_{sH}) = -a(t_{sH})^2 + b(t_{sH}). \quad a \approx 0.0212 \quad b \approx 1.0551 \quad \text{IV-17}$$

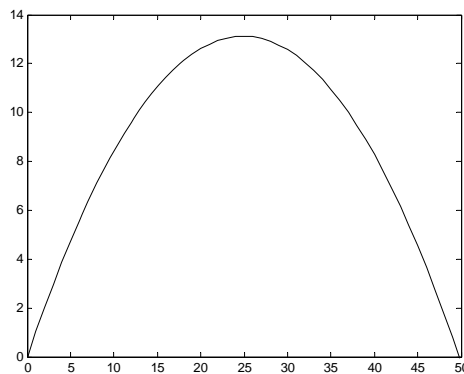


Figure IV-9 Fonction $y = -ax^2 + bx$.

En se basant sur cette méthode, nous proposons dans les sections suivantes deux stratégies de priorité garantie pour requêtes handover, Pseudo LUI et DCR-like:

IV.4 Stratégie de mise en file d'attente Pseudo Last Useful Instant

IV.4.1 Mise en file d'attente des requêtes handover

Considérons un UM avec un appel en cours quittant une cellule x et se dirigeant vers une cellule adjacente y ; il existe une zone où cet UM peut recevoir un signal avec un niveau de puissance acceptable des deux cellules x et y ; c'est la zone communément appelée zone de chevauchement. La période t_{qmax} durant laquelle un UM traverse la zone de chevauchement peut être utilisée pour mettre en attente sa requête handover si aucun canal n'est libre dans la cellule y . Afin de satisfaire les exigences de qualité de service ITU-T [11], il est essentiel d'adopter une stratégie de gestion des appels avec requêtes handover.

IV.4.2 Gestion des requêtes handover

Supposons qu'une procédure handover est initialisée dès qu'un UM actif pénètre dans la zone de chevauchement entre deux cellules x et y . Notons par $\Lambda(y)$ le groupe des canaux disponibles dans y . la requête handover est servie selon les prédispositions suivantes:

1. si $\Lambda(y) \neq \emptyset$, l'appel est immédiatement basculé, un nouveau canal est assigné à l'UM dans y , et l'ancien canal en x est libéré.
2. si $\Lambda(y) = \emptyset$, la requête handover est mise en file d'attente attendant qu'un canal se libère dans la cellule de transit y , entre temps l'appel est servi par la cellule x . une requête handover quitte la queue dans l'un des cas suivant:
 - *La procédure handover réussit:* l'appel est basculé avant qu'il se termine ou que sa période d'attente n'expire.
 - *La requête handover décline:* l'appel se termine avant d'être basculé ou que sa période d'attente n'expire.
 - *La procédure handover échoue et l'appel est perdu:* la requête handover n'a pas été servie durant t_{qmax} , et l'appel ne s'est pas terminé avant que la période d'attente n'expire.

IV.4.3 Stratégie de mise en file d'attente LUI (Last Useful Instant)

Depuis les années 80, plusieurs stratégies de mise en attente des requêtes handover ont été proposées pour les systèmes cellulaires terrestres d'abord puis pour les systèmes satellitaires.

Introduite en 1999 par *Del Re et al.* la stratégie de mise en file d'attente LUI est considérée comme une stratégie idéale pour les réseaux satellitaire mobile [11] du fait qu'elle est basée sur une évaluation exacte du temps d'attente en queue des requêtes handover; le système fait une évaluation exacte des périodes résiduelles d'attentes t_{qmax} de toutes les requêtes entrant en queue. Une nouvelle requête est enregistrée dans une position de la file d'attente avant (après) toutes les requêtes handover ayant une période d'attente résiduelle supérieure (inférieure) à sa période d'attente t_{qmax} [79], de telle façon que la requête handover la plus pressante est servie en premier lieu des qu'un canal est libéré dans la cellule de transit.

Une mise en œuvre pratique de la technique LUI dans les LEO-MSSs peut être basée sur l'utilisation d'un système de positionnement adapté, qui évalue la position de l'UM au début de l'appel et le suit pendant toute la durée de la communication. Remarquons qu'une fois que la position de l'UM est connue, il est possible de traquer ce dernier en estimant les variations de position, et cela en se basant sur l'*éphéméride* du satellite. Donc, la période t_{qmax} peut être obtenue à partir de l'équation (IV-11).

L'efficacité de cette discipline par rapport à la stratégie de mise en file d'attente la plus commune FIFO, dépend essentiellement du degré de distribution de t_{qmax} autour de sa valeur moyenne. Si cette valeur tend vers une valeur déterminée, alors la discipline LUI tend vers FIFO. Noter que la distribution de t_{qmax} dépend des suppositions prises pour le modèle de mobilité et les zones de chevauchements. De plus, l'efficacité de cette discipline dépend aussi du coefficient de mobilité.

Toutefois, l'implémentation d'un système de positionnement rend la mise en œuvre du système satellitaire plus compliquée. Moyennant un compromis entre la simplicité de mise en œuvre de la stratégie FIFO, et l'efficacité de la stratégie LUI, nous proposons dans le paragraphe suivant, une stratégie alternative Pseudo-LUI [42] qui est basée sur la méthode EPM présentée dans la section précédente.

IV.4.4 Stratégie de mise en file d'attente Pseudo LUI

Le but de cette stratégie est d'évaluer approximativement la période maximum d'attente pour un utilisateur actif entrant en queue, et cela en utilisant la méthode d'évaluation des paramètres EPM au lieu d'intégrer un système de positionnement, qui est le désavantage principal de la stratégie LUI.

En effet, la disposition régulière des cellules et les caractéristiques de mobilité font que la distance $o(z)$ qu'un UM traverse dans la zone de chevauchement reste la même pour toute requête handover, qu'elle soit générée à partir de la cellule de source ou d'une cellule de transit. Donc, il suffit d'estimer la période maximum d'attente en queue pour un appel en cours une seule fois pour l'utiliser ensuite dans n'importe quel appel à partir de la deuxième initialisation d'une requête handover.

En appliquant la méthode EPM, il est possible d'estimer t_{sH} (période maximale de séjour) pour chaque UM avec appel en cours.

Donc, dans la stratégie PLUI, le système évalue le temps maximum de séjour t_{sH} pour chaque appel initialisant sa deuxième requête handover et l'utilise afin d'estimer la période maximale d'attente que l'appel pourrait passer dans l'attente d'un canal libre. Cette valeur est enregistrée pour être utilisée si l'appel a besoin d'une autre procédure handover.

Nous proposons pour le problème de la région centrale (pour qui t_{sH} reste le même pour différentes valeurs de t_{qmax}) de considérer la période maximale t_{mxqp} , que de tels appels ont passé en attente dans les fois précédentes et de l'utiliser pour estimer la période maximale d'attente réelle et cela en utilisant la formule suivante:

$$t_{qmax} \cong t_{mxqp} + \left((t_{mxc} - t_{mxqp}) / 5 \right) \quad \text{IV-18}$$

t_{mxc} est la valeur maximale de t_{qmax} dans cette région (voir **Figure IV-2**) cette période est utilisé afin d'ordonner les requêtes handover suivantes en file d'attente selon la stratégie LUI.

Il est très important de noter que ces appels présentent une minorité parmi les requêtes mise en attente. En effet, dans [80] Markoulidakis *et al.* donnent une estimation du nombre moyen des requêtes handover par appel pour le même modèle de mobilité. Cette étude montre que le nombre moyen des requêtes handover initialisées par un appel se trouvant dans la région centrale d'une cellule est à peu près la moitié de celui des requêtes initialisées par un appel dans les zones de jonction. Nous supposons donc que ce problème n'aura qu'un impact limité sur l'efficacité de la stratégie proposée.

Les nouveaux appels initialisant leurs première requête handover sont ordonnés en queue suivant la stratégie FIFO, et avant toutes les autres requêtes, donc la priorité dans la file d'attente est donnée aux appels initialisant leurs premières requêtes handover.

IV.5 Stratégie de canaux de garde Dynamic Channel Reservation -like

IV.5.1 Dynamic Channel Reservation DCR technique [36] [37]

Les stratégies de réservation de canaux de garde pour requêtes handover (*Handover with Guard channel HG*) donnent la priorité de succès à ces requêtes en leur réservant exclusivement un certain nombre de canaux (l'ajustement des nombres de canaux peut être fixe ou dynamique). Les autres canaux sont utilisés aussi bien pour les nouveaux appels que pour les requêtes handover. Ceci diminue en effet la probabilité de perdre des appels durant une procédure handover, tout en augmentant cependant la probabilité de rejeter des nouvelles tentatives d'appels, puisque moins de canaux leur sont disponibles. De ce fait, il faut être très avisé dans le choix du nombre de canaux de garde.

Nous adoptons ici le modèle de mobilité Iridium utilisé dans [36], où les cellules sont supposées de forme rectangulaire de largeur $R=425 \text{ km}$ (voir **Figure IV-10**).

Dans la stratégie DCR, la réservation des canaux se fait dynamiquement en fonction d'un paramètre système appelé Nombre de Réservation de Canal (*Channel Reservation Number*.) CRN ; en effet, le système enregistre l'instant d'initialisation de chaque appel en cours dans sa zone de couverture et traque sa durée. Plus longue est sa durée, moins est la probabilité que l'appel requiert un handover vers la cellule voisine. Le paramètre système CRN est actualisé chaque fois qu'un événement surgit, c.à.d arrivées d'appels, requêtes handover ou terminaisons d'appels. CRN est donné en fonction de P_{hj} et w_j :

$$CRN = \sum_{j=1}^C w_j P_{hj} \quad \text{IV-19}$$

C : est le nombre total des canaux dans chaque cellule.

P_{hj} : est la probabilité qu'un appel en cours j initialisera une requête handover. Elle est égal à:

$$P_{hj} = \exp\left(-\frac{t_{Msj}}{T_m}\right)$$

IV-20

Avec t_{Msj} le temps de séjour de l'appel dans la cellule courante.

Cette probabilité doit être recalculée quand l'appel exécute un handover.

Chaque probabilité est *pesée* par le facteur de position w_j qui est la position de l'UM x_j divisée par le rayon cellulaire R , c.à.d $w_j = x_j / R$. Ce facteur est utilisé pour déterminer l'urgence de faire une réservation de canal correspondante.

La réservation des canaux dans une cellule est faite selon la valeur du paramètre système CRN dans la cellule précédente. CRN est arrondi au nombre entier le plus proche pour être le nombre de canaux réservés dans la prochaine cellule.

Ce processus est illustré graphiquement dans la **Figure IV-10**. Avec l'arrivée d'un nouvel appel, les conditions de trafic dans la cellule 1 changent et donc le CRN de cette cellule est recalculé et la cellule 2 essaiera de son mieux de réserver le nombre de canaux selon la nouvelle valeur de CRN. Quand un handover est exécuté de la cellule B vers la cellule C, les conditions de trafic de la cellule B et de la cellule C changent et donc il est indispensable de recalculer les CRNs des cellules B et C. Entre temps, et parce qu'il y a un canal libéré dans la cellule B, il y a une possibilité qu'il peut être réservé pour d'éventuelle requêtes handover de la cellule A si la cellule A n'a pas assez de canaux réservés. Par conséquence, les cellules B, C et D ajusteront leurs canaux réservés en fonction des différentes valeurs CRNs. Quand un appel se termine dans la cellule a , son CRN sera recalculé et les cellules a et b ajusteront leurs canaux réservés.

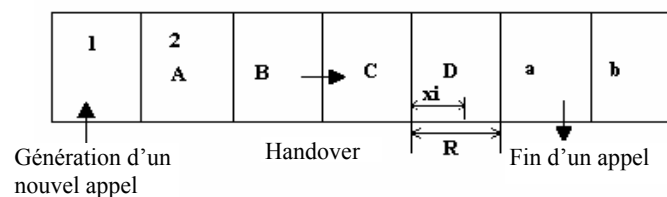


Figure IV-10 Réserve dynamique des canaux DCR.

Dans [36], la position de l'utilisateur a été supposée connue au commencement de l'appel, et cela en considérant qu'un système de positionnement est intégré au système LEO MSS, ce qui est important, voir indispensable, pour la stratégie DCR puisque le paramètre système CRN est calculé en fonction des positions des appels dans la cellule. Cependant, une telle intégration est considérée comme complexe. Pour l'éviter, nous présentons ici une stratégie intérimaire de DCR basée sur la méthode EPM que nous appelons *DCR-like* [43].

IV.5.2 Dynamic Channel Reservation DCR-like technique

Nous utilisons dans cette section la stratégie DCR dans différentes conditions: la position de l'UM est inconnue et les instants des requêtes handover consécutives sont déterminées en utilisant la méthode d'évaluation des paramètres EPM.

Donc c'est seulement à l'instant d'initialisation de la deuxième requête handover d'un appel en cours que le temps de séjour maximum t_{Msj} est estimé ($t_{Msj}=t_{sH}$), puis utilisé pour calculer la probabilité que l'appel initialisera une autre requête handover P_{hj} . La distance parcourue dans la nouvelle cellule de transit est calculée en fonction de t_{hr} , temps passé dans la cellule depuis l'instant de basculement : $x_i = V_{sat} t_{hr}$.

À l'instant de la première requête handover il n'est pas possible de discerner si l'appel est dans la zone *jonction* ou la zone centrale. Dans ce cas, nous devons attendre l'initialisation de la deuxième requête handover pour pouvoir déterminer la valeur du temps de séjour maximal. Donc pour moins de complexité, nous considérerons ici seulement la zone centrale des cellules; dans cette zone t_{Msj} a une valeur constante, par conséquent, le système détermine la position x d'un appel à l'initialisation de la première requête handover. C'est comme si on avait une disposition cellulaire rectangulaire.

Pour un nouvel appel initialisé, puisque le système est incapable de déterminer le temps de séjour maximal de l'UM, la stratégie *channel locking mechanism* [27] est adoptée: pour chaque nouvel appel un canal est affecté dans la cellule de source et un deuxième est *fermé* dans la cellule de transit suivante pour sa première requête handover. Les nouveaux appels ont ainsi un *handover* garanti: En conséquence, dans ce cas la stratégie DCR est appliquée seulement pour les appels qui ne sont pas dans leur cellule de source.

Donc, suivant la stratégie *DCR-like*, lorsque un nouvel appel arrive dans la cellule 1 le système essaie d'affecter un canal dans la cellule 1 et de bloquer un autre dans la cellule 2. Un nouvel appel est accepté seulement si deux canaux sont disponibles dans les deux cellules.

Si la terminaison d'un nouvel appel survient dans la cellule 1 son canal est libéré, ainsi que celui bloqué dans la cellule 2 pour son premier handover ce qui entraîne un changement dans les conditions de trafic, les CRNs des cellules sont alors recalculés comme il a été expliqué pour la technique DCR.

CHAPITRE 5

Etude analytique

V.1 Introduction

V.2 Analyse de FCA-QH avec FIFO LUI et PLUI

V.3 Analyse de FCR et FCR-*like*

V.1 Introduction

Compte tenu de la complexité mathématique que présente une étude analytique pour les systèmes d'affectation dynamique des canaux [87]-[91], la majorité des travaux de recherche sur ce cas ont été faits par simulation [11],[81]-[86] .

Nous présentons dans ce chapitre une étude analytique des stratégies de mise en attente FIFO, LUI, et PLUI pour une affectation fixe des canaux ainsi qu'une étude analytique pour les stratégies de réservation fixe des canaux de garde FCR (*Fixed Channel Reservation.*) et FCR-like. Cette étude sera utilisée pour évaluer la simulation présentée dans le chapitre suivant et cela en comparant les résultats analytiques et ceux de la simulation pour les cas fixes.

V.2 Analyse de FCA-QH avec différentes Stratégies de mise en attente

Dans cette section, une approche analytique pour évaluer la performance de FCA-QH est considérée. Elle est basée sur les suppositions et approximations suivantes:

- S canaux sont assignés par cellule selon (III-1).
- Les arrivées des nouveaux appels et des requêtes handover sont deux processus de Poisson indépendants avec taux moyens λ et λ_h , respectivement. λ_h est en relation avec λ suivant (III-30).
- La distribution statique du temps d'occupation de canal *holding time* dans une cellule pour les arrivées de nouveaux appels et des requêtes handover est approximée par une distribution exponentielle avec valeur moyenne $1/\mu$, donnée par:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\lambda(1 - P_{b1})}{\lambda(1 - P_{b1}) + \lambda_h(1 - P_{b2})} E[t_{H1}] + \frac{\lambda_h(1 - P_{b2})}{\lambda(1 - P_{b1}) + \lambda_h(1 - P_{b2})} E[t_{H2}] \quad \text{V-1}$$

Où $E(t_{H1})$ et $E(t_{H2})$ sont obtenus à partir de (III-20).

- Le temps maximum d'attente est approximé par une variable aléatoire exponentiellement distribué, de valeur moyenne $1/\mu_\omega$ donnée par (IV-8).

- Une file d'attente infinie.

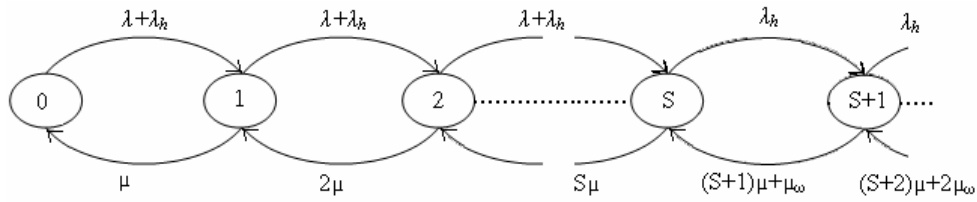


Figure V-1 Système d'attente pour FCA-QH chaîne de Markov.

De ce qui précède, chaque cellule peut être 'modélisée' comme un système de mise en file d'attente $M/M/S$ avec taux d'arrivée non homogène [1], [9], [41] (M : Processus d'arrivé de Poisson/ M : Temps de service exponentiellement distribué/ S : Nombre de canaux assignés par cellule.) comme le montre la **Figure V-1**. L'état de ce système est donné par la somme du nombre d'appels en service, et du nombre des requêtes handover en queue. Lorsque le système est à l'état n inférieur à S , le taux d'arrivée total est $\lambda + \lambda_h$, toutefois, si l'état est supérieur ou égal à S (c.à.d tout les canaux sont occupés), le taux brut d'arrivée devient λ_h . De plus, nous avons considéré qu'un appel peut finir dans la zone de chevauchement avant d'être servi et que son temps d'attente n'expire [92]. En conséquence, la chaîne de Markov sur la **Figure V-1**, contient un taux de "mort" additionnel $i\mu$ pour les états $S+i$, avec $i=1, 2, \dots$. Cette chaîne de Markov est valide pour les stratégies FIFO LUI, et PLUI.

La probabilité de l'état n , P_n est :

$$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} P_0, & 1 \leq n \leq S - 1 \\ \frac{(\lambda + \lambda_h)^S \lambda_h^{n-S}}{S! \mu^S \prod_{j=1}^{n-S} ((S + j)\mu + j\mu_\omega)} P_0, & n \geq S \end{cases} \quad \text{V-2}$$

Avec

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \left[\frac{(\lambda + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} \right] + \sum_{n=S}^{\infty} \left[\frac{(\lambda + \lambda_h)^S \lambda_h^{n-S}}{S! \mu^S \prod_{j=1}^{n-S} ((S+j)\mu + j\mu_\omega)} \right] \right\}^{-1} \quad \text{V-3}$$

Les nouveaux appels arrivés au système sont bloqués lorsque tous les canaux disponibles sont occupés, c.à.d lorsque le système de queue est à l'état $n \geq S$. Ainsi P_{b1} égale à:

$$P_{b1} = \sum_{n=S}^{\infty} P_n \quad \text{V-4}$$

La probabilité P_{b1} ne dépend pas de la discipline de mise en file d'attente utilisée pour les requêtes handover. Ceci a été vérifié au moyen de simulations (voir chapitre 7). Alors que P_{b2} dépend de la politique de mise en file d'attente choisie.

Avec la stratégie FIFO, P_{b2} peut être dérivée par une étude présentée dans [1] et [41] et en prenant en compte que:

1. P_{b2} doit contenir, comme facteur multiplicatif, la probabilité P_{uh} que l'appel avec une requête handover mise en queue, ne se termine pas avant que t_{qmax} expire,. Et comme nous avons des distributions exponentielles du temps maximum d'attente en queue et du temps d'occupation de canal, P_{uh} est:

$$P_{uh} = \frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \quad \text{V-5}$$

2. Les probabilités des états sont données par (V-2) et (V-3).
3. nous considérons les taux additionnels de "départ" $i\mu$ pour les états $S+i$ avec $i=1,2,\dots$ dus aux appels qui se terminent dans la zone de chevauchement avant d'accomplir leurs procédures handover.

Ainsi, nous avons :

$$P_{b2} = \frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \sum_{n=S}^{\infty} P_n \left\{ 1 - \frac{S\mu}{S\mu + \mu_\omega} \cdot \prod_{j=1}^{n-S} \left[1 - \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \left(\frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \frac{1}{2} \right)^j \right] \right\} \quad \text{V-6}$$

Plus de détails sont donnés dans [Annexe 3].

Avec la stratégie LUI, chaque requête handover atteint la tête de la file d'attente, à moins que la requête ne quitte la queue parce que l'appel s'est terminé. Donc, seule la requête se trouvant à la tête de la queue risque d'échouer. Par conséquent, la probabilité d'échec d'une requête handover qui initialement entre en queue à la position $n > S$ ne dépend pas de n .

Désignons par $P_{b2|S}$ la probabilité d'échec d'une requête handover, alors en utilisant (V-4) on obtient [11]:

$$P_{b2} = P_{b2|S} P_{b1}. \quad \text{V-7}$$

$P_{b2|S}$ prend en compte deux événements conjoints et indépendants:

1. l'appel A dont la requête handover est à la tête de la queue ne finit pas avant que sa période de mise en queue maximale n'expire; la probabilité de cet événement est P_{uh} .
2. aucun des S canaux n'est libéré dans la cellule de transit de A avant que n'expire sa période de mise en queue maximale. Dénotons par P_f la probabilité de cet événement. Selon les distributions exponentielles des temps de mise en queue maximums et des temps d'occupation des canaux, nous avons:

$$P_f = \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega}. \quad \text{V-8}$$

En conclusion, dans le cas LUI P_{b2} est donnée par:

$$P_{b2} = P_{b1} \frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \quad \text{V-9}$$

Pour la stratégie PLUI le problème discuté dans la section précédente concernant les appels qui appartiennent à la région centrale est ignoré.

Nous supposons aussi que la $n^{ième}$ requête qui entre en queue a déjà été basculée et a besoin d'être basculée une autre fois.

Puisque les appels ordonnés dans la file d'attente suivant la stratégie FIFO sont prioritaires, et parmi ceux ordonnés selon la stratégie LUI, seulement la requête se trouvant à la tête de la file risque d'échouer, la probabilité que la $n^{ième}$ requête qui entre en queue soit bloquée est donnée par:

$$P_{b2} = \frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \sum_{n=S}^{\infty} P_n \sum_{nf=0}^{n-S} \left\{ \left(1 - \frac{S\mu}{S\mu + \mu_\omega} \right) \cdot \prod_{j=1}^{nf} \left[1 - \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \left(\frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \frac{1}{2} \right)^j \right] \right\} \left(\frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \right)^{(1-0^{n-s-nf})} \quad \text{V-10}$$

Noter qu'une approche récursive est nécessaire pour calculer P_{b1} et P_{b2} (pour les trois disciplines de mise en file d'attente) en fonction de λ , puisque λ_h dépend des deux (P_{b1} et P_{b2}). Afin d'accélérer la convergence, la méthode itérative est basée sur le paramètre $n_h = \lambda_h / \lambda$ qui est fonction de P_{b1} et P_{b2} [11].

Nous commençons l'itération avec la valeur de n_h obtenu à partir de (III-30) et (III-31) avec $P_{b1} = P_{b2} = 0$ (c'est la valeur maximum de n_h ; qui décroît pour des valeurs ascendantes de P_{b1} et P_{b2}). Avec une telle valeur de n_h , μ , et P_n pour $n=0, 1, \dots$, sont calculés à partir de (V-1)-(V-3). Ces valeurs sont utilisées pour déterminer P_{b1} et P_{b2} et, ainsi, la nouvelle valeur de n_h . Cette valeur est approximée avec celle utilisée à l'étape précédente. Une nouvelle itération commence avec cette valeur moyenne de n_h . La méthode itérative est stoppée lorsque la différence relative entre deux valeurs de n_h consécutives est inférieure à un seuil donné (par exemple 10^{-3}). Finalement, P_{ns} est dérivée à partir de (III-34).

$$P_{ns} = P_{b1} + (1 - P_{b1}) \frac{n_h}{1 - P_{b1}} P_{b2}. \quad \text{V-11}$$

La **Figure V-2** donne les résultats analytiques concernant FCA-QH avec les stratégies FIFO LUI et PLUI dans le cas IRIDIUM avec $S = 10$. Nous remarquons qu'il n'y a pas de différence significative entre les performances des trois stratégies de mise en attente. Ce résultat peut être justifié par le fait que le temps passé par un UM dans la zone de chevauchement est petit (7 sec en moyenne.), et que chaque cellule gère sa propre file d'attente de sorte que seulement un nombre limité d'appels sont classés ensemble, en conséquence il n'y aura pas grande différence à servir la requête la plus urgente (LUI, PLUI) ou la plus ancienne (FIFO).

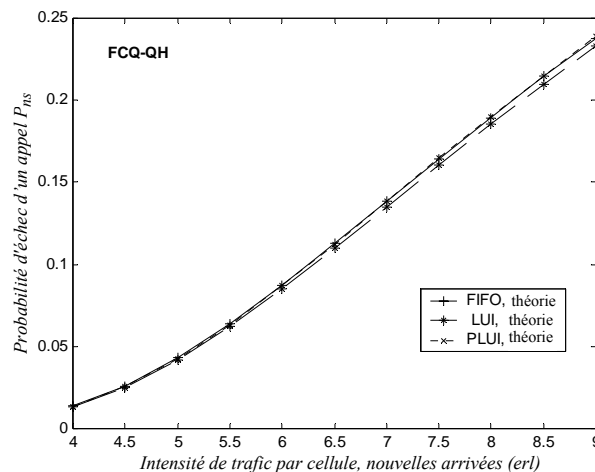


Figure V-2 Comparaison théorique entre les performances des stratégies de mises en attente FIFO, LUI et PLUI pour le cas FCA-QH au terme de P_{ns} (cas IRIDIUM, $S=10$)

En considérant l'affectation dynamique des canaux, les stratégie LUI et Pseudo-LUI auront plus d'impact sur la performance du réseau comme le montre la section suivante. Pour ce cas les résultats sont dérivés par simulation du fait de la grande complexité de l'étude théorique [11].

V.3 Etude Analytique de FCR et FCR-like

Compte tenu de la difficulté mathématique que présente l'analyse de DCR et DCR-like, nous procédons ici à l'analyse des stratégies FCR et FCR-like; un nombre de canaux fixe $C_h=2$ sont réservés pour les requêtes handover et le mécanisme *locking canal* est utilisé pour les nouveaux appels dans le cas de FCR-like.

a. Analyse de FCR

Les probabilités qu'un appel dans sa cellule de source, ou dans une cellule de transit, initialise une requête handover sont respectivement :

$$P_{h1} = \frac{1 - e^{-\alpha}}{\alpha}, \quad P_{h2} = e^{-\alpha} \quad \text{V-12}$$

α , paramètre sans dimension qui caractérise la mobilité de l'utilisateur, (pour le modèle de mobilité considéré dans le 4^{ème} chapitre pour DCR): $\alpha = \frac{R}{T_m V_{sat}}$.

L'approche analytique est basée sur à peu près les mêmes approximations et suppositions faites dans la section précédente dont :

- Les arrivées des nouveaux appels et des requêtes handover sont deux processus de Poisson indépendants, avec taux moyens λ et λ_h par cellule, avec: $n_h = \lambda_h / \lambda$.
- Une population infinie d'utilisateurs et un trafic uniforme.
- La durée d'occupation du canal pour nouveaux appels et requêtes handover est approximée par une distribution exponentielle avec moyenne $1/\mu$ exprimée par :

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\lambda(1 - P_{b1})}{\lambda(1 - P_{b1}) + \lambda_h(1 - P_{b2})} E(t_{h1}) + \frac{\lambda_h(1 - P_{b2})}{\lambda(1 - P_{b1}) + \lambda_h(1 - P_{b2})} E(t_{h2}) \quad \text{V-13}$$

Avec $E[t_{h1}]$ et $E[t_{h2}]$ sont dérivés à partir de :

$$E[t_{hi}] = T_m(1 - P_{hi}), \quad i = 1, 2. \quad \text{V-14}$$

En appliquant l'équation de conservation de flux nous avons :

$$n_h = \frac{(1 - P_{b1})P_{h1}}{1 - (1 - P_{b2})P_{h2}} \quad \text{V-15}$$

Dans FCR la priorité est donnée aux requêtes handover en affectant C_h canaux exclusivement pour les requêtes handover parmi les C canaux disponibles dans chaque cellule. Le reste des canaux $C - C_h$ sont partagés entre les nouveaux appels et les requêtes handover. Donc un nouvel appel est bloqué si le nombre des canaux disponibles dans la cellule est inférieur ou

égale à C_h à l'instant d'initialisation de l'appel. Une requête handover échoue seulement si aucun canal n'est disponible dans la cellule de destination.

Chaque cellule peut être modélisée comme un système de file d'attente $M/M/C/C_h$ avec taux d'arrivés non homogènes. L'état du système est défini comme étant le nombre des appels en service. Le diagramme de transition des états est donné par la figure:

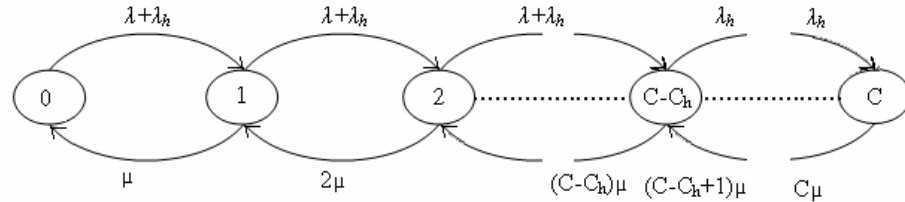


Figure V-3 Diagramme de transitions des états.

Les probabilités des états sont donnés par :

$$P_j = \begin{cases} \frac{\lambda + \lambda_h}{j\mu} P_{j-1}, & 1 \leq j \leq C - C_h \\ \frac{\lambda_h}{j\mu} P_{j-1} & C - C_h + 1 \leq j \leq C \end{cases} \quad \text{V-16}$$

En utilisant les équations récursives avec la condition de normalisation :

$$\sum_{j=0}^C P_j = 1 \quad \text{V-17}$$

Nous obtenons :

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C-C_h} \frac{(\lambda + \lambda_h)^k}{k! \mu^k} + \sum_{k=C-C_h}^C \frac{(\lambda + \lambda_h)^{C-C_h} \lambda_h^{k-(C-C_h)}}{k! \mu^k} \right]^{-1} \quad \text{V-18}$$

$$P_j = \begin{cases} \frac{(\lambda + \lambda_h)^j}{j! \mu^j} P_0, & 1 \leq j \leq C - C_h \\ \frac{(\lambda + \lambda_h)^{C-C_h} \lambda_h^{j-(C-C_h)}}{j! \mu^j} P_0, & C - C_h + 1 \leq j \leq C \end{cases} \quad \text{V-19}$$

Ainsi, la probabilité d'échec d'une requête handover P_{b2} est égale à la probabilité que le système soit à l'état C.

$$P_{b2} = \frac{(\lambda + \lambda_h)^{C-C_h} \lambda_h^{C_h}}{C! \mu^C} P_0 \quad \text{V-20}$$

Et la probabilité de trouver tous les canaux d'une cellule occupés P_{b1} est :

$$P_{b1} = \sum_{j=C-C_h}^C P_j \quad \text{V-21}$$

Les probabilités de perte et d'insuccès d'appel, P_{drp} et P_{ns} respectivement, sont données par:

$$P_{drp} = \frac{P_{b2} P_{h1}}{1 - (P_{h2} (1 - P_{b2}))} \quad \text{V-22}$$

$$P_{ns} = P_{b1} + (1 - P_{b1}) P_{drp} \quad \text{V-23}$$

b. Analyse de FCR-like

Nous considérons que les nouveaux appels arrivent au système suivant un processus de Poisson, la durée d'occupation de canal est exponentiellement distribuée, un trafic uniforme et une population infinie d'utilisateurs.

Les composants de trafic dans une cellule donnée sont:

- ✓ λ_{Gn} : taux d'arrivée de nouveaux appels,
- ✓ λ_h : taux d'arrivée de requête handover, $\lambda_h = \lambda_{Fh} + \lambda_{Sh}$.
 - avec λ_{Fh} taux d'arrivée d'appels initialisant leur première requête handover
 - et λ_{Sh} : taux d'arrivée des autres requêtes handover.

Noter qu'une cellule donnée reçoit des requêtes d'affectation de canaux dues aux nouvelles tentatives de communication générés par les utilisateurs qui résident dans la cellule elle-même et ceux résidant dans la cellule qui la précède.

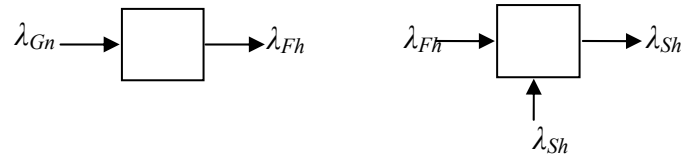


Figure V-4 flux des appels entrants et sortants.

A fin de déterminer l'expression du taux d'arrivée des requêtes handover en fonction du taux d'arrivée des nouveaux appels et de la probabilité de blocage P_b (c.à.d, la probabilité qu'une requête d'établissement de connexion trouve tous les canaux occupés dans une cellule), les requêtes handover sont assumées arriver dans une cellule suivant un processus de Poisson, indépendant du processus d'arrivée des nouveaux appels et soumis à la condition d'équilibre de flux dans une cellule entre handover entrants et sortants [1]. Cette condition d'équilibre sera appliquée séparément pour les nouveaux appels et les requêtes handover en prenant en considération que:

- Une nouvelle tentative d'appel est acceptée seulement si un canal est libre dans la cellule de source et un autre dans la première cellule de transit. Comme toutes les cellules sont identiques et ont les mêmes paramètres de trafic, la probabilité de trouver simultanément un canal libre dans chacune des deux cellules est égale à $(1-P_b)^2$, et donc la probabilité de blocage pour les nouvelles tentatives d'appel est : $P_{bl} = 1 - (1-P_b)^2$.

- La première requête handover pour chaque appel accepté n'est jamais bloquée; alors la probabilité de succès de la première requête handover est égale à un.

- Les nouveaux appels initialisés génèrent les premières requêtes handover, et ces derniers avec les appels déjà basculés génèrent les autres requêtes handover (voir

Figure V-4), donc nous avons:

$$\lambda_{Gn}(1-P_b)^2 P_{hl} = \lambda_{Fh}$$

V-24

$$\lambda_{Sh}(1 - P_{b2})P_{h2} + \lambda_{Fh}P_{h2} = \lambda_{Sh} \quad \text{V-25}$$

Alors nous obtenons:

$$\lambda_{Sh} = \frac{P_{h2}}{1 - (1 - P_{b2})P_{h2}} \lambda_{Fh} \quad \text{V-26}$$

$$\Rightarrow \lambda_{Sh} = \frac{P_{h1}P_{h2}(1 - P_b)^2}{1 - (1 - P_{b2})P_{h2}} \lambda_{Gn} \quad \text{V-27}$$

À partir des relations précitées, le taux d'arrivée des requêtes handover $\lambda_h = \lambda_{Fh} + \lambda_{Sh}$ est donné par:

$$\lambda_h = \frac{P_{h1}(1 - P_b)^2(1 + P_{h2}P_{b2})}{1 - (1 - P_{b2})P_{h2}} \lambda_{Gn} \quad \text{V-28}$$

La dérivation du temps d'occupation de canal dans une cellule par une distribution exponentielle, avec taux μ suit celle de [27], [93] et [94]. Considérons le temps moyen d'occupation de canal dans une cellule pour différents types d'appels; par conséquence, chaque valeur moyenne est pesée avec sa probabilité d'occurrence; alors, ces contributions sont additionnées afin d'obtenir le temps moyen d'occupation de canal. Les définitions suivantes sont caractéristiques :

P_1 : la probabilité qu'un canal est occupé (ou fermé) par un nouvel appel de la cellule considéré (ou précédente).

P_2 : probabilité qu'un canal est occupé par un appel basculé (un appel qui n'est pas dans sa 1^{ère} cellule de transit).

$E [T_{h1}]$: valeur moyenne de la durée d'occupation d'un canal dans la cellule source.

$E [T_{h2}]$: valeur moyenne de la durée d'occupation d'un canal dans une cellule de transit.

$E [T_{h3}]$: valeur moyenne du temps de verrouillage d'un canal dans la première cellule de transit. Notez qu'il incorpore la période d'attente et la période active.

Ainsi la durée moyenne d'occupation de canal dans une cellule est donnée par:

$$\frac{1}{\mu} = P_1 E[T_{h1}] + P_2 E[T_{h2}] + P_1 E[T_{h3}] \quad \text{V-29}$$

Avec P_1 et P_2 égales à:

$$P_1 = \frac{\lambda_{Gn}(1-P_b)^2}{\Lambda} \quad \text{V-30}$$

$$P_2 = \frac{\lambda_{SH}(1-P_{b2})}{\Lambda} \quad \text{V-31}$$

Λ est le taux moyen de trafic total transporté :

$$\Lambda = 2\lambda_{Gn}(1-P_b)^2 + \lambda_{Sh}(1-P_{b2}) + \lambda_{Fh} \quad \text{V-32}$$

Les temps moyens d'occupation sont :

$$E[T_{h1}] = T_m [1 - P_{h1}] \quad \text{V-33}$$

$$E[T_{h2}] = T_m [1 - P_{h2}] \quad \text{V-34}$$

$$E[T_{h3}] = T_m [1 - P_{h1}P_{h2}] \quad \text{V-35}$$

Et donc nous avons :

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\lambda_{Gn}(1-P_b)^2}{\Lambda} (T_m [1 - P_{h1}] + T_m [1 - P_{h1}P_{h2}]) + \frac{\lambda_{SH}(1-P_{b2})}{\Lambda} T_m [1 - P_{h2}] \quad \text{V-36}$$

Le taux moyen total des arrivées d'appels dans une cellule est la somme des différents taux d'arrivée moyens:

$$\lambda_t = 2\lambda_{Gn}(1 - P_b) + \lambda_h \quad \text{V-37}$$

Cette expression prend en compte les deux contributions ayant rapport avec les nouveaux appels: celle qui provient de la cellule elle même, et celle qui provient de la cellule précédente, chacune conditionnée par la nécessité d'avoir un canal libre dans la cellule précédente ou suivante.

À partir de ce qui précède, nous avons que chaque cellule peut être modelée comme un système de mise en file d'attente $M/M/C$ avec taux d'arrivée de nouveaux appels et de requêtes handover, λ_{Gn} et λ_h respectivement[27]. Le nombre d'appels en service représente l'état du système de mise en file d'attente. La probabilité de l'état j , P_j est donnée par:

$$P_j = \begin{cases} \frac{\lambda_t^j}{j! \mu^j} P_0, & 1 \leq j \leq C - C_h \\ \frac{\lambda_t^{(C-C_h)} \lambda_h^{j-(C-C_h)}}{j! \mu^j} P_0, & C - C_h + 1 \leq j \leq C \end{cases} \quad \text{V-38}$$

Où la probabilité que le système soit inactif P_0 est:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{C-C_h} \frac{\lambda_t^k}{k! \mu^k} + \sum_{k=C-C_h+1}^C \frac{\lambda_t^{C-C_h} \lambda_h^{k-(C-C_h)}}{k! \mu^k} \right]^{-1} \quad \text{V-39}$$

La probabilité de trouver tous les canaux d'une cellule occupés P_b est: $P_b = \sum_{j=C-C_h}^C P_j$.

Un nouvel appel est accepté seulement si un canal est inactif dans la cellule de source et un autre dans la première cellule de transit. Par conséquent, la probabilité de blocage d'un nouvel appel est donnée par:

$$P_{b1} = 1 - (1 - P_b)^2 = 2P_b - P_b^2 \quad \text{V-40}$$

La probabilité de l'échec d'une requête handover est:

$$P_{b2} = P_C = \frac{\lambda_t^{(C-C_h)} \lambda_h^{C_h}}{C! \mu^C} P_0 \tag{V-41}$$

Les probabilités de perte et d'insuccès d'appel, P_{drp} et P_{ns} respectivement, sont données par:

$$P_{drp} = \frac{P_{h1}(1 + P_{h2}P_{b2})P_{b2}}{1 - (1 - P_{b2})P_{h2}} \qquad P_{ns} = P_{b1} + (1 - P_{b1})P_{drp} \tag{V-42}$$

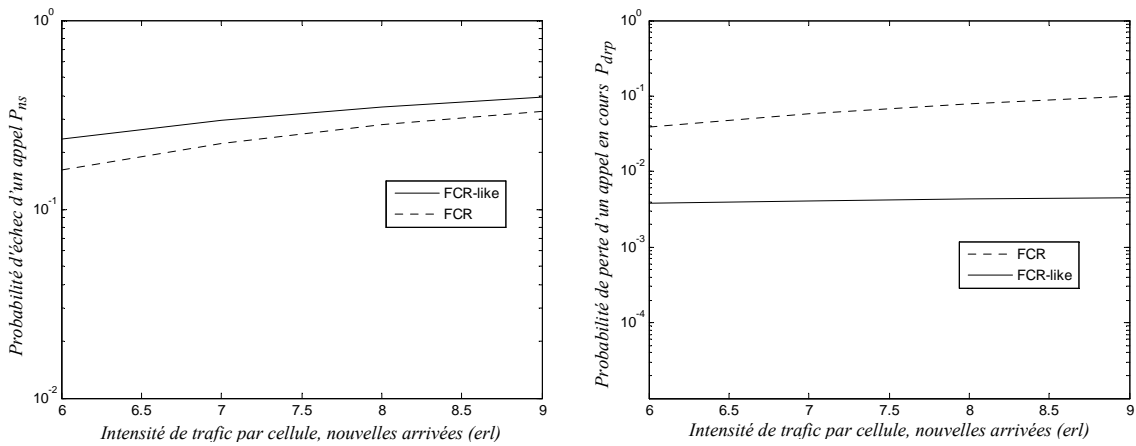


Figure V-5 Comparaison théorique entre les performances des stratégies de réservation de canaux de garde FCR, et FCR-like au terme de P_{ns} et P_{drp} (cas IRIDIUM, $S=10$)

La **Figure V-5** présente les résultats analytiques de FCR et FCR-like. Aux termes de la probabilité P_{drp} , nous remarquons que FCR-like fournit de bonnes performances. En effet, la probabilité d'échouement d'appels en cours est plus importante pour FCR puisque le nombre de canaux de garde devient insuffisant pour les requêtes handover générées qui leur nombre devient plus important lorsque le trafic augmente, augmentant ainsi la probabilité d'échec des requêtes handover. Tandis que pour FCR-like le succès garanti du premier handover implique une meilleure probabilité d'échec de requêtes handover, et en conséquence, une meilleure probabilité d'échouement d'appels en cours.

Toutefois, nous remarquons que FCR performe une meilleure probabilité P_{ns} , ceci est essentiellement dû au mécanisme *Locking-channel* utilisé dans FCR-like, qui bloque un canal

dans la première cellule de transit dès le début de l'appel dans sa cellule de source. Si cette procédure améliore la probabilité de perte d'appels en cours puisque le succès du premier handover est garanti, elle entraîne cependant une augmentation dans la probabilité de blocage de nouveaux appels, puisque moins de canaux seront disponibles pour eux. Cette augmentation entraîne une augmentation dans la probabilité d'insuccès d'appels.

CHAPITRE 6

Le système RS

VI.1 Introduction

VI.2 La logique floue

VI.3 Problème posé

VI.4 Rescuing system RS

VI.1 Introduction

Le handover entre faisceaux est un problème de premier ordre pour les réseaux satellitaires mobiles ; les requêtes pour un basculement d'une cellule à une autre sont très fréquentes et cela à cause des cellules relativement petites et la vitesse relativement grande des satellites. Le nombre limité des canaux radio provoque souvent l'échec de la procédure handover et donc la perte prématurée d'appels en cours, ce qui a un effet défavorable sur la performance du réseau.

Nous abordons dans cette étude un autre aspect du problème handover qui, à notre connaissance, n'a pas été traité dans des études antérieures: les appels perdus après une courte durée de leurs initialisations à cause d'un échec de la procédure handover. En effet, compte tenu que ces procédures sont très fréquentes et que les cellules dans les systèmes satellitaires LEO sont considérées très petites relativement à la mobilité du système, le nombre de ces appels est important et le désagrément que cela engendre est significatif.

Comme solution à ce problème, nous proposons dans ce qui suit, un système de décision basé sur le concept de la logique floue, qui secourt les appels qui ne durent que quelques secondes avant d'affronter une fin prématurée, aux dépens de ceux ayant des durées relativement longues.

VI.2 La logique floue

La logique floue est née en 1965 des travaux de *Lotfi A. Zadeh*, Professeur à l'Université de Californie à *Berkley* [95], internationalement reconnu pour ses travaux en automatique et théorie des systèmes, qui a éprouvé le besoin de formaliser la représentation et le traitement de connaissances imprécises ou approximatives, afin de pouvoir traiter des systèmes d'une grande complexité dans lesquels sont, par exemple, présents des facteurs humains [96]. La logique floue intervient dans la manipulation de connaissances imparfaites.

a. Définition de sous-ensembles flous

Le concept de sous-ensemble flou a été introduit pour éviter les passages brusques d'une classe à une autre (de la classe noire à la classe blanche par exemple) et autoriser des éléments à n'appartenir complètement ni à l'une ni à l'autre (à être gris, par exemple), ou encore à appartenir partiellement à chacune (avec un fort degré à la classe noire et un faible degré à la classe blanche dans le cas du gris foncé). La définition d'un sous ensemble flou répond au besoin de représenter

des connaissances imprécises, soit parce qu'elles sont exprimées en langage naturel, soit parce qu'elles sont obtenues avec des instruments d'observation qui produisent des erreurs de mesure.

Un sous-ensemble flou A de X est défini par une fonction d'appartenance qui associe à chaque élément x de X , le degré $f_A(x)$, compris entre 0 et 1, avec lequel x appartient à A :

$$f_A : X \rightarrow [0,1]$$

Dans le cas particulier où f_A ne prend que des valeurs égales à 0 ou 1, le sous-ensemble flou A est un sous-ensemble classique de X . Un sous ensemble classique est donc un cas particulier de sous-ensemble flou.

b. Décision en environnement flou

Tous les aspects de l'aide à la décision ou de la prise de décision ont été étudiés dans un contexte flou, pour traiter des situations dans lesquelles certaines connaissances conduisant à la décision sont imparfaites.

La prise de décision peut reposer sur des contraintes floues "*la durée de la réparation est approximativement de 120 heures*", sur des critères dont les caractérisations sont floues "*le confort est satisfaisant*", l'objectif de la prise de décision lui-même pouvant être flou "*le résultat financier doit être largement supérieur à celui de l'année précédente*". La prise de décision peut être regardée comme la recherche, parmi les décisions d'un ensemble D , de celle qui est la plus compatible avec les valeurs observées des critères d'un ensemble k .

La forme la plus simple de décision en environnement flou [97] consiste en la donnée d'un objectif flou G et d'une contrainte floue c comme deux sous-ensembles flous de D . par exemple, si D est l'ensemble des trains pour *Alger*, l'objectif de la décision peut être de choisir un train qui arrive "*relativement tard*", étant donné la contrainte indiquant que le train doit arriver "*bien avant l'heure de la conférence*". Une *décision floue* est alors le sous-ensemble flou d de D défini comme $d = G \cap c$. L'intersection \cap peut être associée, classiquement, à l'opérateur minimum. Une *décision optimale* est alors obtenue dans l'ensemble des éléments de D où la fonction d'appartenance f_d de d atteint son maximum.

VI.3 Problème posé

Dans les réseaux LEO MSSs, un nombre important d'appels en cours sont forcés à une fin prématurée après une courte durée de leurs initialisations, et cela à cause d'un échec de la procédure handover.

Dans le modèle de mobilité considéré, le temps nécessaire à un UM pour traverser la

distance maximale dans une cellule avant d'initialiser une requête handover (c.à.d le temps de séjour maximal) t_{Msj} donné par (IV-13). Si un appel en cours attendant la libération d'un canal dans sa cellule de transit atteint la limite de la zone de chevauchement sans être basculé, la communication est perdue. Donc la période maximale t_{MP} nécessaire à un appel pour traverser une cellule de bout en bout est égale à la somme du temps de séjour maximal et du temps maximal de mise en file d'attente t_{qmax} (IV-11) $t_{MP} = t_{Msj} + t_{qmax}$. La **Figure VI-1** représente la variation de cette période en fonction de z .

Nous remarquons que dans certaines régions cette période est très courte. Par exemple, pour $199.5km < |z| < 212.5km$, les valeurs de t_{MP} sont inférieures à $20 sec$ qui représente $T_m / 9$. T_m est la durée moyenne des communications généralement supposée égale à $180 sec$.

En conséquence les appels générés dans ces régions auront probablement besoin d'être basculés après une courte durée de leurs initialisations, et ainsi risquent d'être forcés à une fin prématurée si dans la cellule de transit aucun canal n'est disponible.

Le rôle du système de décision proposé est de secourir les appels qui affrontent un échec de la procédure handover après une durée relativement courte de leurs initialisations.

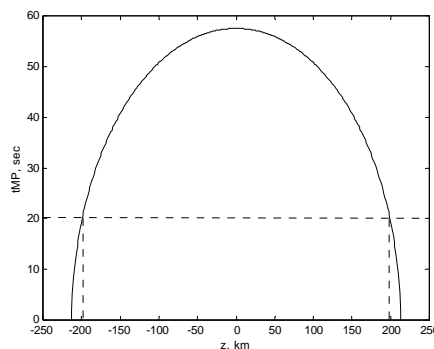


Figure VI-1 Période maximale qu'un appel peut passer dans une cellule t_{MP} en fonction de z .

Pour secourir ces appels, le système de décision que nous proposons favorise le service des appels qui ne durent que depuis '*peu*' de temps, par rapport à ceux se trouvant dans les cellules de transits de ces derniers, et qui durent depuis un temps '*relativement long*'.

Le problème présenté comme cela semble compliqué; En effet notre raisonnement est basé sur des appréciations '*courte durée*' '*Relativement long*', et prendre une décision adéquate peut sembler difficile. Cependant, en présence d'un système d'aide à la décision, la logique floue

est considérée comme un outil important à ajouter à la panoplie des outils disponibles. Son utilisation dans notre cas est intéressante en raison de la grande variabilité du système et la méconnaissance de la totalité des situations possibles.

VI.4 Rescuing System RS [98]

Dénotons par CHF un appel affrontant un échec handover et par CLD le plus ancien appel (celui qui a la plus longue durée) dans la cellule de transit de CHF.

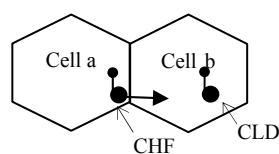


Figure VI-2 un appel affrontant le rejet de sa requête handover

Le système de secours est activé à l'instant de rejection d'une requête handover, il compare les durées de CHF et CLD: si la durée de CHF est considérée relativement courte par rapport à la durée de CLD, ce dernier est interrompu et son canal est utilisé pour secourir CHF.

A fin de représenter les incertitudes linguistiques (courte durée, longue durée ...) par des nombres dans l'intervalle $[0, 1]$ une fonction d'appartenance de 5 sous ensembles flous {très courte, courte, moyenne, longue, très longue} est définie comme suit:

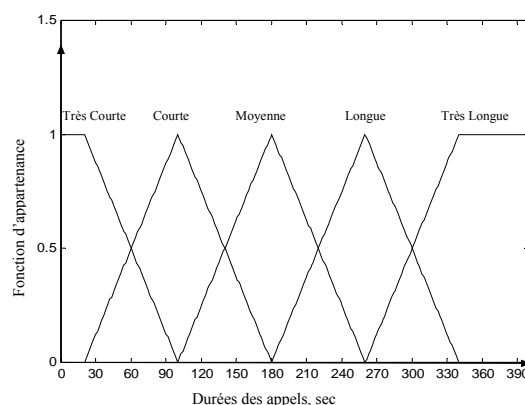


Figure VI-3 Fonction d'appartenance des durées d'appels

La décision du système est définie par deux sous ensemble flous {Secourt, Non Secourt}. Parmi les 25 cas possibles, le système décide une opération de secourt dans les 10 cas suivants:

TABLE VI.1 *Cas pour lesquels RS décide une opération de secourt*

	CHF		CLD
SI	Très Courte	ET	Courte
SI	Très Courte	ET	Moyenne
SI	Très Courte	ET	Longue
SI	Très Courte	ET	Très Longue
SI	Courte	ET	Moyenne
SI	Courte	ET	Longue
SI	Courte	ET	Très Longue
SI	Moyenne	ET	Longue
SI	Moyenne	ET	Très Longue
SI	Longue	ET	Très Longue

Pour tout les autre cas, le système décide de ne pas secourir l'appel affrontant une fin prématurée.

Le ET flou est l'opérateur minimum et la décision optimale est prise égale à la valeur maximale dans le sous ensemble flou de décision du système.

Exemple.2.1 *pour mieux expliquer le comportement du système proposé prenons quelques exemples:la table suivante représente les degrés d'appartenance de différentes durées d'appels dans les cinq sous ensembles flous :*

TABLE VI.2. *Degrés d'appartenance de différentes durées d'appels*

Durées d'appels (sec)	Très Courte	Courte	Moyenne	Longue	Très Longue	Max
100	0	1	0	0	0	1 dans C
20	1	0	0	0	0	1 dans TC
150	0	0.3750	0.6250	0	0	0.625 dans M
80	0.2500	0.7500	0	0	0	0.750 dans C
200	0	0	0.7500	0.2500	0	0.75 dans M
360	0	0	0	0	1	1 dans TL

- Si par exemple, les durées de CHF et CLD sont 20sec et 200sec respectivement, nous avons alors CHF (Très Courte) ET CLD (Moyenne) et donc la décision est **Secours**.
- Si par exemple, les durées de CHF et CLD sont 80sec et 100sec respectivement, nous avons CHF (Courte) ET CLD (Courte) alors la décision est **Non Secours**.

CHAPITRE 7

Résultats et simulation

VII.1 Introduction

VII.2 Réseau simulé

VII.3 Résultats de simulation

VII.1 Introduction

Pour étudier le cas dynamique, nous avons développé une simulation du réseau étudié, qui nous permet d'évaluer les performances de ce dernier pour différentes stratégies de gestion de requêtes handover et différentes techniques d'affectation des canaux.

La simulation a été développée en langage *Matlab* qui est approprié à une telle étude vue sa bibliothèque qui propose plusieurs fonctions de distribution nécessaires dans notre application. Nous avons opté pour un temps de simulation très long *20 000 sec* le double du temps de simulation généralement utilisé en littérature [25], ce qui garantit la stabilité du système et des résultats convergents.

Cette simulation nous permet d'évaluer, par l'intermédiaire des différents paramètres QoS, les stratégies de gestion de requêtes handover que nous proposons et de les comparer avec d'autres stratégies déjà utilisées dans la littérature.

Nous présentons dans cette section une étude sur différents aspects de performance de réseau MSS ; nous abordons d'abord le problème d'allocation des canaux et exposons par l'intermédiaire des résultats de probabilités, l'efficacité d'une allocation dynamique par rapport à l'allocation fixe. Ensuite nous discutons l'effet de prioriser le service (donner la priorité aux) des requêtes handover par rapport aux tentatives de nouveaux appels. Nous présentons par la suite, les résultats concernant les deux stratégies que nous proposons PLUI et DCR-like, et nous les comparons à d'autres stratégies. Enfin, nous présentons les résultats relatifs à l'utilisation du système à décision RS.

Présentons tout d'abord le réseau simulé appelé réseau plié *folded network*, qui permet une simulation à *trois dimensions* du réseau satellitaire.

VII.2 Le réseau simulé (plié)

Le réseau simulé est parallélogramme; c'est un choix commun dans la littérature pour étudier des systèmes cellulaires terrestres. Cependant pour adapter cette topologie aux caractéristiques des systèmes satellitaire MSSs universels où le réseau cellulaire est à trois dimensions, nous définissons un réseau fermé de cellules afin d'obtenir une ceinture complète des cellules interférées pour chaque cellule [11].

Nous dénotons par N le nombre des cellules par côté dans le réseau cellulaire simulé. Chaque cellule du réseau a un nombre d'identification: $n = 1, 2, 3, \dots, N$, (voir **Figure VII-1**, pour $N = 7$). L'ensemble de cellules qui appartiennent au réseau simulé est indiqué par $P = \{1, 2, 3, \dots, N^2\}$. De plus, une référence oblique avec comme origine le centre de la cellule No.1 est considérée.

Si nous normalisons la distance entre les centres de deux cellules adjacentes, chaque centre de cellule est indiqué dans cette référence par deux nombre entier (ζ, η) . Nous supposons que la ceinture de cellules d'interférence de la cellule x , $I(x)$ est formée par deux rangs de cellules adjacentes. Alors, les deux rangs des cellules les plus externes dans le réseau parallélogramme ont une ceinture incomplète des cellules d'interférence et forment l'ensemble B des cellules de bord. Par conséquent, on appelle cellules "centrales" les cellules appartenant à l'ensemble $P - B$.

Considérons une cellule spécifique $z \equiv (\zeta_z, \eta_z)$ sur la frontière du réseau: une cellule spécifique $k \in I(z)$ a les coordonnées suivantes: $k \equiv (\zeta_z + a, \eta_z + b)$, où a et $b \in \{0, 1, 2, -1, -2\}$, $a + b \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ et $|a| + |b| \neq 0$.

- Si $k \in P$, la cellule d'interférence existe vraiment:
- Toutefois, si $k \notin P$, la cellule d'interférence n'existe pas; alors, k devient une *fausse* cellule d'interférence de z , résultant de la règle suivante: les coordonnées de la cellule d'interférence $k \equiv (\zeta_z + a, \eta_z + b)$ sont transformées à $k \equiv (\zeta_k, \eta_k)$ avec $\zeta_k = (\zeta_z + a) \bmod (N)$ et $\eta_k = (\eta_z + b) \bmod (N)$. Par conséquent, une cellule sur une frontière du réseau simulé interfère avec les frontières cellules de l'autre côté du réseau. La **Figure VII-1** montre les *fausses* cellules d'interférence pour la cellule frontalière No. 48.

Quand un réseau fermé est utilisé, un UM avec un appel en cours sortant d'un côté du réseau, rentre par l'autre côté, ceci reproduit idéalement les caractéristiques d'un réseau infini. C'est un avantage considérable lorsque la performance d'une technique de gestion de ressource est évaluée conjointement avec un modèle de mobilité des utilisateurs. Dû à la topologie choisie du réseau simulé et de la dimension de la ceinture des cellules d'interférence, si nous utilisons la fonction d'évaluation de charge *cost-function* définie dans (III-3), le réseau plié précédent n'est valide que pour les valeurs de N qui sont des multiples entiers de 7. Seulement pour ces valeurs spéciales de N les *fausses* cellules d'interférence autour d'une cellule frontalière ont l'allocation nominale des canaux suivant le modèle régulier de FCA, $F_D(z)$, utilisé pour le réseau.

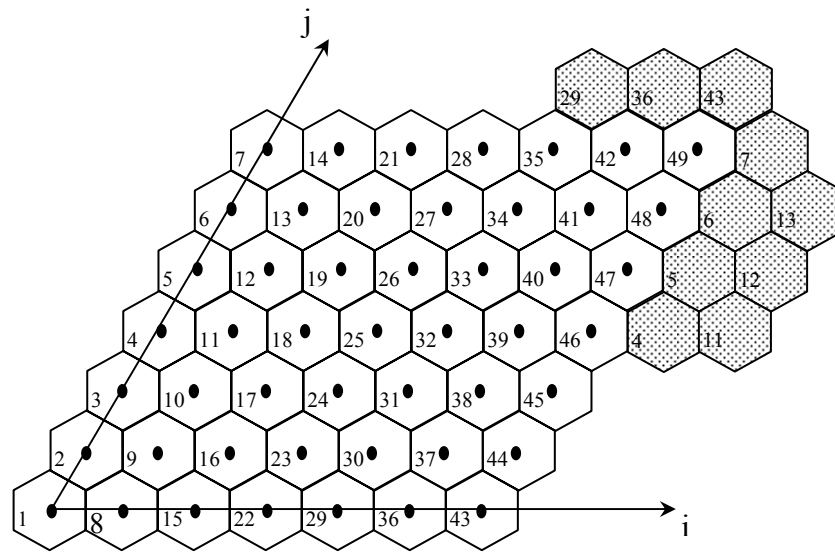


Figure VII-1 Réseau plié avec de fausses cellules d'interférence

VII.3 Résultats de simulation

Afin d'évaluer les stratégies proposées dans les chapitres précédents, nous développons ici une simulation faite au moyen du langage de programmation Matlab. Notre étude est subdivisée en trois parties : partie concernant les stratégies de mise en file d'attente QH *Queueing Handover* FIFO, LUI et PLUI, partie concernant les stratégies de handover garanti DCR et DCR-like, et partie concernant le système RS.

1ère partie : Stratégies de mise en file d'attente

Nous avons élaboré une simulation en considérant le modèle présenté dans le chapitre 3 avec les suppositions suivantes:

- ✓ La dimension du réseau plié utilisé dans la simulation est le choix commun dans la littérature : 7 cellules par côté, donc un total de 49 cellules [40].
- ✓ La durée moyenne des appels est $T_m=180 \text{ sec}$.
- ✓ La ceinture des cellules d'interférence est formée par deux rangés de cellules.
- ✓ Le nombre de canaux disponibles au système est 70.
- ✓ Le processus d'arrivée de nouveaux appels est un processus de Poisson

indépendant de cellule en cellule avec taux moyen d'arrivée d'appels par cellule égale à λ .

- ✓ La capacité de la file est supposée infinie.

Vérification de la Simulation : comparaison avec les résultats analytiques du cas FCA-QH avec différentes stratégies de mise en attente

A fin de vérifier notre simulation, nous l'avons d'abord utilisé pour le cas FCA-QH avec différentes stratégies, puis nous avons comparé les résultats obtenus avec les prédictions analytiques présentées dans la section précédente. Cette comparaison est présentée dans la

Figure VII-2.

Une bonne concordance est remarquée entre les deux, toute fois une petite différence est observée, qui est due essentiellement aux simplifications supposées dans l'analyse concernant la *pdf* du temps maximum d'attente en queue, la *pdf* du temps d'occupation des canaux et du processus d'arrivée des requêtes handover.

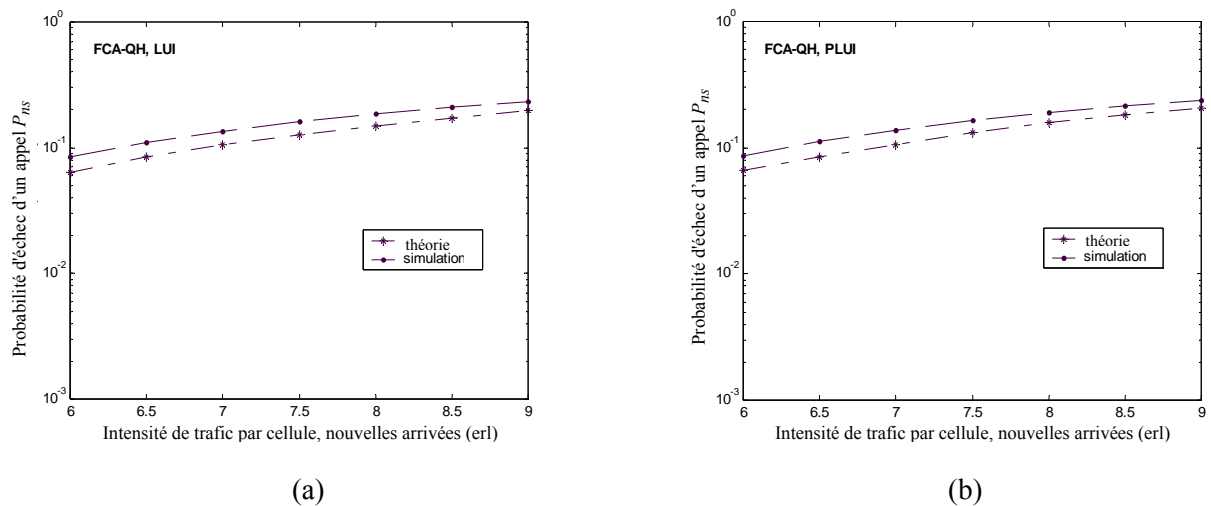


Figure VII-2 (a) FCA-QH avec stratégie de mise en attente LUI, comparaison entre résultats de simulation et prédiction analytiques. (cas IRIDIUM, $S=10$). (b) FCA-QH avec stratégie de mise en attente PLUI, comparaison entre résultats de simulation et prédiction analytiques. (cas IRIDIUM, $S=10$).

Avant de présenter l'évaluation de la stratégie proposée Pseudo-LUI, nous commençons d'abord par mettre en évidence les avantages d'une affectation dynamique des canaux, et ceux de l'utilisation de stratégies donnant la priorité de service aux requêtes handover.

Les résultats d'évaluation de performances sont ceux des probabilités, de rejet d'un nouvel appel P_{bl} , d'échec d'une procédure handover P_{b2} , d'interruption d'un appel en cours P_{drp} , et d'échec d'un appel P_{ns} .

Les paramètres de qualité de service directement éprouvés par les UMs sont P_{bl} et P_{drp} . Concernant ces paramètres, les normes E.771 mises par ITU-T pour les systèmes terrestres cellulaires sont $P_{bl} \leq 10^{-2}$ $P_{drp} \leq 5 \cdot 10^{-4}$ [68].

Bien que sévères pour les LEO-MSSs, ces normes ont été adoptées en littérature pour ces systèmes [11].

On se référant au cas IRIDIUM nous avons $n_h' < 5$ handover/appel (III-32). Donc, à partir de (III-33) et pour répondre aux normes de ITU-T concernant P_{drp} , P_{b2} doit être $\leq 10^{-4}$.

Comparaison entre FCA DCA, Simulation DCA-QH & FCA-QH utilisant LUI

L'efficacité d'une allocation dynamique des canaux est présentée par une comparaison avec l'allocation fixe des canaux donnée par la **Figure VII-3**, pour le cas de mise en attente de requête handover QH avec la stratégie LUI.

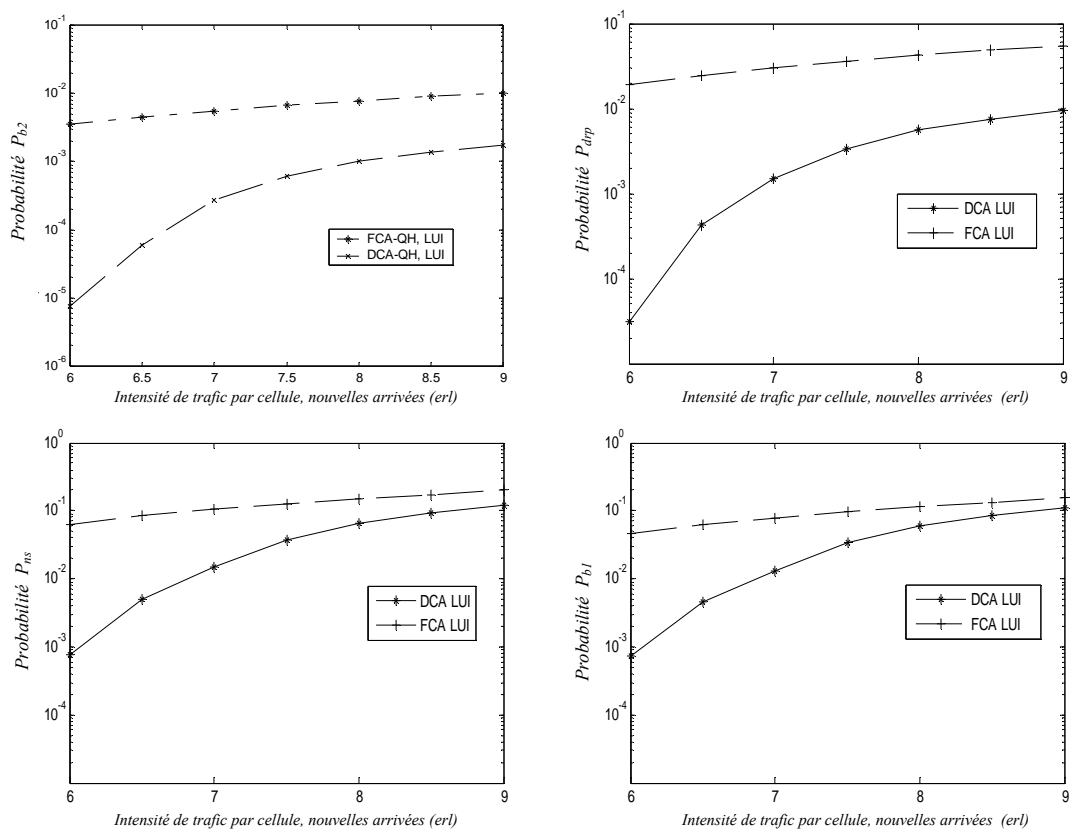


Figure VII-3 Comparaison de FCA DCA.

Nous remarquons que DCA présente de meilleure performance comparée avec FCA. En effet, nous remarquons que la probabilité de rejet d'appel P_{b1} s'améliore considérablement pour une allocation dynamique des canaux. C'est aussi le cas de la probabilité d'échec de la procédure handover P_{b2} . nous notons que la revendication la plus critique, c.à.d, la revendication qui limite principalement la capacité du système, est celle de P_{b2} . la technique FCA considérée ne satisfait aucune des exigences sur P_{b1} et P_{b2} dans la portée du trafic considéré.

Cela est dû à l'utilisation efficace des canaux dans la technique DCA, où le réseau a la possibilité d'utiliser n'importe quel canal dans n'importe quelle cellule en respectant quelques contraintes d'interférence. DCA est une technique qui s'accommode avec les variations de trafic dans le réseau, et améliore ainsi la qualité de service par une utilisation plus efficace des ressources du réseau.

Comparaison entre NPS et QH, Simulation DCA-NPS & DCA-QH

Pour montrer l'effet de l'utilisation d'une stratégie de priorité pour requêtes handover par rapport aux nouvelles tentatives d'appel sur les performances d'un réseau MSS, nous présentons les performances du réseau sans utilisation d'aucune de ces stratégies, cas connu en littérature sous le nom *Non Prioritization Scheme* NPS. Une comparaison entre le cas DCA-NPS et DCA-QH avec LUI est présentée dans la **Figure VII-4**.

La différence est remarquable que ce soit pour la probabilité de rejet d'appel ou celle d'échouement de requêtes handover. En effet, pour la probabilité de rejet d'appel, le cas DCA-NPS permet une très bonne performance par rapport à DCA-QH LUI, , alors que pour celle d'échouement de requête handover, DCA-QH LUI améliore considérablement ce paramètre.

Donc par rapport au système NPS, la stratégie QH (quelles que soit la discipline de la mise en file d'attente et la technique d'allocation des canaux utilisées) permet une réduction considérable de P_{b2} aux dépens d'une valeur augmentée de P_{b1} .

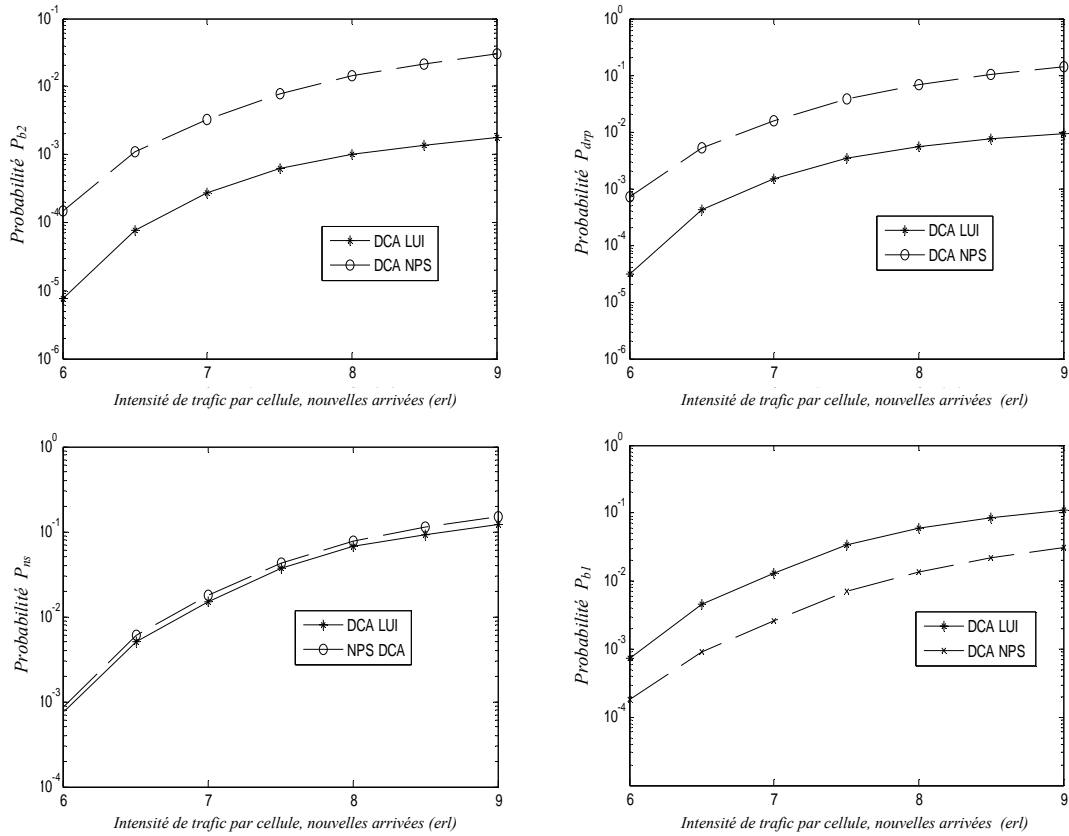


Figure VII-4 Comparaison QH LUI-NPS

En effet, l'utilisation d'une stratégie de mise en attente favorise le service des requêtes handover par rapport à celui des nouveaux appels, ceci engendre une augmentation dans la probabilité de rejet de nouveaux appels, mais améliore considérablement la probabilité de perte d'appels en cours. L'augmentation de P_{b1} est considérée tolérable car du point de vue des utilisateurs la perte d'un appel en cours est moins acceptable que le rejet d'un nouvel appel.

Comparaison entre stratégies QH, Simulation DCA-QH FIFO, LUI, PLUI

Les résultats obtenus pour le cas DCA-QH sont présentés dans la Figure VII-5. Il faut d'abord remarquer que la figure montre clairement que P_{b1} est indépendante de la stratégie de mise en attente adoptée pour les requêtes handover, comme il a été déjà mentionné dans la partie analytique.

En effet, pour les requêtes d'établissement de nouveaux appels le concept d'arrangement des requêtes handover dans la file d'attente ne les affecte aucunement puisque de toute façon elles seront défavorisées par rapport à ces requêtes.

Par contre, pour la probabilité d'échec de la procédure handover nous remarquons qu'effectivement, comme a été énoncé au 5^{ème} chapitre, pour le cas d'une allocation dynamique le choix d'un ordre de priorité spécifique dans la file d'attente affecte la performance du réseau.

Dans la **Figure VII-5** la probabilité d'échouement de requêtes handover est présentée. Nous remarquons que LUI atteint des performances meilleures que celles de FIFO et PLUI, cependant cette dernière permet la réduction de P_{b2} par rapport à la stratégie FIFO.

De ce fait, Les performances obtenues par FIFO sont les plus défavorables. En effet dans cette stratégie le système ne tient compte d'aucun critère concernant l'urgence d'un appel par rapport à un autre, il classe les appels tout simplement selon leur ordre d'arrivée, et donc la requête la plus ancienne dans la file est celle qui est servie lorsqu'un canal se libère dans sa cellule de transit.

D'après les résultats, nous remarquons aussi que la performance de PLUI est proche de celle de LUI. La raison de cela se trouve dans le fait que le nombre moyen des requêtes handover générées par tentative d'appel dans le cas IRIDIUM est d'environ 5 handover/appel, donc la majorités des requêtes mise en attente sont générées d'appels qui ont été déjà basculés et ont besoins d'être basculés une autre fois, donc celles qui sont, dans la stratégie PLUI, mises en attente selon la stratégie LUI.

Comme il a été supposé, le problème de la zone centrale des cellules n'a qu'un impacte limité sur l'efficacité de PLUI, puisque cette dernière atteint de bonne performance. Sans ce problème, la différence entre les performances de LUI et PLUI aurait été plus petite

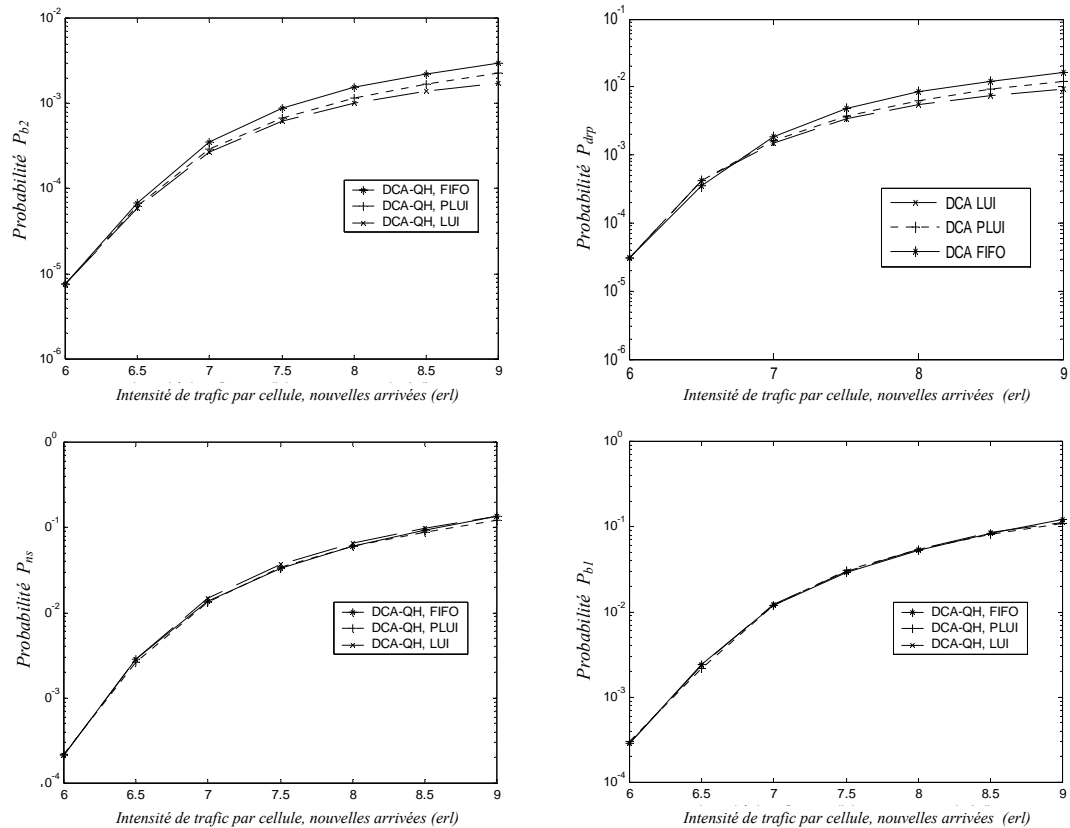


Figure VII-5 Comparaison de performances FIFO, LUI et PLUI (cas IRIDIUM).

2^{ème} partie : Stratégies utilisant le concept de canaux de garde

Les considérations suivantes ont été prises lors de la simulation de la technique DCR et DCR-like:

- ✓ Le modèle de mobilité présenté dans le chapitre IV est utilisé : Le réseau simulé est composé de cellules rectangulaires, formant une route de couverture sur la surface terrestre (supposition que les appels sont générés seulement dans la zone centrale des cellules).
- ✓ Le taux d'arrivée de nouveaux appels dans chaque cellule est λ .
- ✓ La durée moyenne d'appel est de 180 sec.
- ✓ L'affectation des canaux est fixe (FCA) et chaque cellule a $C=10$ canaux.
- ✓ Un modèle de trafic uniforme est considéré.

- ✓ Un modèle de 7 cellules est utilisé, un appel sortant de la 7^{ème} cellule initialise une requête handover dans la 1^{ère} cellule (réseau plié ou fermé).
- ✓ Le côté cellulaire R est égal à 425 km.
- ✓ La ceinture des cellules d'interférence est formée par un rangé de cellules.

Vérification de la Simulation : comparaison avec les résultats analytiques des cas FCR et FCR-like

Comme pour le cas précédent, et pour vérifier notre simulation, nous l'avons d'abord utilisé pour les cas FCR et FCR-like et les avons comparé avec les résultats analytiques obtenus dans la section précédente. Cette comparaison est présentée dans la Figure VII-6.

Une bonne concordance est remarquée entre les prédictions analytiques et les résultats de simulation, et la petite différence observée est due essentiellement aux simplifications supposées dans l'analyse concernant la *pdf* du temps d'occupation des canaux et du processus d'arrivée des requêtes handover.

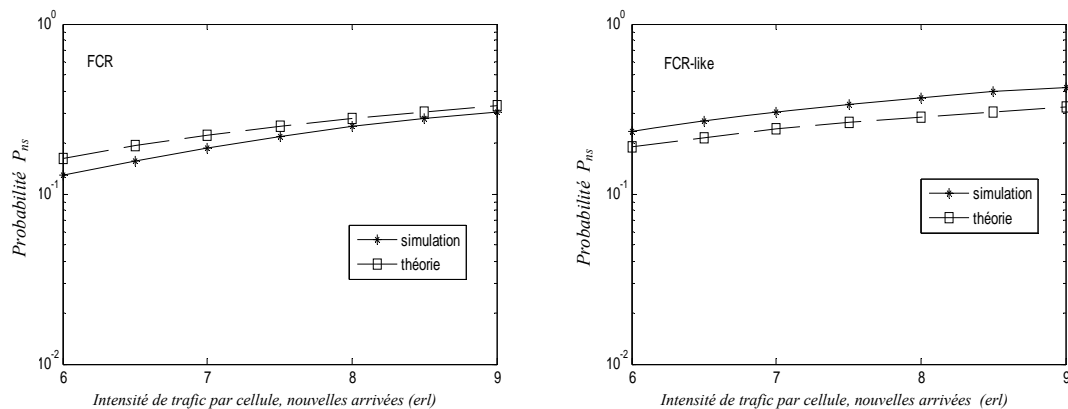


Figure VII-6 FCR et FCR-like comparaison entre résultats de simulation et prédiction analytiques. (cas IRIDIUM, $C=10$).

Comparaison entre DCR et DCR-like

Nous considérons dans ce cas les stratégies DCR et DCR-like sans stratégie de mise en file d'attente handover, donc dans ce cas la requête handover est initialisée à la limite de la cellule, et la zone de chevauchement n'est pas prise en considération.

Les résultats d'évaluation de performances pour les probabilités, de rejet de nouveaux appels P_{bl} , d'échouement de procédures handover P_{b2} , de perte d'appel en cours P_{drp} , et d'échouement d'appel P_{ns} sont données dans la **Figure VII-7** pour les techniques DCR et DCR-like.

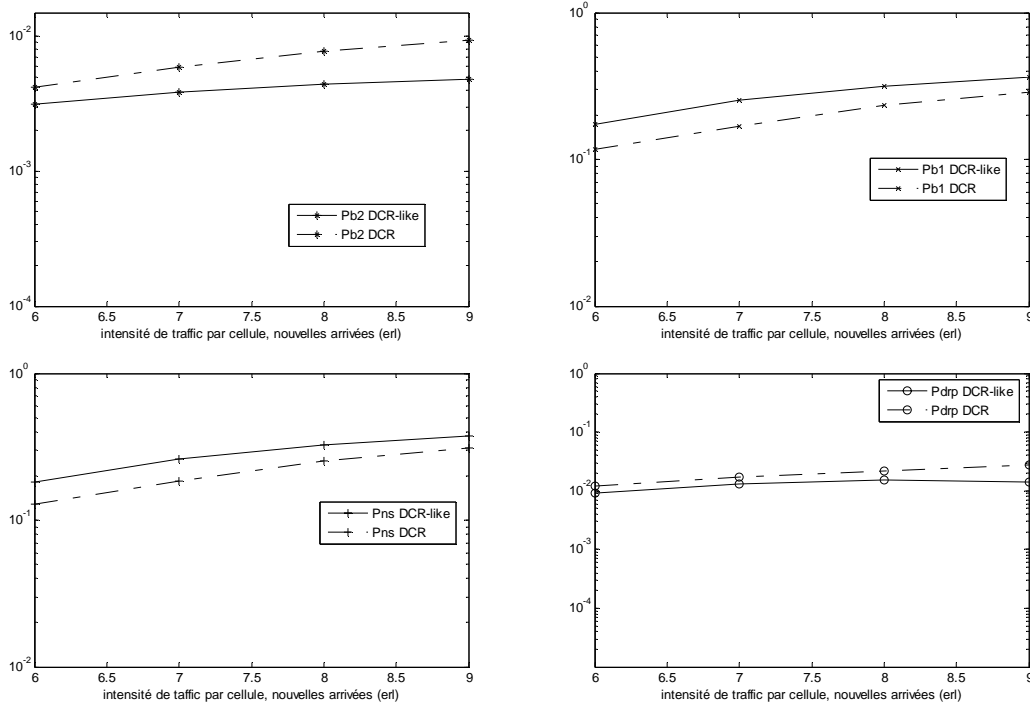


Figure VII-7 Performances des techniques DCR et DCR-like.

Nous remarquons à partir de ces résultats une importante différence entre les performances de DCR et DCR-like. En effet, nous pouvons voir que la stratégie DCR-like fournit une meilleure probabilité d'échec de la procédure handover comparée à celle fournie par DCR. Cela est dû; en plus des canaux de garde réservés aux requêtes, au mécanisme *locking canal* adopté pour les nouveaux appels qui garantit le succès de la première requête handover. Mais de telles réservations sont la cause d'une augmentation dans la probabilité de blocage de nouveaux appels puisqu'un nouvel appel n'est accepté que s'il y a un canal libre dans sa cellule de source et un autre dans sa cellule de transit. Une telle réservation diminue considérablement le nombre de canaux libres par rapport aux nouvelles requêtes d'établissement d'appels, surtout pour le cas d'une intensité de trafic importante, ce qui explique la mauvaise performance que présente DCR-like au terme de P_{bl} .

Le mécanisme *Locking- canal* est la cause de la grande divergence entre les résultats de DCR et DCR-like ; le fait de fermer des canaux pour les premières requêtes handover affecte la capacité du système puisque moins d'appels sont admis au réseau, il est aussi la cause d'une faible probabilité d'échec de la procédure handover puisque la réussite des premières requêtes est garantie.

Notre but dans cette thèse était de montrer qu'il était possible en se basant sur certains avantages du modèle de mobilité des réseaux satellitaire LEO, de déterminer certains paramètres nécessaires lors de la gestion des requêtes handover, lorsque la position exacte de l'UM est inconnue.

Donc l'idée a été développée en reformulant, pour ce cas, les stratégies LUI et DCR par les stratégies Pseudo LUI et DCR-like. Nous considérons que dans ce contexte les résultats que nous avons obtenu avec les deux stratégies reformulées en se basant sur la méthode EPM sont satisfaisants puisqu'ils montrent que cette dernière est exploitable.

Toutefois, les résultats obtenus ne donnent pas les mêmes aboutissements au terme des performances que les stratégies initiales. Si Pseudo-LUI donne des performances proches de celles de LUI, DCR-like donne des résultats différents par rapport à DCR. Ces différences sont bien sûr la conséquence des changements portés aux stratégies initiales afin de les accommodées aux nouvelles conditions : l'absence de tout information au début des communications.

3^{ème} partie : le système RS

Afin de discerner l'effet du système RS proposé sur le comportement du réseau, les durées des appels interrompus sont collectées durant la simulation (DCA QH-LUI) pour chaque valeur d'intensité de trafic dans les deux cas : Avec RS, et Sans RS. Les mêmes suppositions prises dans la première partie de l'étude sont adoptées.

A partir des histogrammes présentés sur Figure VII-8 il apparaît clairement que la majorité des appels dans le cas Sans RS ont été perdus avec des durées assez courtes; en effet, plus de 60% des durées sont inférieures à T_m pour différentes valeurs de l'intensité du trafic. Nous remarquons aussi un nombre important d'appels perdus avec de très courtes durées, ce nombre augmente considérablement avec une augmentation du trafic : en effet pour $\lambda=7erl$ nous

avons 8% d'appels perdus avec des durées inférieure à 30sec. Ce pourcentage atteint 20% pour $\lambda=10\text{erl}$.

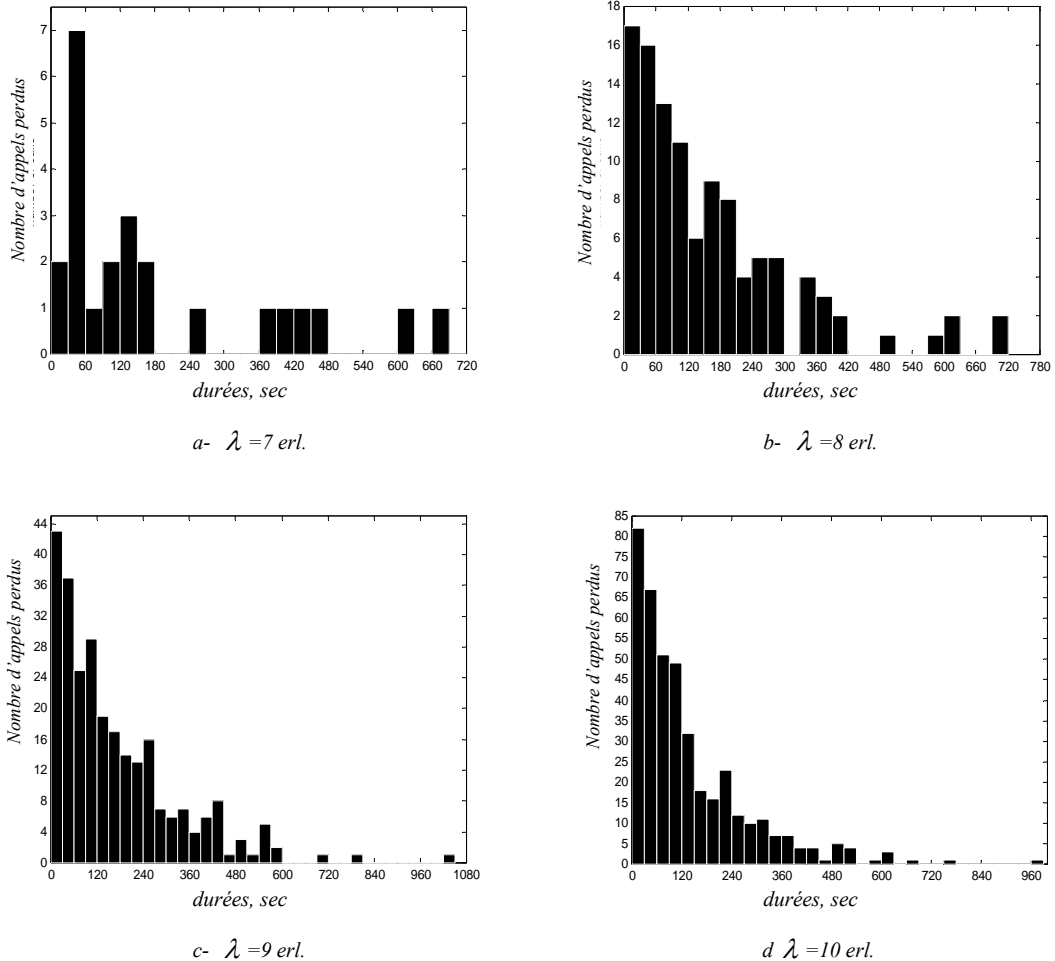
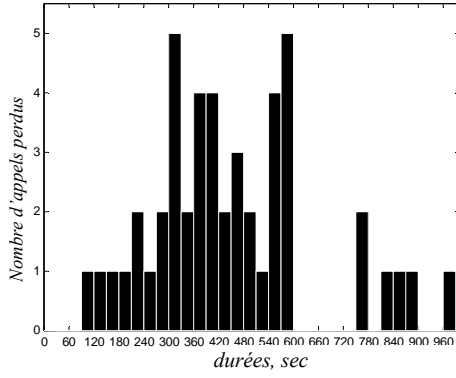


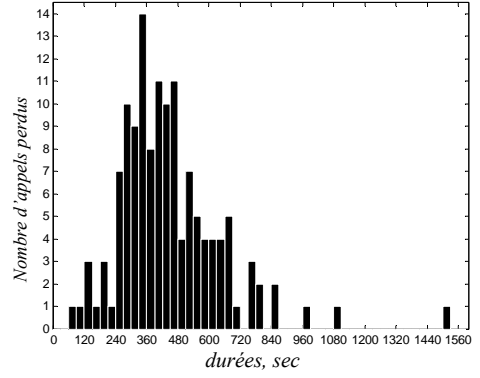
Figure VII-8 Distribution des durées des appels perdus pour différentes valeurs de λ sans RS.

En utilisant RS, les résultats obtenus Figure VII-9. montrent que toutes les durées des appels perdus pour différentes valeurs de l'intensité de trafic sont supérieures à 60sec, et que le nombre d'appels perdus avec des durées supérieures à 180sec a augmenté considérablement. Cela signifie une augmentation sensible de la durée moyenne des appels perdus; la **Figure VII-10** présente la variation de cette dernière en fonction de l'intensité du trafic dans les deux cas, Sans et Avec le système à décision de sauvetage RS : pour le premier cas la durée moyenne des appels perdus diminue de presque 190sec à environ 140sec pour une augmentation de l'intensité du

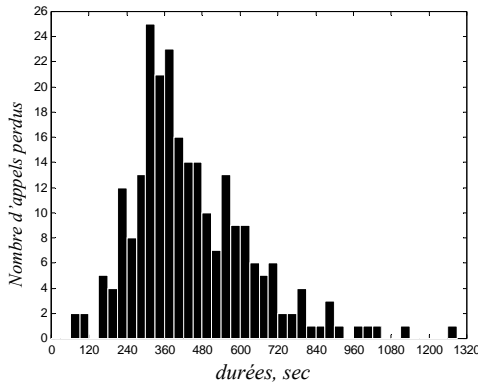
trafic, tandis que dans le deuxième cas elle dépasse les 400sec pour les différentes valeurs de l'intensité de trafic.



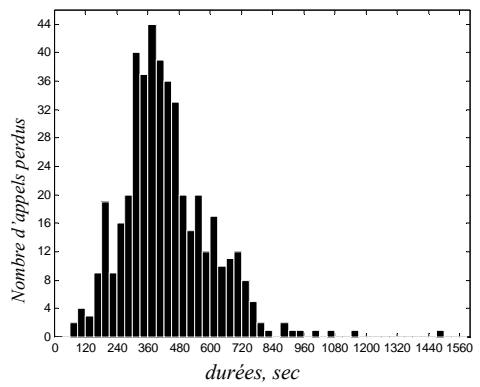
a- $\lambda = 7$ erl.



b- $\lambda = 8$ erl.



c- $\lambda = 9$ erl.



d- $\lambda = 10$ erl.

Figure VII-9 Distributions des durées des appels perdus pour différentes valeurs de λ avec RS.

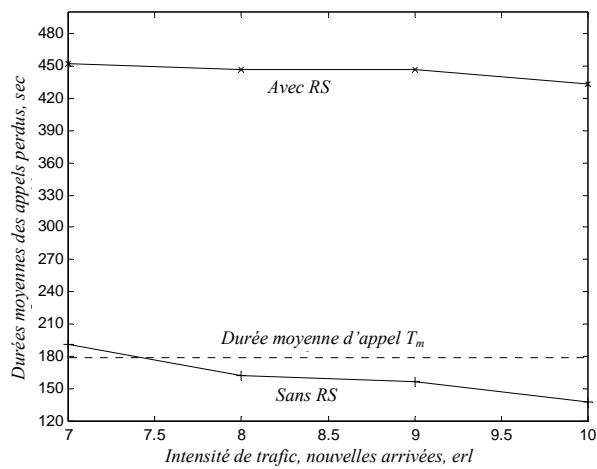


Figure VII-10 Durées moyennes des appels perdus.

Donc dans le cas traité, le système à décision de sauvetage RS garantit une durée d'au moins *60sec* de communication continue pour tout appel initialisé sans crainte d'une fin brusque, et améliore considérablement la valeur moyenne des durées des appels perdus.

Le système RS force simultanément le succès d'une requête handover et la rupture d'un appel en cours, donc aux termes de probabilités, le système n'affecte pas la performance du réseau (**Figure VII-11**), du fait que même si l'appel est secouru, les requêtes handover rejetées provoquent toujours la perte d'un appel en cours.

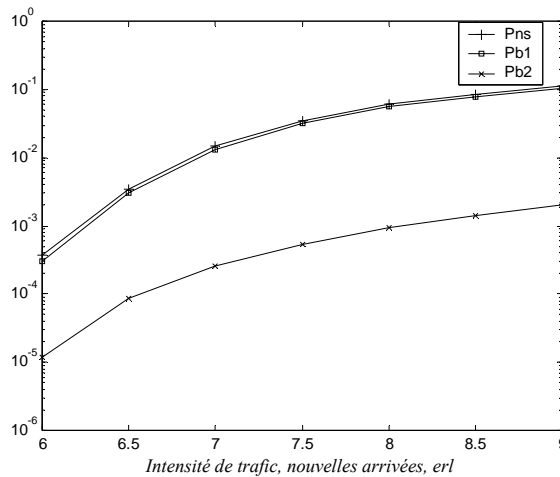


Figure VII-11 Performances du réseau DCA QH-LUI avec RS.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Présentant différents avantages tels qu'une puissance de transmission relativement basse et un court délai de transmission, les satellites LEO ont acquis un grand intérêt pour les concepteurs des réseaux de télécommunication. Toutefois leur courte visibilité par rapport à un observateur terrestre est la cause d'un système compliqué de gestion des appels. En effet, la procédure de basculement handover entre faisceaux est considérée comme un problème majeur compte tenu de sa grande fréquence durant une communication.

Afin de gérer de la meilleure façon l'attribution des canaux dans ces réseaux, un grand nombre d'études ont été proposées dans la littérature afin d'obtenir une bonne qualité de service dont certaines présentent des techniques performantes donnant de bons résultats au terme des probabilités de rejet de nouveaux appels et de pertes d'appels en cours. Toutefois, ces techniques nécessitent qu'un système de positionnement global soit intégré au MSS. Une telle intégration est considérée comme complexe et rajoute plus de difficulté à la conception du réseau.

En premier lieu, et pour remédier à ce problème nous présentons dans ce travail une méthode basée sur les avantages du modèle de mobilité des constellations satellitaires LEO, qui permet de déterminer différents paramètres concernant les UMs avec appel en cours, importants pour les techniques de managements des requêtes handover. Cette méthode exploite le mouvement prévisible des UMs à travers le réseau et la topologie cellulaire régulière.

En effet, le temps séparant deux initialisations consécutives de requêtes handover est égal au temps de séjour maximal de l'appel dans la cellule. En utilisant un chronomètreur *timer*, cette période peut être estimée pour chaque UM avec un appel en cours, lorsque ce dernier initialise sa deuxième requête handover. Différentes informations et paramètres peuvent être déterminés en utilisant la valeur du temps de séjour maximal ; En effet, ce temps ainsi que d'autres paramètres sont dérivables en fonction de l'offset invariable z avec lequel l'UM traverse la cellule qui le sert. Nous avons baptisé ce procédé par : Méthode d'Evaluation de Paramètres *Evaluation Parameters Method* (EPM).

Afin de prouver que cette méthode est exploitable, nous l'avons utilisée pour reformuler deux techniques déjà présentées dans la littérature qui sont les stratégies LUI et DCR. Nous les avons nommées : Pseudo LUI et DCR-*like*.

Ces deux nouvelles techniques présentent des résultats très intéressants à considérer ;

surtout pour PLUI qui sa performance converge vers celle de LUI. Pour DCR-*like*, elle semble affectée par le *Locking mechanism* utilisé qui est la cause essentielle de sa divergence par rapport à DCR, en effet DCR-*like* présente une importante probabilité de rejet des nouvelles requêtes d'appels, mais améliore considérablement celle de blocage d'une requête handover.

Les différences observées sont dues bien sûr au retard que la méthode prend pour déterminer les paramètres requis, et cela à cause de l'absence de toute information concernant les appels en cours avant qu'ils n'exécutent leurs deuxièmes requêtes handover. Si la stratégie PLUI est peu influencée par ce retard de collecte d'informations, DCR-*like* l'est beaucoup. En effet, si nous considérons une cellule hexagonale pour cette stratégie le problème s'accroît car dans ce cas, nous ne pouvons utiliser la valeur du temps de séjour maximal déterminé, que dans la deuxième cellule de transit afin de calculer la probabilité handover de l'appel.

Comme première étape dans cette recherche, nous voulions montrer la possibilité d'exploiter le modèle de mobilité singulier des LEO MSSs pour déterminer quelques informations même lorsque la position exacte de l'utilisateur est inconnue. Comme prochaine étape, nous nous intéressons à améliorer la méthode EPM en essayant de minimiser l'effet des contraintes observées ce qui permettra une meilleure performance des systèmes proposés.

En effet, il serait souhaitable de trouver une méthode permettant la détermination de valeurs même approximatives, des temps maximaux d'attente en queue pour la zone centrale des cellules, et des temps de séjour maximaux dans la première cellule de transit, ce qui permettra une meilleure performance de ces systèmes.

Comme travail futur nous nous proposons de prendre en considération le niveau du signal capté par les antennes des deux cellules (courante et de transit) en plus de l'instant d'initialisation de la première requête handover par rapport à la durée de l'appel depuis son initialisation, pour pouvoir arriver à une décision concernant l'emplacement de l'UM par rapport aux zones cellulaires.

Prendre une décision adéquate en tenant compte de ses différents paramètres peut sembler difficile. Pour traiter des situations dans lesquelles certaines des connaissances conduisant à la décision sont imparfaites, la logique floue est considérée comme un outil très important voir indispensables.

Donc dans ce contexte on est appelé à définir des sous ensembles flous qui définiront l'appartenance des UMs aux différentes zone d'une cellule, en fonction des valeurs et informations collectées.

En définissant des sous-ensembles flous concernant la localisation d'un UM avec appel en cours en fonction des niveaux des signaux reçus par les antennes des cellules de source et de transit, de la période séparant l'instant d'initialisation de l'appel et l'instant d'initialisation de sa première requête handover, de la période que l'appel passe dans l'attente d'être basculé vers sa cellule de transit, il serait possible d'arriver à une décision concernant la valeur approximative des différents paramètres.

Finalement Il serait profitable d'associer les deux stratégies proposées PLUI et DCR-like.

En second lieu, Nous abordons dans notre étude un aspect différent du problème handover, les appels interrompus après une courte durée de leurs initialisations ; en effet, nous démontrons qu'un nombre important des appels perdus avaient des durées très courtes à l'instant de leurs interruptions, ce qui peut être considéré comme une frustration par les utilisateurs du réseau. Ce problème mérite d'être considéré à cause du désagrément qu'il cause aux abonnés, surtout lorsque le pourcentage de ces appels est important.

Afin de donner aux appels des chances égales de service pour une période acceptable, nous introduisons un système de décision basé sur la logique floue *Rescuing System*, autorisant le secours d'un appel affrontant une fin prématurée si sa longueur est considérée relativement courte.

Le système RS proposé présente des résultats très intéressants ; en effet, il permet aux réseaux de communication satellitaires de garantir pour chaque appel initialisé, une période de communication garantie (une minute dans le cas considéré) avant de craindre une fin brusque de l'appel, et d'accomplir une amélioration considérable de la durée moyenne des appels perdus pour différentes valeurs d'intensités de trafic.

Il serait avantageux pour les réseaux de communication par satellites de fournir aux utilisateurs une période sûre de communication continue, et d'améliorer la valeur moyenne des durées de communications interrompues.

ANNEXE 1

ERLANG-B ET ERLANG-C démonstration

1- La formule d'Erlang B est donnée par :

$$B(S, a) = \frac{\frac{a^S}{S!}}{\sum_{k=0}^S \frac{a^k}{k!}}$$

Erlang B pour $j-1$ canaux est donnée par :

$$B(j-1, a) = \frac{\frac{a^{j-1}}{(j-1)!}}{\sum_{k=0}^{j-1} \frac{a^k}{k!}}$$

et pour j canaux par :

$$B(j, a) = \frac{\frac{a^j}{j!}}{\sum_{k=0}^j \frac{a^k}{k!}}$$

Nous avons :

$$B(j, a) = \frac{\frac{a}{j} \frac{a^{j-1}}{(j-1)!}}{\frac{a^j}{j!} + \sum_{k=0}^{j-1} \frac{a^k}{k!}} = \frac{\frac{a}{j} \frac{a^{j-1}}{(j-1)!}}{\sum_{k=0}^{j-1} \frac{a^k}{k!} \left(\frac{a}{j} \frac{a^{j-1}}{(j-1)!} \frac{1}{\sum_{k=0}^{j-1} \frac{a^k}{k!}} + 1 \right)}$$

En remplaçant avec l'expression de $B(j-1, a)$ nous obtenons :

$$B(j, a) = \frac{\frac{a}{j} B(j-1, a)}{\frac{a}{j} B(j-1, a) + 1}$$

Et donc :

$$B(j, a) = \frac{aB(j-1, a)}{aB(j-1, a) + j}, \quad (j = 1, 2, \dots, S; B(0, a) = 1)$$

2- La formule d'Erlang C est donnée par :

$$C(S, a) = \frac{\frac{a^S}{S!(1-a/S)}}{\sum_{k=0}^{S-1} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^S}{S!(1-a/S)}}$$

Nous pouvons écrire :

$$C(S, a) = \frac{\frac{a^S}{S!(1-a/S)}}{\sum_{k=0}^{S-1} \frac{a^k}{k!} \left(1 + \frac{a^S}{S!(1-a/S)} \frac{1}{\sum_{k=0}^{S-1} \frac{a^k}{k!}} \right)}$$

Sachant que :

$$\begin{aligned} \frac{1}{B(S, a)} &= \frac{\sum_{k=0}^S \frac{a^k}{k!}}{\frac{a^S}{S!}} = \frac{\frac{a^S}{S!} + \sum_{k=0}^{S-1} \frac{a^k}{k!}}{\frac{a^S}{S!}} \\ &= 1 + \frac{\sum_{k=0}^{S-1} \frac{a^k}{k!}}{\frac{a^S}{S!}} = 1 + \frac{S!}{a^S} \sum_{k=0}^{S-1} \frac{a^k}{k!} \end{aligned}$$

Nous avons :

$$\Rightarrow \frac{\sum_{k=0}^{S-1} \frac{a^k}{k!}}{\frac{a^S}{S!}} = \frac{1 - B(S, a)}{B(S, a)}$$

En remplaçant dans $C(s, a)$:

$$\begin{aligned} C(S, a) &= \frac{\frac{B(S, a)}{1 - B(S, a)} \frac{S}{S - a}}{1 + \frac{B(S, a)}{1 - B(S, a)} \frac{S}{S - a}} \\ &= \frac{SB(S, a)}{(1 - B(S, a))(S - a) + SB(S, a)} \end{aligned}$$

Et nous obtenons :

$$C(S, a) = \frac{SB(S, a)}{S - a + aB(S, a)}$$

ANNEXE 2

RÉARRANGEMENT DCA

Lorsque une fin d'appel se produit, de meilleures performances réseaux peuvent être atteintes avec la technique DCA proposée (Chapitre 3), en choisissant de libérer le canal selon le critère de dé allocation décrit ci-dessous.

Mettons que $\Lambda(x)$ est l'ensemble des canaux utilisés dans x à l'instant de libération d'un canal particulier, nous définissons la contribution de charge de dé allocation d'un canal $j \in \Lambda(x)$ due à la cellule d'interférence $k \in I(x)$, $R_x(k, j)$, comme :

$$R_x(k, j) = b_x(k, j) + 2q_k(j), \forall k \in I(x)$$

Avec $b_x(k, j)$ donné par :

$$b_x(k, j) = \begin{cases} 0, & \text{si le canal } j \text{ est fermé dans } k \text{ seulement à cause de son allocation dans } x \\ 1, & \text{sinon} \end{cases}$$

Noter que $R_x(k, j)$ peut prendre seulement quatre valeurs différentes :

$$R_x(k, j) = \begin{cases} 0, & \text{if } j \in \Lambda_x(k, j) \text{ et } j \in F_D(k) \\ 1, & \text{if } j \notin \Lambda_x(k, j) \text{ et } j \in F_D(k) \\ 2, & \text{if } j \in \Lambda_x(k, j) \text{ et } j \notin F_D(k) \\ 3, & \text{if } j \notin \Lambda_x(k, j) \text{ et } j \notin F_D(k) \end{cases}$$

Où $\Lambda_x(k, j)$ désigne l'ensemble des canaux devenant disponible dans la cellule k , si le canal j est libéré dans la cellule x .

En comparant 3 et III-6 nous pouvons déduire une parfaite complémentarité entre les fonctions de charge d'allocation $C_x(k, j)$ et de dé allocation $R_x(k, j)$. Le but principal de l'algorithme de dé allocation et de réduire la divergence avec la distribution optimale des canaux

FCA, et de libérer le canal qui devient disponible dans le plus grand nombre des cellules d'interférence.

Ainsi, la fonction de charge totale pour chaque canal $j \in \Lambda(x)$ peut être obtenue par :

$$R_x(j) = 1 - q_x(j) + \sum_{k \in I(x)} \{R_x(k, j)\}, \forall j \in \Lambda(x)$$

Le terme $1 - q_x(j)$ est introduit dans la formule afin de favoriser tant que possible la libération des canaux appartenant à $F_D(x)$, c.-à-d., l'ensemble de canaux attribués à x selon FCA.

Alors, le canal $j^* \in \Lambda(x)$ est libéré s'il vérifie la relation suivante :

$$R_x(j^*) = \min_{j \in \Lambda(x)} \{R_x(j)\}$$

Si le canal choisi j^* diffère du canal réellement libéré \hat{j} , l'appel en cours dans le canal j^* dans la cellule x doit être réorienté vers le canal \hat{j} .

Remarquons aussi que $\Lambda(x)$ est mis à jour à chaque arrivée d'un nouvel appel ou libération de canal dans x , pendant que $\Pi(x)$ est mis à jour à chaque arrivée d'appel ou libération de canal dans x ou dans $I(x)$.

ANNEXE 3

CALCUL DE PROBABILITÉ D'ÉCHOUEMENT D'UNE REQUÊTE HANDOVER POUR LA STRATÉGIE DE MISE EN FILE D'ATTENTE FIFO

Nous avons :

$$P_{b2} = \sum_{n=S}^{+\infty} P_n P_{b2|k}$$

Avec $k=n-S$

S nombre de canaux dans une cellule.

Etant donné que $P_{b2|k}$ est la probabilité qu'une requête entrant la queue à la $k+1^{\text{ème}}$ position échoue.

Si nous prenons au contraire la probabilité que cette requête réussie, elle est donnée par :

$$(1 - P_{b2|k}) = \left[\prod_{j=1}^k (P_{j|j+1}) \right] P_r$$

P_r : probabilité qu'un canal se libère lorsque la requête $k+1$ atteint la tête de la file d'attente.

$P_{j|j+1}$: probabilité de transition de la position $j+1$ à la position j .

Cette transition a lieu si le temps d'attente de l'appel est supérieure à : **1-** au moins un des temps d'attente des appels en file d'attente se trouvant à des positions précédentes, **2-** au moins un des temps d'occupation des autres appels en file d'attente se trouvant à des positions précédentes. **3-** au minimum des temps d'occupation des appels en cours dans la cellule de transit, désignons le par X .

Alors nous avons :

$$1 - P_{j|j+1} = P\{t_{w_{j+1}} \leq X\} \times P\{t_{w_{j+1}} \leq t_{w_1}\} \dots P\{t_{w_{j+1}} \leq t_{w_j}\} \times P\{t_{w_{j+1}} \leq t_{o_1}\} \dots P\{t_{w_{j+1}} \leq t_{o_j}\}$$

t_{wj} et t_{oj} sont respectivement les temps d'attente et les durées (ou temps d'occupation) des appels se trouvant en file d'attente à des positions allant de 1 à $j+1$.

La probabilité que t_{wj+1} soit inférieure au minimum des temps d'occupation des appels en cours dans la cellule de transit est égale à :

$$P_{cl} = \int_0^{\infty} e^{-S\mu\tau} \mu_{\omega} e^{-\mu_{\omega}\tau} d\tau = \frac{\mu_{\omega}}{S\mu + \mu_{\omega}}.$$

La probabilité que t_{wj+1} soit inférieure à l'un des temps d'attente des autres appels en queue P_w est donnée par :

$$P_w = \int e^{-\mu_{\omega}\tau} \mu_{\omega} e^{-\mu_{\omega}\tau} d\tau = \frac{\mu_{\omega}}{2\mu_{\omega}} = \frac{1}{2}$$

Et donc la probabilité que t_{wj+1} soit inférieure à tous les temps d'attente est égale à :

$$P\{t_{wj+1} \leq t_{wj}\} P\{t_{wj+1} \leq t_{wj-1}\} \dots P\{t_{wj+1} \leq t_{w1}\} = \frac{1}{2^j}$$

La probabilité que t_{wj+1} soit inférieure à l'un des temps d'occupation des autres appels en queue P_o est donnée par :

$$P_o = \int_0^{+\infty} e^{-\mu\tau} \mu_{\omega} e^{-\mu_{\omega}\tau} d\tau = \frac{\mu_{\omega}}{\mu + \mu_{\omega}}$$

Alors nous avons :

$$P\{t_{wj+1} \leq t_{oj}\} P\{t_{wj+1} \leq t_{oj-1}\} \dots P\{t_{wj+1} \leq t_{o1}\} = \left(\frac{\mu_{\omega}}{\mu + \mu_{\omega}} \right)^j$$

Donc nous obtenons :

$$1 - P_{j|j+1} = \frac{\mu_{\omega}}{S\mu + \mu_{\omega}} \left(\frac{1}{2} \right)^j \left(\frac{\mu_{\omega}}{\mu + \mu_{\omega}} \right)^j$$

Et donc nous arrivons à :

$$P_{j|j+1} = 1 - \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \left(\frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \frac{1}{2} \right)^j$$

La probabilité qu'aucun des canaux de la cellule de transit ne se libère lorsque la requête $k+1$ est à la tête de la file d'attente est donnée par :

$$P_{cl} = \int_0^\infty e^{-S\mu\tau} \mu_\omega e^{-\mu_\omega\tau} d\tau = \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega}$$

Et donc P_r est égale à $1 - P_{cl}$:

$$P_r = \frac{S\mu}{S\mu + \mu_\omega}$$

Donc en remplaçant :

$$1 - P_{b2|k} = \left[\prod_{j=1}^k \left(1 - \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \left(\frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \frac{1}{2} \right)^j \right) \right] \frac{S\mu}{S\mu + \mu_\omega}$$

Enfin, nous obtenons :

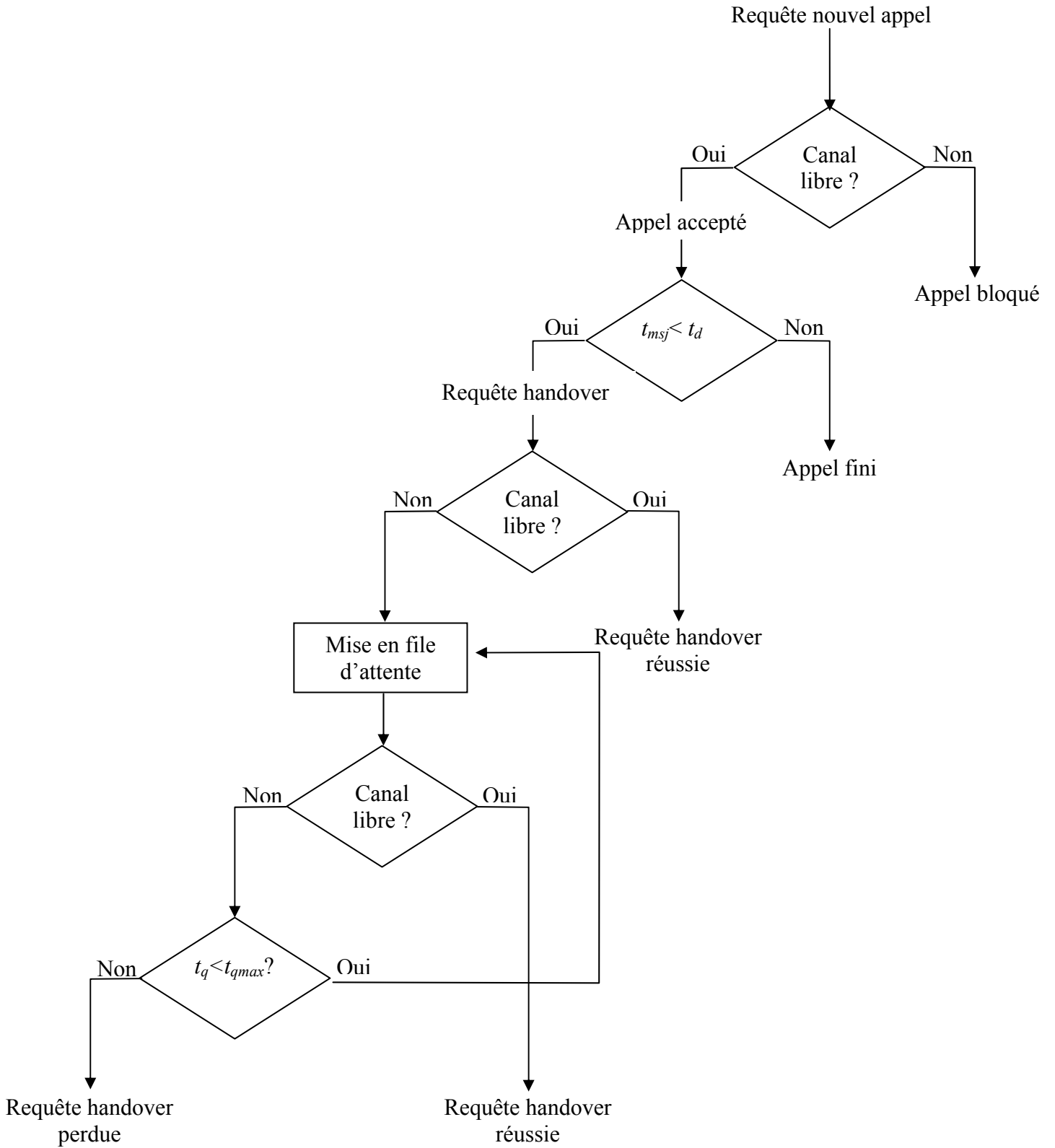
$$\Rightarrow P_{b2|k} = 1 - \left[\prod_{j=1}^k \left(1 - \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \left(\frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \frac{1}{2} \right)^j \right) \right] \frac{S\mu}{S\mu + \mu_\omega}$$

Alors P_{b2} est égale à :

$$P_{b2} = \sum_{n=S}^{+\infty} P_n \left[1 - \frac{S\mu}{S\mu + \mu_\omega} \left[\prod_{j=1}^k \left(1 - \frac{\mu_\omega}{S\mu + \mu_\omega} \left(\frac{\mu_\omega}{\mu + \mu_\omega} \frac{1}{2} \right)^j \right) \right] \right]$$

ANNEXE 4

ORGANIGRAMME DE SIMULATION



RÉFÉRENCES

- [1]. E. Del Re, R. Fantacci, G. Giambene, "Efficient dynamic channel allocation techniques with handover queuing for mobile satellite networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, Vol. 13, pp. 397–405, Feb. 1995.
- [2]. A. Jamalipour. 'Low Earth Orbit Satellites for Personal Communications Networks', Artech House, 1997.
- [3]. B. Miller "Satellites free the mobile phone" *IEEE Spectrum* Vol. 35. n°. 3. March 1998.
- [4]. J. L. Grubb, "IRIDIUM overview," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 29, n°. 11, Nov. 1991.
- [5]. Y. Zhang, L. Wood, T. R. Henderson, "Internetworking and Computing over Satellite Networks", Kluwer Academic Press, ISBN 1-4020-7424-7, March 2003.
- [6]. I. F. Akyildiz, H. Uzunalioglu, and M. D. Bender, "Handover Management in Low Earth Orbit (LEO) Satellite Networks" *Mobile Networks and Applications*, Vol. 4, n°. 4, Dec. 1999, pp. 301–10.
- [7]. P. K. Chowdhury, M. Atiquzzaman, and W. Ivancic "Handover Schemes in Space Networks: Classification and Performance Comparison," *2nd IEEE International Conference on Space Mission Challenges for Information Technology (SMC-IT '06)*, Pasadena, CA, 17 - 21 July 2006.
- [8]. R. E. Sheriff and Y. Fun Hu "Mobile Satellite Communication Networks". John Wiley & Sons Ltd 2001.
- [9]. S. Tekinay and B. Jabbari, "A measurement-based prioritization scheme for handovers in mobile cellular networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*, Vol. 10, pp. 1343–1350, Oct. 1992.
- [10]. G. Maral, J. J. De Ridder, B. G. Evans, and M. Richharia, "Low Earth orbit satellite systems for communications," *International Journal of Satellite Communications*, Vol. 9, n° 4, pp. 209–225, 1991.
- [11]. E. Del Re, R. Fantacci, et G. Giambene, "Handover queuing strategies with dynamic and fixed channel allocation techniques in low earth orbit mobile satellite systems", *Communications, IEEE Transactions*, Vol. 47, no. 1, pp. 89-101. Jan. 1999.
- [12]. V. Obradovic and S. Cigoj, "Performance Evaluation of Prioritized Handover Management for LEO Mobile Satellite Systems with Dynamic Channel Assignment," *IEEE Global Telecommunication Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, Dec. 1999, pp. 296–300.
- [13]. S. S. Rappaport, "Blocking, hand-off and traffic performance for cellular communication systems with mixed platforms", *Communications, Speech and Vision, IEE Proceedings*, Vol. 140, no. 5, pt. I, pp. 389–401, Oct. 1993.
- [14]. Y.-B. Lin, S. Mohan, and A. Noerpel, "PCS channel assignment strategies for hand-off and initial access", *IEEE Personal Communication*, pp. 47–56, Third Quarter 1994.
- [15]. W. Zhang, "Handover Decision Using Fuzzy MADM in Heterogeneous Networks", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2004 (WCNC 2004)*, 21-25 March 2004, Atlanta, USA.
- [16]. A. U. Sheikh and C. H. Mlonja. "Performance of fuzzy algorithm based handover process for personal communication systems". *Proceedings of Personal Wireless*

- Communications, 1996. IEEE International Conference, New Delhi, India February, 19 - 21 1996.*
- [17]. B. Homnan and W. Benjapolakul "A handover decision Procedure for mobile telephone systems using fuzzy logic" *IEEE APCCAS 1998. IEEE Asia-Pacific Conference, Chiangmai, 24-27 Nov 1998 pp: 503 - 506*
- [18]. P.M.L. Chan; R.E. Sheriff; Y.F. Hu, "An intelligent handover strategy for a multi-segment broadband network" *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2001 12th IEEE International Symposium Vol. 1, Sep 2001 Page(s):C-55 - C-59*
- [19]. J. Restrepo and G. Maral, "Coverage Concepts for Satellite Constellations Providing Communications Services to Fixed and Mobile Users," *Space Communications*, Vol. 13, no. 2, no. 2, 1995, pp. 145–57.
- [20]. Y.-B. Lin, S. Mohan, and A. Noerpel, "Queuing priority channel assignment strategies for PCS hand-off and initial access," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 43, pp. 704–712, Aug. 1994.
- [21]. Q. Liang "Soft Handover for Nonuniformly-Loaded Mobile Multimedia Cellular Networks" *Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2002. IEEE 55th*, pp. 1096-1100.
- [22]. N. D. Tripathi "Generic Adaptive Handoff Algorithms Using Fuzzy Logic and Neural Networks". Virginia Polytechnic Institute and State University, 1997 Ph. D. Dissertation.
- [23]. L. Boukhatem, D. Gaiti and G. Pujolle "Resource Reservation Schemes For Handover Issue In LEO Satellite Systems" *Wireless Personal Multimedia Communications, 2002. The 5th International Symposium, 27-30 Oct. 2002 pp. 1217-1221.*
- [24]. E. Del Re, "A Coordinated European effort for the definition of a satellite integrated environment for future Mobile communications" *IEEE Communications Magazine* February 1996 pp. 98-104.
- [25]. V. Santos R. Silva, M. Dinis, J. Neves, "Performance Evaluation of Channel Assignment Strategies and Handover Policies for Satellite Mobile Networks," *Annual International Conference on Universal Personal Communications, Tokyo, Japan, Nov. 1995, pp. 86–90.*
- [26]. P. K Chowdhury, M. Atiquzzaman, and W. Ivancic "Handover Schemes in Satellite Networks: State-of-the-Art and Future Research Directions." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 8, n°. 4, August 2006.,
- [27]. G. Maral J. Restrepo, E. Del Re, R. Fantacci, and G. Giambene, "Performance Analysis for a Guaranteed Handover Service in an LEO Constellation with a 'Satellite-Fixed Cell' System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 47, no. 4, Nov. 1998, pp. 1200–14.
- [28]. Y. Xu, Q. Ding, and C. Ko, "Elastic Handover Scheme for LEO Satellite Mobile Communication Systems," *IEEE Global Telecommunication Conference, San Francisco, CA, Nov. 27–Dec. 1, 2000, pp. 1161–65.*
- [29]. L. Boukhatem, G. Pujolle, and D. Gaiti. "A time-based reservation scheme for managing handovers in satellite systems." *International Journal of Network Management*, 13(2):139– 145, March/April 2003.
- [30]. L. Boukhatem, D. Gaiti, and G. Pujolle, "A Channel Reservation Algorithm for Handover Issues in LEO Satellite Systems based on a Satellite Fixed Cell Coverage," *IEEE Vehicular Technology Conference, Atlantic City, NJ, Oct. 2001, pp. 2975–79.*

- [31]. L. Boukhatem, A.L. Beylot, D. Gaïti; and G. Pujolle, "TCRA: A Time-Based Channel Reservation Scheme for Handover Requests in LEO Satellite Systems," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, vol. 21, no. 3, May/June 2003, pp. 227–40.
- [32]. E. Papapetrou and F. N. Pavlidou. "QoS handover management in LEO/MEO satellite systems." *Wireless Personal Communications*, 24(2):189–204, February 2003.
- [33]. . E. Papapetrou S. Karapantazis, G. Dimitriadis, F.-N. Pavlidou, "Satellite Handover Techniques for LEO Networks," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, vol. 22, no. 2, Mar./Apr. 2004, pp. 231–45.
- [34]. A. Jamalipour and T. Tung, "The Role of Satellites in Global IT: Trends and Implications," *IEEE Personal Communications*, June 2001, pp. 5–11.
- [35]. A. Ganz, Y. Gong, and B. Li, "Performance Study of Low Earth Orbit Satellite Systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, nos. 2/3/4, Feb.–Apr. 1994, pp. 1866–71.
- [36]. Z. Wang and P. T. Mathiopoulos, "Analysis and performance evaluation of dynamic channel reservation techniques for LEO mobile satellite systems," *IEEE Vehicular Technology Conference VTC2001 Spring*, VTS 53rd, vol. 4, pp. 2985 –2989, 2001.
- [37]. Z. Wang and P. T. Mathiopoulos, "A novel traffic dependant dynamic channel allocation and reservation technique for LEO mobile satellite systems," *Proceedings IEEE Vehicular Technology Conference 56th VTC 2002*, Vol. 3, (2002): 1652-1656.
- [38]. W. Zhao, R. Tafazolli, and B. G. Evans, "A UT positioning approach for dynamic satellite constellations," in *Proceedings International Mobile Satellite Conference 4th, IMSC'95*, Ottawa, Canada, June 6–8, 1995, pp. 251–258.
- [39]. W. Kiamouche, M. Benslama, "A Novel Method For evaluating Parameters Of Ongoing Calls in Low Earth Orbit Mobile Satellite systems" *International Journal of Information and Communication Engineering*, Vol.5 , no. 5 2009 , pp. 344-348.
- [40]. E. Del Re, R. Fantacci, and G. Giambene, "An efficient technique for dynamically allocating channels in satellite cellular networks," in *Proceedings IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM'95*, Singapore, Nov. 13–17, 1995, pp. 1624–1628.
- [41]. D. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures," *IEEE Transaction Vehicular Technology*, vol. VT-35, pp. 77–92, Aug. 1986.
- [42]. W. Kiamouche, M. Benslama, "Pseudo Last Useful Instant Queuing Strategy for Handovers in Low Earth Orbit Mobile Satellite Networks" *International Journal of Information and Communication Engineering* Vol. 4, n°. 5 2008 , pp. 369-375.
- [43]. W. Kiamouche, S. Lesmari, M. Benslama "Performance Analysis of A Dynamic Channel Reservation-like Technique for Low Earth Orbit Mobile Satellite Systems." *International Journal of Information and Communication Engineering* Vol.7 No.1 2011, pp. 20-25.
- [44]. M. K. Saha "Interfering cell identification in satellite cellular system." *IEEE Transactions on aerospace and electronics systems* Vol. 34. N°.2. April 1998 pp 477-485.
- [45]. E. Altaman, A. Ferreira, J. Galtier, " Les réseaux satellitaires de télécommunication Technologie et services. " DUNOD, Paris 1999.

- [46]. R. Sorace "Overview of multiple satellite communication networks.", *IEEE transactions on aerospace and electronics systems*, Vol.35 No.4 October 1999 pp 1362 - 1368.
- [47]. J. H. Conway et N. J. A. Sloane, " Sphere packings; lattices and groups" *Springer-Verlag*, New York, Berlin, Heidelberg, London, Paris, Tokyo, 1988, ISBN 0-387-96617-X, and ISBN 3-540-96617-X
- [48]. J. G. Walker, 'Some circular orbit patterns providing continuous whole earth coverage', *Journal of the British Interplanetary Society*, vol. 24, pp. 369-384, 1971.
- [49]. J. G. Walker, 'Satellite constellations', *Journal of the British Interplanetary Society*, vol. 37, pp. 559-571, 1984.
- [50]. A. H. Ballard, "Rosette constellations of earth satellites", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 16, n°. 5, September 1980.
- [51]. E. Papapetrou S. Karapantazis, G. Dimitriadis, F.-N. Pavlidou, "Satellite Handover Techniques for LEO Networks," *International Journal of Satellite Communications and Networking*, Vol. 22, n°. 2, Mar./Apr. 2004, pp. 231–45.
- [52]. S. Cho I.F. Akyildiz, M.D. Bender, H. Uzunalioglu, "New Spotbeam Handover Management Technique for LEO Satellite Networks," *IEEE Global Telecommunication Conference*, San Francisco, CA, Nov. 27–Dec. 1, 2000, pp. 1156–60.
- [53]. A N. Efthymiou Y.F Hu; R.E Sheriff, A.Properzi, "Inter-Segment Handover Algorithm for an Integrated Terrestrial/Satellite-UMTS Environment," *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1998, The Ninth IEEE International Symposium PIMRC*, Boston, MA, Sept. 1998, pp. 993–98.
- [54]. R. B Cooper, "Introduction to Queueing Theory", 2nd ed., North-Holland (Elsevier), New York, 1981. Reprint (and Solutions Manual) available from University Microfilms International, Ann Arbor, MI.
- [55]. R. B Cooper, "Queueing Theory. In Stochastic Models" (D.P. Heyman and M. J. Sobel, eds.), North-Holland (Elsevier), Amsterdam, 1990, pp. 469-518.
- [56]. T. Syski, "Introduction to Congestion Theory in Telephone Systems", 2nd ed., Elsevier, New York, 1986.
- [57]. D. P. Heyman, , and M. J. Sobel, "Stochastic Models in Operations Research", Vol. 1, *Stochastic Process and Operating Characteristics*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [58]. S. M. Ross, "Introduction to Probability Models", 5th ed., Academic Press, San Diego, CA, 1993.
- [59]. R. W. Wolff, "Stochastic Modeling and the Theory of Queues", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [60]. R. B. Cooper and D. P. Heyman "Teletraffic Theory and Engineering" *Encyclopaedia of Telecommunications*, Vol 16 pp- 453-483 1998.
- [61]. A. Koster "Frequency Assignment - Models and Algorithms", 1999 Proefschrift, Universiteit Maastricht ISBN 90-9013119-1
- [62]. S. Tekinay et B. Jebbari "Handover and Channel Assignment in Mobile Cellular Networks" *IEEE Communications Magazine*, novembre 1991 Volume: 29 Issue: 11 pp: 42 – 46.

- [63]. E. Del Re, R. Fantacci, and G. Giambene, "Performance analysis of a dynamic channel allocation technique for satellite mobile cellular networks," *International Journal of Satellite Communications*, vol. 12, N°1, pp. 25–32, Jan./Feb. 1994.
- [64]. V. H. MacDonald, "The cellular concept," *Bell System Technical Journal*, vol. 58, pp. 15–41, Jan. 1979.
- [65]. E. Del Re, R. Fantacci, and G. Giambene, "Performance analysis of a dynamic channel allocation technique for terrestrial and satellite mobile cellular networks," in *Proceedings Global Telecommunication Conference IEEE GLOBECOM'93*, (Houston TX), Nov. 29–Dec. 2, 1993, pp. 1698–1702.
- [66]. L. J. Cimini, G. J. Foschini, I. Chin-Lin, and Z. Miljanic, "Call blocking performance of distributed algorithm for dynamic channel allocation in microcells," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, no. 8, pp. 2600–2607, 1994.
- [67]. M. M. L. Cheng and J. C. I. Chuang, "Performance Evaluation of Distributed Measurement-Based Dynamic Channel Assignment in Local Wireless Communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, No. 4, May 1996.
- [68]. ITU-E-771 "Network grade of service parameters and target values for circuit switched land mobile services." Blue Book, 1995.
- [69]. R. Guerin. "Channel occupancy time distribution in a cellular radio system." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 35(3):89–99, August 1987.
- [70]. S. Tekinay and B. Jabbari, "Analysis of measurement based prioritization schemes for handovers in cellular networks," in *Proceedings Global Telecommunication Conference IEEE GLOBECOM'92*, Orlando, FL, 1992.
- [71]. B. P. Quiles "An Enhanced Mobility Model" Mars 2004, eingereicht an der Technischen Universität Wien Von Universidad Politécnica de Valencia Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik.
- [72]. Y.-B. Lin, L.-F. Chang, and A. Noerpel, "Modeling hierarchical microcell/ macrocell PCS architecture," in '*Gateway to Globalization*', 1995 *IEEE International Conference IEEE ICC'95*, Seattle, June 1995, pp. 405–409.
- [73]. E. Del Re, R. Fantacci, and G. Giambene, "Different queuing policies for handover requests in low earth orbit mobile satellite systems," *IEEE Transactions Vehicular Technology*, vol. 48 no.2 , pp. 448 - 458, Mar 1999.
- [74]. S. M. Ross, "Stochastic Processes". New York: Wiley, 1983.
- [75]. R. E. Sheriff, H. F. Hu, E. Del Re, R. Fantacci, et G. Giambene, "Satellite-UMTS traffic dimensioning and resource management technique analysis," *IEEE Transactions Vehicular Technology*, vol. 47 no.4 , pp. 1329–1341, Nov. 1998.
- [76]. I. Ali, P.G. Bonanni N. Al Dhahir J. E. Hershey "Doppler Applications In LEO Satellite Communication Systems", Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [77]. I. Ali, N. Dhahir, and J. E. Hershey, "Predicting the visibility of LEO satellites" *IEEE transactions on aerospace and electronics systems*, Vol.35, No.4, October 1999.
- [78]. I. Ali, N. Al-Dhahir, J. E. Hershey, G. J. Saulnier, R. Nelson "Doppler as a New Dimension for Multiple Access in LEO Satellite Systems" *International Journal of Satellite Communications*, Vol. 15, Issue 6, pages 269–279, November/December 1997.

- [79]. M. Gurmundson, "Analysis of handover algorithms," in *Proceedings Vehicular Technology Conference, 1991. 'Gateway to the Future Technology in Motion', 41st IEEE VTC'91*, pp. 539–543.
- [80]. J. G. Markoulidakis, D. F. Tsirkas, M. E. Theologou, "The Average Number of Handovers per Call in Satellite UMTS Systems", *Second IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'97)*, Alexandria, Egypt, July 1-3, 1997.
- [81]. E. Del Re, R. Fantacci and L. Ronga "A Dynamic Channel Allocation Technique Based on Hopfield Neural Networks" *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 45, N° 1, February 1996 pp. 26-32.
- [82]. E. Del Re, R. Fantacci, and G. Giambene, "Performance Comparison of Different Dynamic Channel Allocation Techniques for Mobile Satellite Systems," *European Transactions Telecommunication*, vol. 8, no. 6, Nov./Dec. 1997, pp. 609–621.
- [83]. E. Del Re, R. Fantacci and G. Giambene, "Handover and Dynamic Channel Allocation Techniques in Mobile Cellular Networks" *IEEE Transactions on vehicular technology*, Vol. 44, N° 2, May 1995 pp. 229-237.
- [84]. J. Z. Wang "Simulation and Performance Analysis of Dynamic Channel Allocation Algorithms" in DECT' *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 42, N° 4, November 1993 pp. 563-569.
- [85]. N. Lilith, K; Dogançay "Distributed reduced-state SARSA algorithm for dynamic channel allocation in cellular networks featuring traffic mobility" *IEEE International Conference on Communication Seoul Korea ICC 2005*, 860 - 865 Vol. 2 May 2005.
- [86]. M. Zhang and T. S. Yum, "Comparison of channel assignment strategies in cellular mobile telephone systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 38 no. 4 November 1989 pp:211-215.
- [87]. P. A. Raymond, "Performance Analysis of Cellular Networks.," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 39, no. 12, December 1991, pp.1787-1793.
- [88]. G. Boggia and P. Camarda "Modeling Dynamic Channel Allocation in Multicellular Communication Networks" *IEEE Journal on Selected Areas In Communications*, Vol. 19, n°. 11, November 2001.
- [89]. X. Tian and C. Ji, "Bounding the performance of dynamic channel allocation with QoS provisioning for distributed admission control in wireless networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, n°. 2, March 2001 pp 388-397.
- [90]. D. L. Pallant and P. G. Taylor, "Modeling handover in cellular mobile networks with dynamic channel allocation," *Operations Research*, Vol. 43, n°. 1, pp. 33–42, Jan.–Feb. 1995.
- [91]. L. J. Cimini, G. J. Foschini, I Chin-Lin, and Z. Miljanic, "Call blocking performance of distributed algorithms for dynamic channel allocation in microcells," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 42, pp. 2600–2607, Aug. 1994.
- [92]. C. Purzynski and S. S. Rappaport, "Multiple call hand-off problem with queued hand-offs and mixed platform types," *Proceedings Communications IEE*, vol. 142, no. 1, pt. I, pp. 31–39, Feb. 1995.
- [93]. D. K. Kim and D. K. Sung, "Handoff/resource managements based on PCV's and SVC's in broadband personal communication networks," in *Proceedings Global Telecommunication Conference IEEE GLOBECOM '96*, London, U.K., Nov. 18–22, 1996.

- [94]. K. W. Ross, "Multiservice Loss Models for Broadband Telecommunication Networks". New York: Springer-Verlag, 1995.
- [95]. L. A. Zadeh "Fuzzy Sets", *Information and Control* 8, 1964, pp. 338- 353.
- [96]. B. Bouchon Meunier, "La logique floue et ses applications", Editions Addison-Wesley France, 1995.
- [97]. R. E. Bellman and L. A. Zadeh, "Decision making in a fuzzy environment", *Management Science*, Vol.17, n°.4, pp.141-164, 1970.
- [98]. W. Kiamouche M. Benslama, "Intelligent system rescuing calls with short lengths Facing A Handover Failure In Mobile Satellite Networks." *ICIC Express Letters* Vol. 5, No. 7, July 2011 2365-2370.