

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE HADJ LAKHDER BATNA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Thèse**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences en

Electronique

OPTION : Micro-ondes pour Télécommunications

Par :

NOUR EL HOUDA HEDJAZI

*Thème*

*Modélisation et contrôle du Handover dans les  
satellites de communication*

Devant le Jury :

Dr. Tarek FORTAKI	Prof.	Univ. Batna	Président
Dr. Djamel BENATIA	Prof.	Univ. Batna	Rapporteur
Dr. Nabil BENOUDJIT	Prof.	Univ. Batna	Examineur
Dr. Malek BENSLAMA	Prof.	Univ. Constantine	Examineur
Dr. M'Hamed BOULAKROUNE	M.C.A	Univ. Ouargla	Examineur
Dr. Djamel KHADROUCHE	M.C.A	Univ. M'Sila	Examineur

**Année universitaire : 2014/2015**

## *Remerciements*

Je voudrais remercier **Pr. Djamel BENATIA** d'avoir accepté de diriger cette thèse et qui, avec beaucoup de disponibilité, a suivi ce travail. Je le remercie pour ses conseils judicieux et pour ses qualités scientifiques et pédagogiques.

J'adresse ma profonde reconnaissance au **Pr. Tarek FORTAKI**, professeur à l'Université de Batna, pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant le jury.

Je tiens à associer à ces remerciements, **Pr. Malek BENSLAMA**, professeur à l'Université de Constantine et **Pr. Nabil BENOUDJIT**, professeur à l'Université de Batna d'avoir accepté de participer dans ce jury et d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également à **Dr. M'Hamed BOULAKROUNE** maître de conférence à l'Université de Ouargla et **Dr. Djamel KHEDROUCHE** maître de conférence à l'Université de M'sila pour tout l'intérêt qu'ils ont manifesté à l'égard de mon travail de thèse.

Mes pensées iront également à **mes parents** qu'ils trouvent ici toute ma profonde reconnaissance pour leurs aides et leurs encouragements. Sans oublier les personnes qui m'ont partagé les années d'études dans le département d'électronique de l'université de Batna que je souhaite bon courage.

# *Dédicaces*

*A :*

*Mes chers parents*

*Mes frères et mes sœurs*

*Mon mari*

*Mon fils **Ahmed amine***

*Toute ma famille*

*Tous mes collègues et amies sans exception.*

*Je dédie cette thèse*

# Sommaire

---

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

---

## *Chapitre I : Les satellites de communications*

---

I.1. Introduction .....	5
I.2. Orbites et couvertures.....	5
I.2.1. Orbites elliptiques .....	6
I.2.2. Orbites circulaires .....	7
I.2.3. Orbite géostationnaire .....	9
I.3. La source d'énergie des satellites et leurs moyens de communication .....	11
I.3.1. Quelle source d'énergie pour les satellites ? .....	11
I.3.2. Quels sont leurs moyens de communiquer ? .....	11
I.4. Conclusion .....	15

---

## *Chapitre II : Le Handover*

---

II.1. Introduction .....	16
II.2. Processus du Handover .....	16
II.3. Fonction du Handover .....	17
II.4. Handover « break before make » .....	17
II.5. Handover dans un contexte satellite .....	19
II.6. Handover terrestre vers satellite .....	19
II.7. Handover satellite vers terrestre.....	20
II.8. Handover satellite vers satellite .....	20
II.9. Principe de base du Handover.....	21
II.10. Buts du Handover .....	21
II.10.1. Du point de vue utilisateur .....	21
II.10.2. Du point de vue opérateur .....	22
II.11. Gestion du Handover (Phases du Handover).....	23
II.12. Le lancement du Handover .....	23
II.13. Types de Handover .....	24
II.14. Contrôle du Handover.....	25
II.15. Conclusion .....	32

---

## *Chapitre III : Le Télétrafic*

---

III.1. Introduction .....	33
III.2. Loi de probabilité de modélisation des instants d'arrivée d'appel .....	34
III.3. Temps moyen entre appels .....	37
III.4. Absence de mémoire du processus d'arrivée d'appels .....	39
III.5. Loi de probabilité de modélisation des durées d'appels .....	40
III.6. Modélisation des processus d'apparition et de fin d'appels .....	42
III.7. Probabilité de blocage et formule d'Erlang B.....	45
III.8. Probabilité de mise en attente et formule d'Erlang C .....	47
III.9. Cas d'une population finie et distribution d'Engset .....	48
III.10. Files d'attente .....	49
III.10.1. File d'attente simple .....	49
III.10.2. File d'attente en série .....	53
III.10.3. File d'attente à entrées multiples.....	53
III.11. Modèles du Trafic .....	53
III.11.1. Modèle du trafic de Hong et de Rappaport (Deux-Dimensionnel) .....	53

## Sommaire

---

III.11.2. modèle de El-Dolil et al.'s (omni-Dimensionnel) .....	54
III.11.3. Modèle de Steele et Nofal (bi-Dimensionnel) .....	55
III.11.4. Modèle du trafic de Xie et de Kuek (omni et bi-Dimensionnel) .....	56
III.11.5. le modèle approximé de Zeng a et al du trafic (sans dimension) .....	57
III.12. Conclusion .....	57

---

### *Chapitre IV : Optimisation du problème du Handover*

---

IV.1. Introduction .....	58
IV.1.1. Définition de base .....	58
IV.2. Stratégie de non priorité .....	59
IV.3. Stratégies de priorité.....	61
IV.3.1. La priorité du Handover « l'utilisation de la file d'attente » .....	61
IV.3.2. La réservation des canaux de garde .....	63
IV.3.3. La priorité du Handover avec la réservation des canaux de gardes .....	65
IV.3.4. La mise en queue des nouveaux appels et du Handover et la réservation des canaux de gardes .....	66
IV.4. Hypothèses de base .....	71
IV.4.1. Modèle de cellule.....	71
IV.4.2. Modèle de mobilité .....	71
IV.4.3. Les paramètres de simulations.....	72
IV.5. Résultats de simulations.....	72
IV.5.1. Stratégie de non priorité.....	72
IV.5.2. Stratégies de priorités.....	74
IV.5.2.1. La priorité du Handover.....	74
IV.5.2.2. La réservation des canaux de garde .....	76
IV.5.2.3. La réservation des canaux de gardes avec la priorité du Handover.....	79
IV.5.2.4. La mise en queue des nouveaux appels et du Handover et la réservation des canaux de gardes .....	81
IV.6. Comparaison entre les différentes techniques.....	84
IV.7. Conclusion.....	86

---

### *Chapitre V : L'allocation dynamique des canaux avec la priorité du Handover*

---

V.1. Introduction .....	88
V.2. Modèle de mobilité.....	88
V.3. Modèle de cellule.....	89
V.4. Les techniques d'allocation des canaux .....	89
V.4.1. Allocation de type FCA .....	89
V.4.2. Allocation dynamique des canaux DCA .....	90
V.5. Les paramètres de simulations.....	90
V.6. Les résultats de simulations .....	91
V.6.1. La technique DCA sans priorité.....	91
V.6.2. La technique DCA avec priorité du Handover .....	94
V.6.3. La technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover.....	96
V.7. Conclusion .....	99

---

<b>Conclusion générale .....</b>	<b>100</b>
----------------------------------	------------

---

<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>104</b>
--	------------

---

# **Introduction Générale**

## **Introduction générale**

**L**es télécommunications par satellite sont l'aboutissement d'une recherche vers des portées et des capacités toujours plus grandes à des couts aussi faibles que possible. La seconde guerre mondiale favorise l'essor de deux techniques très éloignées : les missiles et les micro-ondes. La maîtrise atteinte ultérieurement dans l'utilisation conjointe de ces deux techniques ouvre l'ère des télécommunications par satellite [1, 2].

Les services commerciaux de télécommunications mobiles par satellite ont émergé il y a 30 ans et ont connu depuis une évolution incessante tant sur la partie d'accès satellite que sur les aspects réseau. D'une approche spécifique de type « un service, un terminal, un système », les systèmes mobiles satellites adoptent de plus en plus une stratégie d'intégration avec les technologies de réseau terrestre qui se sont imposées par ailleurs [3]. Par le biais de cette intégration avec le monde terrestre, la technologie mobile par satellite trouvera peut être sa place auprès du grand public. L'origine des services mobiles par satellite (MSS ou Mobile Satellite Services) peut être datée à 1982 avec le lancement du service d'Inmarsat et de son système de satellites géostationnaires. Ce système fournissait principalement des services de communications téléphoniques maritimes avec des terminaux volumineux suivis quelques années plus tard par des services de transmission de données.

Dans les années 90, les constellations de satellites à basse orbite ont firent leur apparition, avec la promesse d'offrir un service de téléphonie mondial sur de petits terminaux portables. Naît alors le rêve que le service mobile par satellite peut trouver sa place auprès du grand public. Les réseaux cellulaires terrestres qui se déployaient rapidement ne satisfaisaient pas entièrement les besoins du grand public. Certains ont pensé à ce moment là que les systèmes mobiles par satellite pourraient supplanter les systèmes terrestres. Les téléphones par satellite ont donc connu une brève opportunité de se faire adopter par le grand public, ce qui a laissé des traces encore présentes dans les esprits. Au tout début des réseaux cellulaires

terrestres, le nombre de stations et l'infrastructure de cœur étaient insuffisants pour couvrir entièrement le territoire et fournir la bande passante requise, ce qui se traduisait par une impossibilité fréquente de se connecter ou ruptures de connexion. De plus, l'hétérogénéité des solutions terrestres choisies par les différents opérateurs à travers le monde, et parfois au sein d'un même pays, obligeait les utilisateurs à se procurer un nouvel équipement lorsqu'ils voyageaient. Aussi, à ce moment précis de l'histoire, les systèmes satellite en orbite basse se présentent comme la solution pour palier ces différents problèmes : très large couverture, peu d'infrastructure et une technologie disponible mondialement avec un unique terminal. Créée en 1991, l'opérateur Iridium symbolise ce rêve de conquête du grand public. La mise en service en 1998 est un échec qui conduira l'entreprise à la faillite un an plus tard. Pourquoi cet échec alors que la qualité du service est à la hauteur des attentes du public ? Il est principalement dû au coût des communications largement supérieures aux offres terrestres qui par ailleurs se sont bien améliorées dans le même temps. Le grand public ne peut se payer la technologie satellite qui est donc réservée aux utilisateurs qui n'ont pas le choix et qui ont les moyens.

Au début des années 2000, un nouvel espoir renaît pour la communauté satellite de se faire une part dans l'immense gâteau du marché mobile. Cette fois, plutôt que d'un affrontement frontal avec leurs concurrents terrestres, les opérateurs satellite se placent sous le signe de l'intégration avec les solutions cellulaires. Ils partent d'un simple constat : les technologies mobiles terrestres et satellite sont naturellement complémentaires. Les réseaux cellulaires terrestres sont adaptés aux villes où la densité d'utilisateurs est maximale mais perdent leur rentabilité dans les zones peu peuplées. A l'inverse, les systèmes mobiles satellites permettent de couvrir de vastes zones à moindre coût mais n'assurent pas la couverture dans les zones urbaines car le signal est bloqué par les constructions. En les combinant pour assurer la couverture en ville par le réseau terrestre et dans les zones les

moins denses avec le satellite, on obtient un système à la couverture totale pour un coût optimal. Nous appelons un tel système combinant un composant satellite et une composante terrestre un « système intégré » satellite-terrestre.

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons plus particulièrement au problème du Handover dans les systèmes mobiles satellitaires LEO [4]. En effet, un appel d'un utilisateur fixe ou mobile peut être transféré d'une cellule à une autre (respectivement d'un satellite à un autre) puisque l'appel ne peut pas bénéficier d'un canal de communication convenable dans la cellule courante (respectivement dans le système satellitaire) à cause de la mobilité de l'utilisateur, du mouvement du satellite et des raisons de propagation (fading, shadowing, ...).

Le Handover établit le transfert de liaison de communication du canal courant à un autre. Comme l'échec du Handover est moins souhaitable que le rejet d'une nouvelle connexion, une étude poussée a été faite sur les différentes stratégies de priorité des requêtes du Handover sur les nouveaux appels par l'utilisation de la file d'attente, et d'autres études sont basées sur l'utilisation des canaux de gardes dans le cadre de la technique d'allocation fixe des canaux FCA et l'allocation dynamique des canaux DCA [5-19]. Suite à ces travaux, notre contribution est de combiner entre la file d'attente et les canaux de garde dans les deux cas FCA et DCA g pour améliorer la qualité de service. Des simulations ont été élaborées avec le logiciel Matlab Simulink afin d'évaluer les performances de ces techniques en termes de probabilité de blocage de l'établissement de l'appel et du Handover.

Pour cela, nous avons structuré notre thèse autour de cinq chapitres organisés comme suit :

- *Le premier chapitre* concerne les généralités sur la transmission par satellites, les orbites, ainsi que la source d'énergie des satellites et leurs moyens de communication.
- *Le deuxième chapitre* concerne le principe de base du Handover, le but du Handover et sa gestion.
- *Le troisième chapitre* fait l'objet de généralités sur le télétrafic avec quelques modèles du trafic.
- Dans le *quatrième chapitre*, nous étudierons quelques techniques de la stratégie de priorité du Handover dans le cas FCA suivi par des commentaires et discussions.
- Dans le *cinquième chapitre*, nous étudierons la technique DCA. Ce chapitre fera l'objet également d'une comparaison entre les deux techniques FCA et DCA.

Enfin, une conclusion générale avec quelques perspectives termineront ce travail résumant les principales tâches accomplies.

# **Chapitre I**

## **Les satellites de communications**

## I.1. Introduction

Depuis le premier satellite artificiel " Spoutnik 1 ", lancé en 1957 par l'ex-URSS, l'exploitation de l'espace à des fins d'applications civiles et militaires a pris une importance croissante en cette fin de siècle. Dans les domaines des télécommunications intercontinentales, le plus grand système existant : " Intelsat ", faisant participer une centaine d'Etats, a sans cesse continué son expansion et regroupe actuellement 24 satellites à travers 6 séries différentes, chacune constituant un véritable progrès technique sur la précédente [1].

Par exemple, la cinquième série de satellites d'Intelsat peut desservir, sur une grande partie de la surface du globe, plus de 12000 circuits téléphoniques et au moins deux circuits de télévision par satellite. Ainsi, depuis plus de vingt ans, les divers progrès réalisés dans des domaines très variés tels que la météorologie, la téléphonie mobile, la télévision par satellite ou encore le GPS (Global Positioning System), sont conséquent et favorise le développement de notre niveau de vie sur Terre. C'est pourquoi il nous a semblé judicieux de se pencher plus sérieusement sur le fonctionnement global des satellites, à savoir le trajet qu'il suit dans l'espace, la façon dont il gère son autonomie, et les modes d'émission et de réception par rapport à la Terre.

Dans cette optique, nous verrons tout d'abord les différentes orbites et couvertures parcourues par l'ensemble des satellites en gravitation autour de la Terre, puis dans un second temps nous étudierons les caractéristiques générales du fonctionnement de la plupart des satellites.

## I.2. Orbites et couvertures

La quasi-totalité des satellites, qu'ils soient à usage d'observation ou de télécommunication, ont des orbites, c'est à dire des trajectoires spécifiques à un corps animé d'un mouvement périodique, propres à leur utilisation [1]. On peut ainsi distinguer trois types

d'orbites différentes: des orbites elliptiques, des orbites circulaires et l'orbite géostationnaire, chacune ayant des caractéristiques différentes des autres.

### I.2.1. Orbites elliptiques

Comme son nom l'indique, un satellite placé dans une orbite de ce type décrit une trajectoire en forme d'ellipse autour de la terre. Afin de placer un satellite en orbite elliptique, la vitesse de lancement dans l'espace doit, d'après Newton et ses théories sur la gravitation, être supérieure à 7900 m/s. La principale caractéristique de ce type d'orbite est la grande variation en vitesse que subissent les satellites. En effet, plus un satellite est loin de la terre, plus sa vitesse est faible car la vitesse " v " est inversement proportionnelle à son altitude " h " selon la relation [21] :

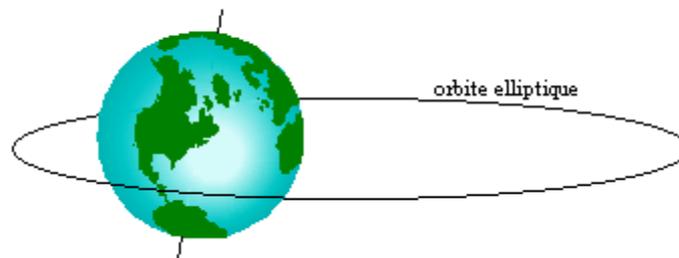
$$v^2 = G * m * \frac{2}{h} - \frac{1}{a} \quad (I.1)$$

Où G est la constante gravitationnelle, m la masse du satellite et a le demi grand axe de l'orbite. Cependant, comme l'altitude varie énormément pendant sa période et que la trajectoire décrit une ellipse, la position du satellite pour un observateur terrestre n'est pas fixe. Par conséquent, le suivi de chaque satellite nécessite un équipement de stations d'émission et de réception avec des antennes mobiles, ce qui est considéré au point de vue financier et qualitatif comme un inconvénient. Néanmoins, les satellites en orbites elliptiques présentent l'avantage de pouvoir desservir des zones éloignées de l'équateur, ce qui n'est pas forcément le cas pour les orbites circulaires et géostationnaire. En effet, avec une inclinaison élevée, il est possible de survoler des territoires à la périphérie des hémisphères. La couche d'atmosphère étant plus étroite, la qualité des signaux est donc un peu meilleur [21].

Par exemple, dans le système " Molnya " utilisé par l'URSS, 3 satellites dont les orbites sont inclinées de 63° par rapport au plan équatorial, couvrent totalement la Sibérie car leur

partie lente correspond au deux tiers de leur période et ils se situent alors à la verticale du territoire sibérien.

Les orbites elliptiques présentent des avantages, comme la couverture des zones éloignées de l'Equateur, mais également des inconvénients tels que les aspects qualitatif et financier des équipements mobiles sur Terre. Cependant il existe des orbites où ce type d'inconvénients n'apparaît presque pas : ce sont les orbites circulaires.

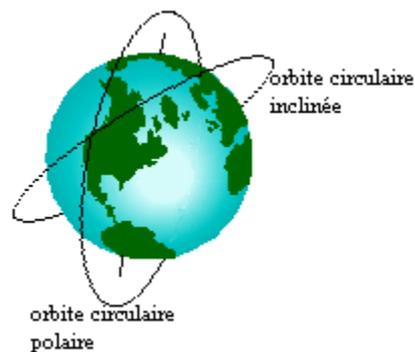


*Figure I.1 : Orbite elliptique*

### **I.2.2. Orbites circulaires**

Il existe une infinité d'orbites circulaires, chacune correspondant à une inclinaison par rapport au plan orbital, mais on peut en distinguer 3 sortes : l'orbite circulaire polaire et les orbites circulaires inclinées [21].

L'orbite polaire est une orbite circulaire qui passe par-dessus les deux pôles de la Terre.



*Figure I.2 : Orbite circulaire*

L'inconvénient principal, pour les satellites inscrits dans ce type de trajectoire, est la lenteur de leur couverture mais cette faible vitesse permet tout de même au satellite de couvrir une grande partie de la surface du globe, voire la totalité de la terre, compte tenu de la rotation de la terre sur elle-même. On peut citer l'exemple des satellites d'observation français "Spot", situés à 800 km d'altitude, qui assurent la couverture de la surface totale du globe en 21 jours, ou encore un système américain constitué de 12 satellites et ayant une utilisation dans la messagerie.

Les orbites circulaires inclinées décrivent également un cercle autour de la Terre, mais chaque trajectoire est inclinée d'un certain angle par rapport au plan équatorial. De plus il est nécessaire d'imposer au satellite une vitesse de lancement d'environ 7900 m/s. Cependant, cette inclinaison présente un inconvénient majeur : étant donné que la plus haute latitude desservie par les satellites, dont les orbites sont inclinées, correspond à la déviation angulaire par rapport au plan de l'Equateur, ces satellites ne peuvent pas couvrir la totalité de la surface du globe. Par contre, cette orbite possède un avantage : selon l'altitude du satellite, il est possible de cibler les zones du globe, c'est à dire que l'on peut desservir les parties intéressantes d'un point de vue économique, militaire, ou autres applications...

Par exemple, le projet français " Globalstar " prévoit de lancer 48 satellites en orbite circulaire inclinée à 50° par rapport à l'équateur, afin d'assurer des communications mobiles dans la plupart des pays.

Ces deux types de trajectoires ont chacun des caractéristiques différentes, des usages propres suivant les inconvénients et les avantages. Néanmoins ils ne sont que très peu utilisés par rapport à une autre orbite circulaire : l'orbite géostationnaire, qui possède actuellement le plus d'avantages aussi bien économiques que pratiques.

### I.2.3. Orbite géostationnaire

A l'origine, une orbite géostationnaire est une orbite circulaire inclinée d'un angle nul, c'est à dire placée dans le plan équatorial. Mais ses caractéristiques étant assez différentes de celles des orbites circulaires simples, on l'a nommé orbite géostationnaire [2].

Ce nom vient de la caractéristique la plus importante de cette orbite : pour un observateur terrestre, un satellite placé en orbite géostationnaire a une apparence immobile dans le ciel. Cela vient en grande partie du fait que la période de révolution, c'est à dire le temps que met le satellite pour parcourir le périmètre du cercle représentatif de sa trajectoire, est exactement la même que celle de la Terre, soit exactement 23 heures 56 minutes 4 secondes. Mais le fait qu'il tourne dans le même sens que notre planète en est également une cause. De plus la troisième loi de Kepler permet aisément de déterminer l'altitude d'un satellite en orbite géostationnaire [3, 21] :

Connaissant la masse " M " de la Terre :  $M = 5,98 * 10^{24} \text{ Kg}$  , et la période de rotation de la Terre sur elle-même :  $T = 86164 \text{ secondes}$ , nous pouvons déduire le rayon " a " du cercle représentant l'orbite :

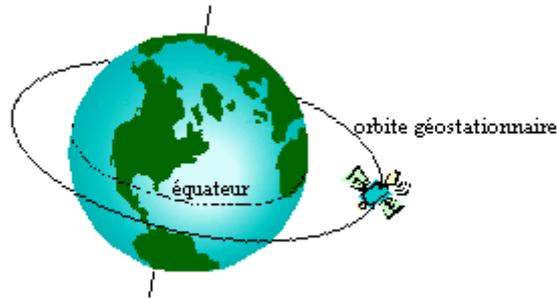
D'après la troisième loi de Kepler [41] :

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4 * \pi^2}{G * M} \Rightarrow a^3 = \frac{T^2 * G * M}{4 * \pi^2} \Rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{T^2 * G * M}{4 * \pi^2}} \quad (I.2)$$

et donc, avec les valeurs de T, M et  $G = 6.67 * 10^{-11} \text{ N.m}^{-2}.\text{kg}^{-2}$ , on en déduit:

$a = 42179 \text{ km}$  , mais comme  $a$  est la distance depuis le centre de la Terre, l'altitude " h " est donnée par :  $h = a - R$  , avec " R " le rayon de la Terre ( $R=6378 \text{ km}$ ).

Donc l'altitude d'un satellite en orbite géostationnaire est  $h=35800 \text{ km}$ .



**Figure 1.3 : Orbite géostationnaire**

Cette orbite est la plus utilisée actuellement car la qualité des signaux est équivalente, voire supérieure à celle des autres orbites, mais il est beaucoup plus rentable d'utiliser ce type de satellite dans la mesure où l'avantage majeur est la possibilité d'employer sur Terre des antennes fixes. De plus, la position de cette trajectoire permet aux satellites d'avoir une grande couverture qui vaut à peu près un hémisphère. Par contre, son altitude élevée entraîne quelques inconvénients. En effet, plus les zones à couvrir sont éloignées de l'Equateur, plus le signal mettra de temps pour arriver, et plus il y aura d'interférences. Il y a également un autre problème qui se dessine déjà pour cette orbite : le nombre de satellites en orbite géostationnaire devenant de plus en plus grand au fil des années, cette trajectoire commence à être très chargée. Les scientifiques prévoient aussi un danger pour les satellites en état de marche car les satellites dits " poubelles " qui n'ont plus d'énergie pour être opérationnels dérivent sans contrôler leur vitesse et peuvent alors détériorer les autres.

Tous les satellites en activité dans l'espace sont actuellement dans une de ces trois catégories d'orbites : les orbites elliptiques, les orbites circulaires et l'orbite géostationnaire. Chacune de ces trois trajectoires possède des caractéristiques différentes et propres à des applications particulières. Cependant toutes ces utilisations nécessitent obligatoirement des équipements techniques aussi bien sur Terre que sur le satellite afin d'assurer les communications entre la Terre et les satellites.

### **I.3. La source d'énergie des satellites et leurs moyens de communication**

Qu'un satellite soit en orbite elliptique, orbite circulaire, ou en orbite géostationnaire, il doit dans tous les cas être autonome dans l'espace et donc :

#### **I.3.1. Quelle source d'énergie pour les satellites ?**

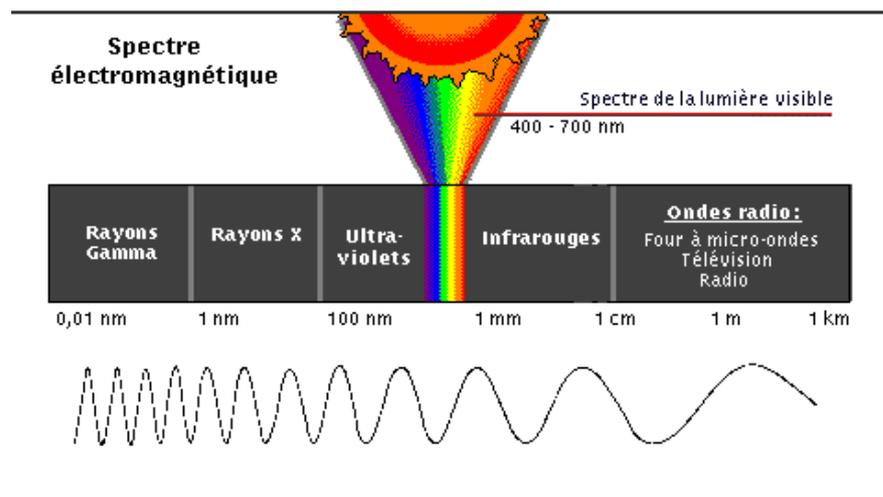
Tout satellite a besoin d'être autonome que se soit pour le contrôle thermique ou l'émission des différentes ondes radios. Pour cela il est nécessaire de pouvoir exploiter une source d'énergie fournissant l'électricité dont l'ensemble des composants a besoin. Dans un satellite l'électricité nécessaire provient principalement de panneaux solaires qui transforment l'énergie solaire en électricité [22, 24].

#### **I.3.2. Quels sont leurs moyens de communiquer ?**

Les premiers satellites de communication furent conçus pour fonctionner en mode passif [25]. Au lieu de transmettre les signaux radio de manière active, ils réfléchissaient les signaux émis par des stations terrestres. Les signaux étaient réfléchis dans toutes les directions et pouvaient donc être reçus n'importe où dans le monde. La capacité de tels satellites était sévèrement limitée par la nécessité de disposer d'émetteurs puissants et de grandes antennes au sol. De nos jours les communications par satellite n'utilisent plus que des systèmes actifs, dans lesquels chaque satellite artificiel possède son propre équipement d'émission et de réception alimenté en électricité par les panneaux solaires [2, 26].

Des centaines de satellites actifs de communication sont aujourd'hui en orbite. Ils reçoivent des signaux en provenance d'une station terrestre, les amplifient, puis les retransmettent dans une fréquence différente à une autre station. Avec l'augmentation continue du nombre de systèmes, le problème de la détermination des fréquences devient aujourd'hui crucial. Les principales bandes utilisées (fréquence de montée / fréquence de descente) sont actuellement les suivantes [1] :

- La bande L (1,6 / 1,4 GHz), de 80 MHz de largeur, réservée aux communications mobiles. Constituant la bande de fréquence la moins sujette aux perturbations atmosphériques, elle est utilisée par de petites stations terrestres mobiles (bateaux, véhicules terrestres et avions). Etant donné le nombre de projets en cours de téléphonie mobile, elle risque de devenir rapidement insuffisante.
- La bande C (6 / 4 GHz), d'une largeur de 500 MHz, très utilisées par les centaines de satellites actifs aujourd'hui en orbite. De fait, elle est maintenant saturée.
- La bande X (8 / 7 GHz), réservée aux applications militaires.
- La bande Ku (14 / 12 GHz), également beaucoup utilisée, principalement par de grandes stations terrestres fixes.



- La bande Ka (30 / 20 GHz), qui demeure la seule encore vacante. Mais l'utilisation de fréquences élevées induit un coût technologique important, ces derniers étant, de plus, fort sensibles aux perturbations atmosphériques.

On peut donc constater que le spectre des fréquences utilisables apparaît déjà très occupé. Heureusement, les progrès des techniques de transmission de données ont permis de découpler la capacité des installations, et de réduire la taille des stations terrestres. Les

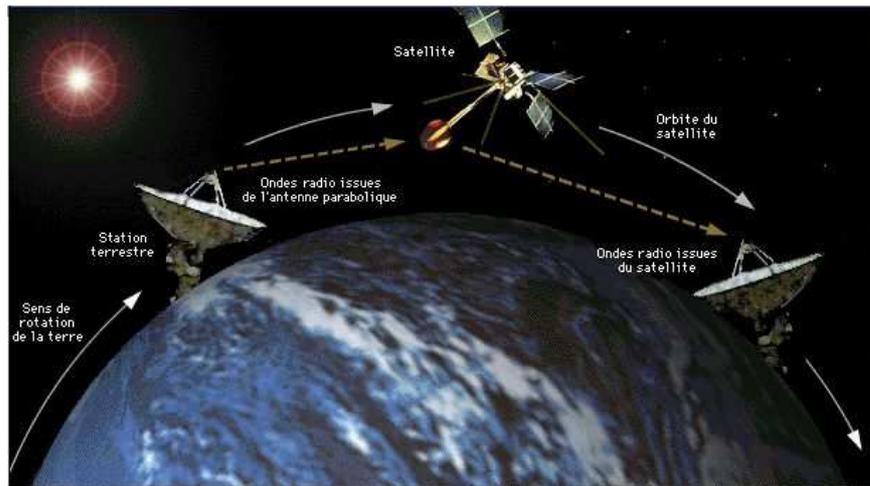
méthodes numériques de codage à la source ont ainsi entraîné une division par dix du débit nécessaire pour transmettre une communication téléphonique ou une émission de télévision.

Ces progrès sont dans un premier temps possibles grâce à la modulation de fréquence (MF) qui représente un système de transmission radio dans lequel la fréquence de l'onde porteuse est modulée par le signal transmis. Cette dernière présente des avantages par rapport au système de modulation d'amplitude (MA), forme parallèle de radiodiffusion. L'avantage le plus important du système MF est sa plus grande tolérance vis-à-vis des interférences et de l'électricité statique. De nombreuses perturbations radioélectriques, telles que celles causées par les orages et les systèmes d'allumage de véhicule, créent des signaux radio de modulation d'amplitude, qui sont reçus comme du bruit par les récepteur MA. Un récepteur MF correctement conçu n'est pas sensible à de telles perturbations lorsqu'il est réglé sur un signal MF suffisamment puissant. De même, le rapport (intensité du signal / intensité du bruit) d'un système MF est beaucoup plus élevé que celui d'un système MA. Enfin les stations terrestres de radiodiffusion MF peuvent fonctionner dans les bandes de très hautes fréquences sur lesquelles les interférences MA sont souvent importantes.

Dans un second temps, les systèmes de satellites de communication sont entrés dans une période de transition depuis les communications point par point de grande capacité, entre des équipements terminaux terrestres de grande dimension et coûteux, jusqu'aux communications plus denses en informations entre de petites stations à faible coût. Le développement des méthodes d'accès multiple a, à la fois, accéléré et facilité cette transition. Avec le TDMA (accès multiple à répartition dans le temps commuté par satellite), on alloue à chaque station terrestre un intervalle de temps sur un même canal pour la transmission des ses communications. Toutes les autres stations surveillent ces intervalles temporels et sélectionnent les communications qui leur sont destinées. En amplifiant une seule fréquence porteuse dans chaque répéteur du satellite, le TDMA assure l'utilisation la plus efficace de

l'énergie du satellite. Une technique dite de réutilisation de fréquence permet aux satellites de communiquer avec plusieurs stations terrestres en utilisant la même fréquence, en transmettant dans des faisceaux étroits orientés sur chacune des stations. Les largeurs des faisceaux peuvent être ajustées pour couvrir des zones aussi grandes que les Etats-Unis ou aussi petites que la Belgique. Deux stations suffisamment éloignées l'une de l'autre peuvent recevoir des messages différents transmis sur la même fréquence. Les antennes des satellites ont été conçues pour émettre dans différentes directions, en utilisant le même réflecteur. Le concept des communications à faisceaux étroits multiples fut démontré avec succès en 1991 avec le lancement d'*Intelsat*, développé par le Conseil de recherche italien. Avec six faisceaux étroits fonctionnant à 30 GHz sur la liaison montante et 20 GHz sur la liaison descendante, ce satellite interconnecte les émissions en TDMA entre des stations terrestres situées dans les principaux centres économiques d'Italie. Le système démodule les signaux montants, les places entre les faisceaux montants et descendants, puis les combine et les remodule pour la transmission descendante [3].

Enfin, l'application de la technologie laser aux communications par satellite a été étudiée pendant plus d'une décennie. Les rayons lasers peuvent être utilisés pour transmettre des signaux entre un satellite et la Terre. La rapidité de transmission est cependant limitée en raison de l'absorption et de la diffusion par l'atmosphère. Comme les laser fonctionnent dans la longueur d'onde du bleu-vert, qui pénètre l'eau, ils ont été utilisés pour des communications entre les satellites et les sous-marins.



#### I.4. Conclusion

On s'aperçoit donc que les satellites, qu'ils soient placés en orbite elliptique, en orbite circulaire ou en orbite géostationnaire, sont destinés à des utilisations très précises, soit parce que l'orbite ne permet pas de couvrir toute la surface terrestre ou bien l'équipement sur terre est trop coûteux (antennes mobiles ou immobiles ...). De plus, bien qu'ils soient autonomes dans l'espace, car ils tirent leur énergie en grande partie du soleil, les satellites ne peuvent pas être opérationnels indéfiniment et encomrent de plus en plus les orbites. De même, les fréquences utilisées par les satellites pour émettre et recevoir les signaux sont de plus en plus encombrées. C'est pourquoi les scientifiques cherchent actuellement la meilleure trajectoire possible afin de couvrir la majorité, voire la totalité de la surface terrestre en un minimum de temps, et en utilisant le minimum de satellites. Ils recherchent également un moyen de communication entre la terre et le satellite qui soit plus performant que les gammes de fréquences qui existent de nos jours, tant au niveau des pertes, que de la qualité des signaux.

Chapitre II  
**Chapitre II**

Le Handover  
**Le Handover**

## II.1. Introduction

**L**e Handover ou transfert intercellulaire (terme recommandé en France par la DGLFLF et au Canada par l'OQLF) est un mécanisme fondamental dans les communications mobiles cellulaires (GSM, UMTS ou LTE par exemple).

Le Handover est l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant qu'une station mobile (en anglais Mobile Station – MS) puisse changer de cellule sans interruption de la conversation. Ce mécanisme est à mettre en contraste avec le service d'itinérance, qui, se manifeste dans le cas où la station mobile change d'une cellule à une autre (ou d'un opérateur vers un autre) sans qu'il y ait une conversation en cours.

Le processus consiste à ce qu'un terminal mobile maintienne la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet lorsque le signal de transmission entre un combiné et une station de base (BTS ou satellite) s'affaiblit, le système du combiné cherche une autre station de base (ou satellite) disponible dans une autre cellule, qui est capable d'assurer à nouveau la communication dans les meilleures conditions.

Le Handover peut également se réaliser à l'intérieur d'une BTS (ou satellite) ou d'un Node B (on parle alors de Handover intracellulaire), par exemple lorsque la station mobile passe d'un canal radio vers un autre, à cause d'une détérioration du lien radio (trop d'interférences dans la bande de fréquence du canal d'origine) ou change de secteur.

## II.2. Processus du Handover

Le Handover est un phénomène nécessaire à la mise en place du concept cellulaire. Il ne se produit qu'en cours de communication, lorsque le mobile franchit les limites de la cellule. Les objectifs du Handover consistent à maintenir une qualité de communication acceptable, à minimiser le niveau d'interférence global et allouer un autre canal dédié à une MS déjà en

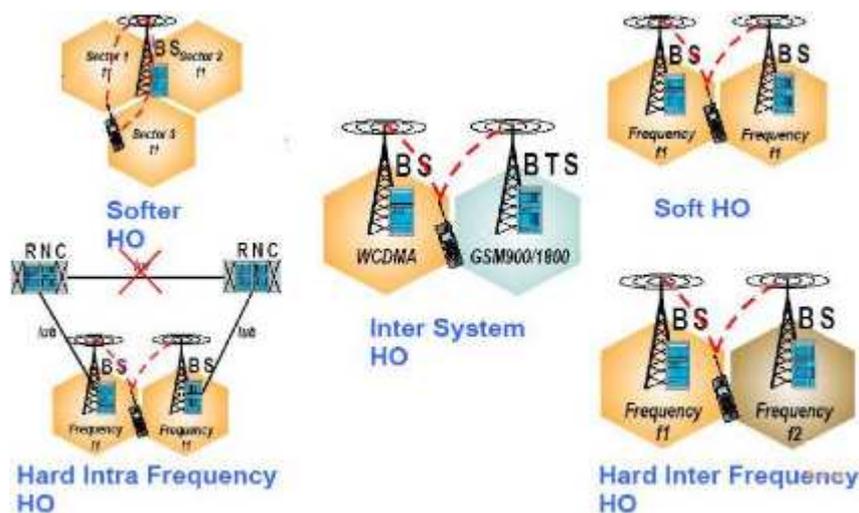
mode dédié, c'est-à-dire dans l'état CELL-DCH. Deux types de Handover sont définis dans le système UMTS :

- Le soft Handover (cas où le mobile change de station de base)
- Le softer Handover (cas où le mobile reste dans la zone couverte par une station de base en changeant juste le secteur)

Le Handover permet de maintenir une qualité de communication suffisante entre le mobile et le réseau à travers un changement de fréquence ou de cellule.

### II.3. Fonction du Handover

- Optimiser l'utilisation des ressources radio et équilibrer la charge de trafic entre les cellules ;
- Permettre aux usagers de se déplacer en cours d'appel et éviter la rupture du lien ;
- Minimiser les interférences (global et par rapport à un lien) et baisser la consommation d'énergie des mobiles.



*Figure II.1 : Les différents types de Handover en UMTS*

### II.4. Handover « break before make »

C'est la procédure classique de hard Handover : le terminal se déconnecte de sa station de base (ou satellite) de service avant de se connecter à la station de base cible (ou satellite). Il

Il y a donc une coupure dans la communication. Par conséquent, ce mode de Handover ne fonctionne que si la mobilité est lente. La procédure de Handover comporte plusieurs étapes :

- **Re-sélection de cellule** : Le terminal utilise les informations recueillies lors des scrutations, associations, annonces, pour évaluer l'intérêt d'une station de base (ou satellite) voisine comme cible d'un Handover. Une telle procédure n'implique pas la terminaison de la connexion avec la station de base (ou satellite) de service, et n'est pas forcément suivie d'une décision de Handover.
- **Entrée dans le réseau** : L'entrée dans le réseau comprenant la synchronisation avec les liens descendants/montants, le ranging (obtention des paramètres du lien descendant et montant), la négociation des capacités, l'authentification par échange de clés et l'enregistrement du terminal auprès de la station de base. Si l'enregistrement est réussi, on établit la connectivité IP et les connexions de transport ; la station de base cible devient la station de base de service.
- **Terminaison du contexte terminal** : Le terminal envoie, à la station de base de service, une indication avec l'option de relâchement des ressources. La station quant à elle arme le temporisateur "retenue des ressources". Lorsque ce temporisateur expire, la station de base de service met fin à toute connexion avec le terminal et détruit les informations le concernant. Si la station de base de service reçoit un message provenant de la station de base cible indiquant que le terminal y a été attaché, la station de base de service peut supprimer le contexte du terminal même avant l'expiration du temporisateur.
- **Baisse de connectivité pendant le Handover** : Quand un terminal détecte une baisse de connectivité pendant l'entrée dans le réseau d'une station de base cible, il peut essayer de reprendre la communication avec sa station de base de service en envoyant un message d'annulation de Handover.

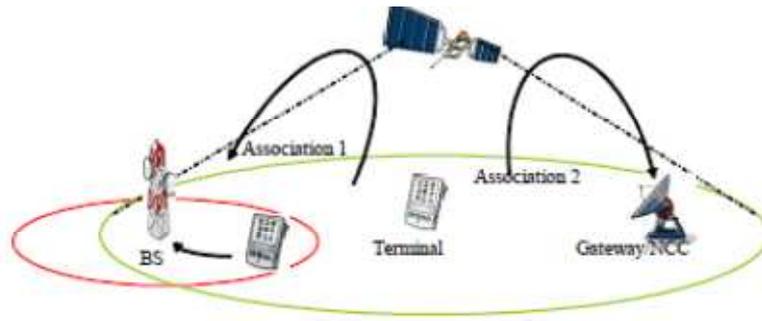
- **Coordination de transmission** : Quand le terminal termine le Handover, il faut maintenir la continuité de la transmission entre l'ancienne et la nouvelle station de base de service vers le terminal.

## II.5. Handover dans un contexte satellite

Nous allons tout d'abord tâcher de définir un certain nombre de scénarios afin de mettre en œuvre un Handover vertical. Le mécanisme général de Handover impose une fermeture de l'ensemble des connexions d'accès et donc des flux réseaux usagers lors du changement de station de base. Cette contrainte semble incompatible avec l'un des objectifs principaux de la 4G, à savoir la mobilité sans couture au travers de réseaux hétérogènes. Cependant, les deux types de Handover optionnels (MDHO et FBSS) définis dans le standard imposent un certain nombre de contraintes, notamment au niveau de la synchronisation, dont nous détaillerons les impacts dans les sections suivantes.

## II.6. Handover terrestre vers satellite

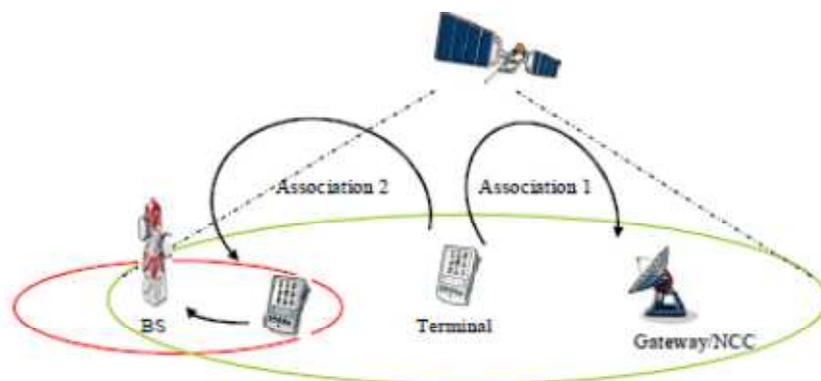
Ce Handover recouvre en premier lieu l'extension de couverture (Figure II.2), c'est à dire le passage d'une station de base WiMAX vers une gateway en raison d'un niveau d'atténuation important de la seule station de base terrestre disponible. Le Handover est alors effectué afin de transférer le terminal mobile vers le système satellite. En outre, ce type de Handover peut également être envisagé pour résoudre des contraintes de routage ou de charge sur le réseau terrestre.



*Figure II.2 : Handover terrestre vers satellite*

### II.7. Handover satellite vers terrestre

Ce Handover (Figure II.3) peut être déclenché par un terminal mobile, pris en charge par le système satellite, dès la réception de l'annonce d'une station de base terrestre. Cela s'apparente à du *smart routing*, où le type d'accès est choisi en fonction de critères de performances. Ce scénario est préférable pour les utilisateurs temps réel dans la mesure où les utilisateurs d'applications temps réel profitent de la baisse du délai une fois qu'ils sont pris par la station de base du réseau terrestre.

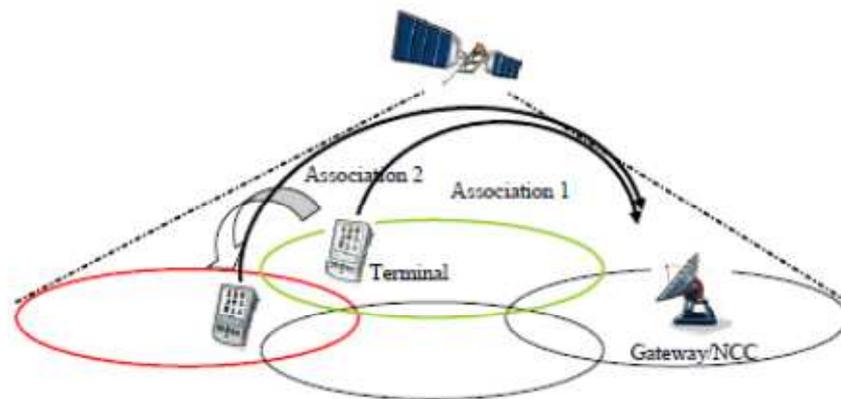


*Figure II.3: Handover satellite vers terrestre*

### II.8. Handover satellite vers satellite

Ce type de Handover (Figure II.4) est particulier et n'est applicable que dans un cas multispot. Ce type de scénario n'implique pas de Handover à proprement parler, puisque la gateway à laquelle est rattaché le nœud mobile reste la même. Seul le spot satellite est changé

car le terminal s'est déplacé vers un autre spot ou que le satellite est remplacé par un autre de même type.



*Figure II.4 : Handover satellite vers satellite*

## II.9. Principe de base du Handover

Pendant la communication (transfert de données usager ou signalisation), le lien radio pour le quelle la communication se déroule est mesurée périodiquement. La détection d'une situation anormale déclenche une alarme. A la réception de cette alarme, le contrôleur de réseau (commutateur) cherche un nouveau satellite et un nouveau canal pour transférer les données. S'il en trouve, un Handover sera déclenchée, sinon, la communication continue sur le même canal et des Handovers sont périodiquement tentés. Après la réussite du Handover, l'ancien canal est libéré et la communication prend un nouveau chemin.

## II.10. Buts du Handover

### II.10.1. Du point de vue utilisateur

Les buts du Handover [28], en premier lieu, sont orientés vers les besoins de l'utilisateur mobile. L'utilisateur maintient des contrats avec au moins un opérateur de réseau mobile et probablement avec un ou plusieurs fournisseurs de service. À l'avenir, ces contrats comporteront les accords de niveau de service (SLA "Service Level Agreements") qui décrivent des niveaux définis de la qualité de service que le client (c'est à dire l'utilisateur

mobile) et le fournisseur (c'est à dire le fournisseur de réseau ou de service) ont admis. Du point de vue utilisateur, on doit lui accorder les buts principaux suivants du Handover en commutant du mode courant à un mode cible :

- **Disponibilité de service:** Les services qui sont actuellement actifs sur le terminal devraient être également disponibles et soutenus dans le mode cible (réseau visité) sauf si l'utilisateur qualifie explicitement un service comme étant facultatif (c.-à-d. les services peuvent être suspendus / abandonnés si non disponibles / ou soutenus dans le mode cible).
- **Continuité de service:** Un aspect important de SLAs est la continuité de la livraison de service. La continuité est un souci bout à bout qui doit être accordé le long du chemin du serveur, fournissant un service par l'intermédiaire de l'infrastructure de transmission, au client consommant ce service.
- **Qualité de service:** La conservation de la qualité du service (QoS) est un autre but important de Handover. QoS peut se caractériser par différents paramètres en tant que le débit binaire fourni, le retard de transfert bout à bout, le taux d'erreurs sur les bits ou la perte des paquets. La pertinence de ces paramètres varie selon les différents types de service.
- **Contrôle du coût:** Les coûts de la livraison des services en mode cible devraient répondre aux exigences du QoS de l'utilisateur, mais ne devraient pas dépasser les limites de coût indiquées par l'utilisateur.

### II.10.2. Du point de vue opérateur

Les opérateurs ne s'attardent pas à optimiser le rapport coût-performance des différents services pour différents utilisateurs, plutôt qu'ils veulent satisfaire les besoins de servir le plus grand nombre possible d'utilisateurs et, en même temps, maximiser leurs propres revenus.

Ceci est réalisé en visant ce qui suit:

- ***Equilibrage de charge entre modes/cellules.***
- ***Réduction de la fréquence des Handovers.***

### **II.11. Gestion du Handover (Phases du Handover)**

La gestion du Handover implique les fonctions de réseau qui permettent aux stations mobiles de changer leurs points d'accès à la station de base courant pendant une communication en assurant la continuité de la communication en cours. La gestion du Handover n'assure qu'un raccordement actif d'appel est maintenu quand l'utilisateur mobile se déplace et change son point d'attachement en réseau.

Trois phases principales sont impliquées dans le Handover : déclenchement du Handover, décision du Handover et exécution du Handover [17]. La tâche principale impliquée dans la phase de déclenchement du Handover est le rassemblement d'informations telles que : les mesures concernant le lien radio ; si la qualité du lien radio tombe au-dessous d'un seuil prédéfini, un Handover sera lancé. Basé sur les mesures effectuées, la phase de décision du Handover choisira les ressources de la cible. Dans l'exécution du Handover, des nouveaux raccordements sont établis et de vieux raccordements sont libérés en effectuant des échanges de signalisation entre l'utilisateur mobile et le réseau.

### **II.12. Le lancement du Handover**

Un Handover peut être lancé si la performance du lien radio est faible ou à toute autre dégradation de qualité de service (QoS). Le réseau peut également lancer un Handover pour des opérations et des entretiens. Les utilisateurs peuvent également lancer le Handover qui résulte des conditions d'exécution de leurs exigences. En général, trois types de déclenchement du Handover peuvent être distingués:

- **Les paramètres de QoS**

Les paramètres les plus communs du QoS qui lancent le Handover sont : la qualité du lien radio, RSS (Received Signal Strength), RSSI (Received Signal Stretching to Interference Ratio).

D'autres formes de paramètres sont également possibles pour l'utilisateur dans le déclenchement du Handover tel que le retard et le BER (Bit Error Rate). Ces paramètres sont surveillés sans interruption, par la station mobile ou le réseau ou tous les deux, et sont comparés au seuil prédéfini, afin de déterminer si un Handover devait être lancé.

- **Les paramètres du réseau**

Ce type de lancement est dû aux critères de gestion du réseau tels que les issues d'utilisation ou d'entretien des ressources du système. Elle n'est pas directement reliée aux paramètres du QoS.

- **Les paramètres de l'utilisateur**

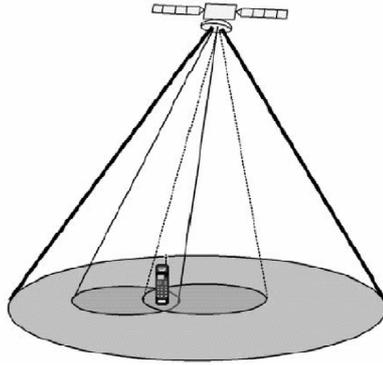
Ce type de lancement est dû principalement au profil de service de l'utilisateur ainsi sa structure tarifaire. On ne le lie pas directement aux paramètres du QoS. Cependant, Ce type de déclenchement du Handover est plus applicable dans un environnement de réseaux intégrés, c'est à- dire, le réseau satellite et terrestre intégré, tel qu'un utilisateur peut choisir de commuter à un autre réseau pour les meilleurs frais d'appel par exemple.

## II.13. Types de Handover

L'exécution du Handover dans les constellations de satellites non géostationnaires est due principalement au mouvement du satellite. On distingue deux types de Handover :

- **Handover Intera- satellite (spot-beam Handover)**

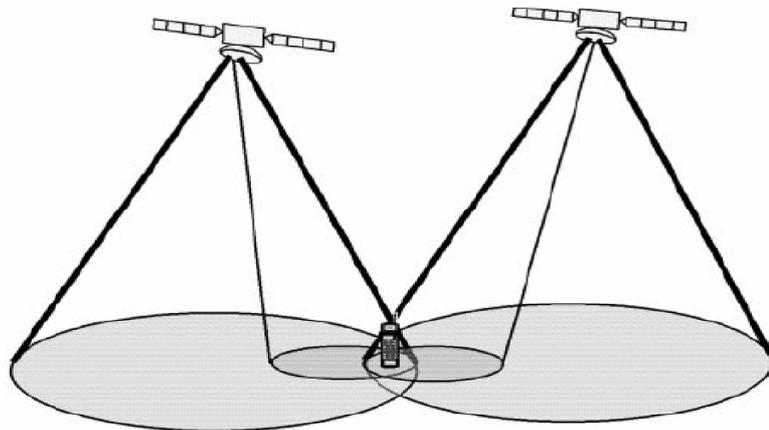
Le Handover Inter-faisceau se rapporte au transfert d'un appel à partir d'un spot-beam à l'autre qui appartient au même satellite. La figure II.5 montre le scénario du Handover d'interfaisceau. Un tel Handover est dû principalement au mouvement du satellite.



*Figure II.5 : Handover intra-satellite (inter-beam Handover)*

• **Inter- satellite Handover :**

C'est le transfert d'un appel à partir d'un satellite à l'autre comme il est représenté sur la figure II.6. Ce type de Handover est dû au petit angle d'altitude en raison du mouvement du satellite. Comme l'angle d'altitude devient plus bas, la déperdition de propagation et la profondeur d'ombrage augmentent, ayant pour résultat une diminution de la puissance reçue. Contrairement au Handover intra-satellite, les anciens et les nouveaux liens qui appartiennent aux différents satellites suivent des différents chemins.



*Figure II.6 : Handover Inter -Satellites*

## II.14. Contrôle du Handover

Les stratégies du Handover se rapportent aux méthodes adoptées dans chacune des trois phases du Handover.

Il y a quatre méthodes de contrôle du Handover pour la phase de déclenchement et de décision du Handover [17-18]:

- Mobile Controlled Handover (MCHO),
- Network Controlled Handover (NCHO),
- Mobile Assisted Handover (MAHO),
- Network Assisted Handover (NAHO).

Chaque méthode diffère dans l'emplacement des fonctions qui effectuent les mesures de lien radio et qui font la décision du Handover. La station mobile ou le réseau peuvent exécuter les fonctions de mesure du lien radio. Cependant, seulement l'un parmi les deux prendra la décision du Handover. L'avantage du MAHO réside dans le contrôle du Handover réalisé à l'intérieur du réseau, ce qui permet une flexibilité vis-à-vis les modifications futures du système concernant les algorithmes de transfert, opérés au rythme de la croissance du trafic et du réseau.

Dans le cas du MCHO utilisé dans les systèmes à spot-beam où le transfert est commandé par le mobile et non pas par le réseau, la modification très rapide de l'environnement radio nécessite une réaction tout aussi rapide de la procédure du Handover. Dans ce cas, c'est la station mobile qui désigne le satellite cible directement par annonce à celui-ci.

Pour la phase de l'exécution du Handover, deux méthodes peuvent être employées : l'établissement du lien et transfert du lien.

- **Etablissement du lien**

L'établissement du nouveau lien est réalisé par échange de messages entre le mobile et le satellite cible. Si l'échange a lieu via l'ancien lien, le Handover est appelé (*backward Handover*), dans ce cas, les nouveaux liens sont établis à partir du satellite courant. Cette solution peut être utilisée dans le cas du Handover entre cellules du même type.

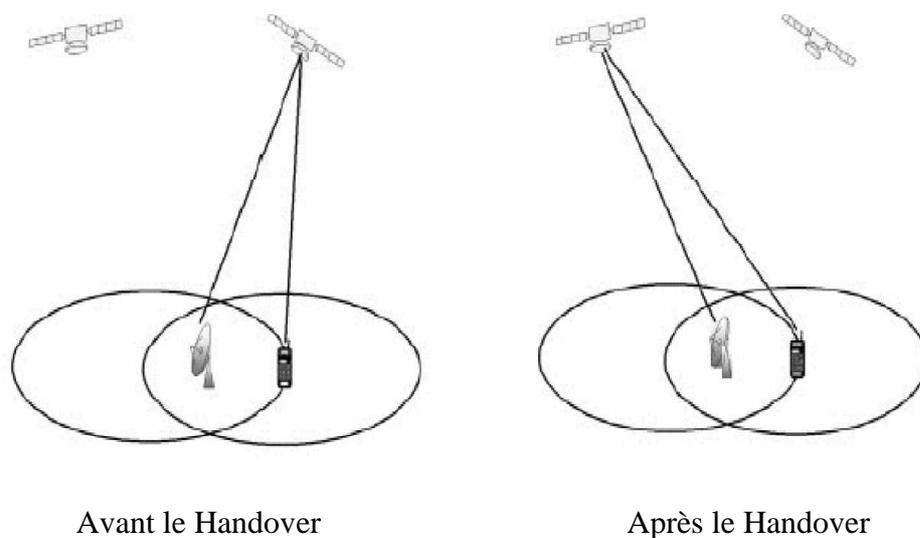
Dans le cas où les informations sont émises directement de la station mobile vers le satellite cible, on parle alors de (*forward Handover*), dans ce cas, c'est le nouveau satellite qui doit établir le lien avec le réseau.

### • Transfert du lien

Trois cas peuvent être distingués selon que l'ancien lien est libéré avant (*hard Handover*), pendant (*seamless Handover*) ou après (*soft Handover*) l'établissement du lien avec le satellite cible.

#### - *Hard Handover*

Dans ce cas le terminal mobile (MT) ne gère qu'un canal radio unique à la fois, ce qui se traduit par une interruption plus ou moins longue de la communication pendant le transfert. Le nouveau lien est établi à l'avance au niveau du réseau de telle sorte à ce que la coupure ait une durée la plus courte possible. En outre, le (MT) garde le raccordement avec le satellite courant jusqu'à ce que le signal tombe au-dessous du niveau de seuil. Quand ceci se produit, le raccordement original sera libéré et le (MT) cherche un autre satellite approprié pour rétablir le raccordement. Une interruption au service sera inévitable et par conséquent le Handover sans couture ne peut pas être effectué, la figure II.7 illustre le *hard Handover*.



**Figure II.7: Hard Handover**

**- Seamless Handover :**

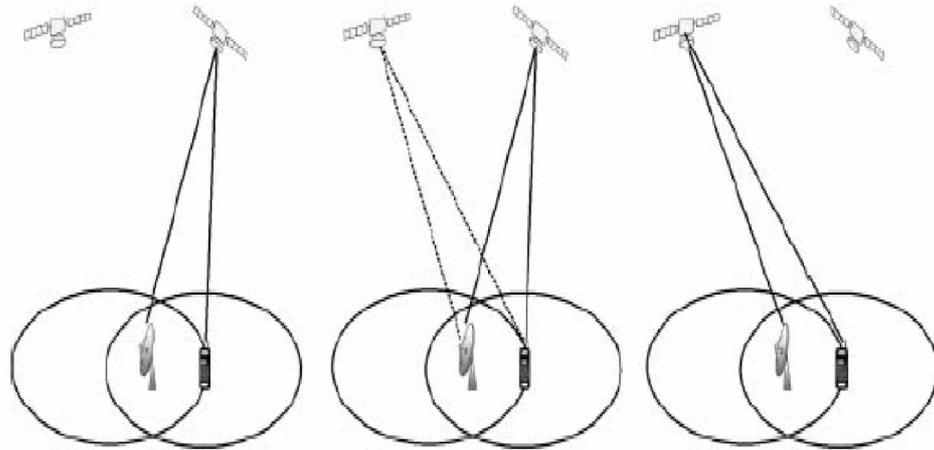
Dans ce type de Handover, la nouvelle liaison est établie en parallèle avec l'ancienne et le flux de données est transféré par le mobile sur les deux liens. Pendant le Handover, seul l'ancien lien est actif, à la fin du Handover le nouveau flux de données est activé (par commutation au niveau réseau), l'ancien flux est stoppé et l'ancien lien est libéré.

**- Soft Handover :**

Ce Handover a été introduit dans les systèmes CDMA, dans ce Handover deux liens et deux flux correspondants sont activés pendant une période plus ou moins longue. Le terminal mobile est donc connecté simultanément à deux satellites (ou plus). Les deux liens, vus du mobile et du réseau, sont considérés comme un flot d'information unique. La complexité du système exige la mise en application des deux différents types de soft Handover.

**- La diversité commutée :**

Implique que la communication est effectuée par un seul lien, elle consiste en trois étapes principales : (1) le raccordement d'appel est maintenu par les anciens liens, (2) l'établissement de nouveaux liens est en phase de préparation, (3) après que les nouveaux liens soient établis, le raccordement d'appel sera orienté vers les nouveaux liens. La synchronisation entre les anciens et les nouveaux liens est exigée pour que les paquets de données puissent être commutés. La figure II.8 montre les trois étapes du processus de diversité commuté, la configuration comporte un seul MT, deux satellites et une seule station terrienne simple (FES).

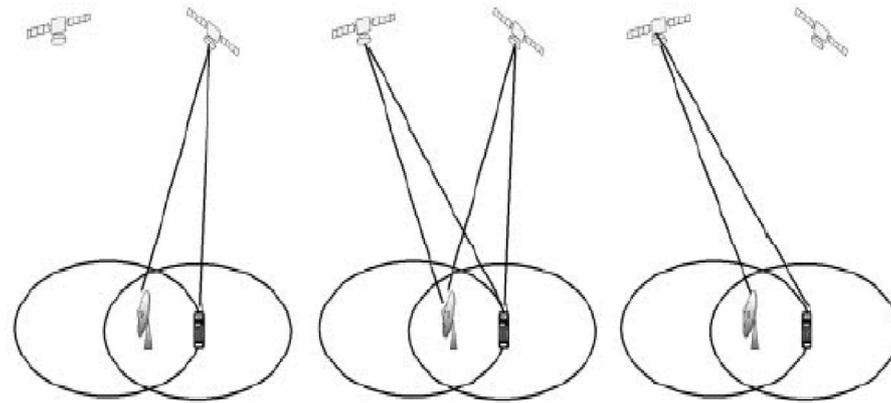


Avant Etape de transition (préparation de nouveau lien) Après

**Figure II.8 : La diversité commutée du Handover**

**- La diversité combinée :**

La diversité combinée implique que la communication est effectuée par les deux liens (ancien et nouveau) ensemble pendant un Handover. Il y a également trois étapes semblables à la diversité commutée. La différence réside dans l'étape (2), les deux liens seront employés pour la communication, même lorsque les nouveaux liens ne sont pas entièrement établis. En outre, la synchronisation entre les anciens et les nouveaux liens est exigée de sorte que les paquets de données puissent être combinés. La figure II.9 illustre le processus de la diversité combinée avec la même configuration de la diversité commutée.



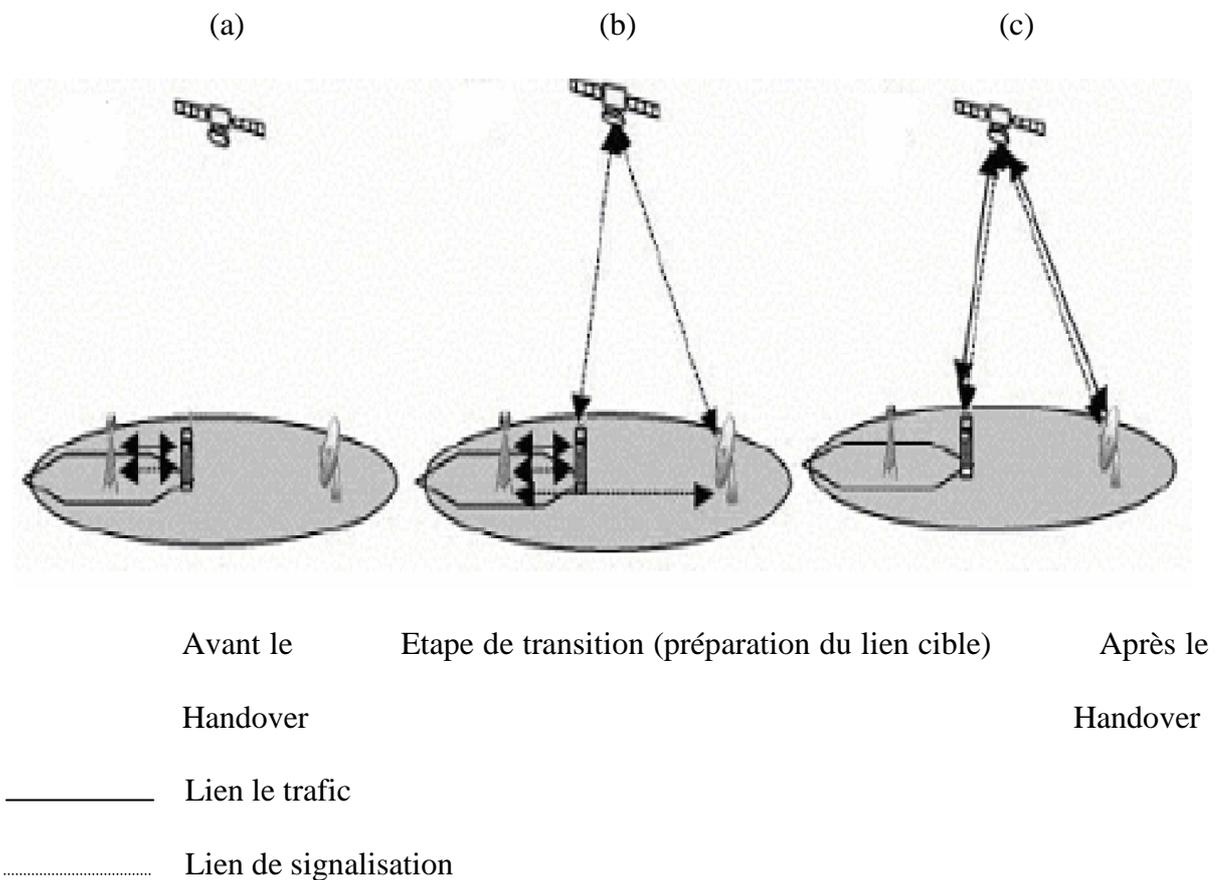
Avant le Handover      Etape de transition (utilisation des deux liens)      Après le Handover

**Figure II.9 : La diversité combinée du Handover**

#### **- Signalisation de la diversité :**

Dans ce cas, les procédures de signalisation sont exécutées à travers de nouveaux et d'anciens liens de signalisation, alors que le trafic d'utilisateur continue à être transmis par l'ancien lien. Quand le nouveau canal du trafic est entièrement établi, le trafic d'utilisateur est alors commuté au nouveau lien et l'ancien lien sera libéré. Cette procédure est particulièrement utile pour le Handover inter-segment entre le satellite et les segments terrestres, dans lesquels la différence du délai de propagation entre les deux liens est importante. Pour le Handover inter-segment, il est difficile d'utiliser le soft Handover, car ce dernier exige l'utilisation des anciens et nouveaux liens pour le trafic de l'utilisateur simultanément pendant l'étape de préparation du Handover. Cependant, la synchronisation entre les deux raccordements sera difficile due à la différence dans le délai de propagation entre les deux liens. Ainsi, la signalisation de la diversité fournit une solution pour le Handover inter-segment à établir le raccordement du trafic d'utilisateur cible tandis que l'original est toujours en service, bien que la transmission et la réception de signalisation simultanée de deux liens de l'utilisateur mobile MT est exigée. La figure II.10 illustre la procédure de signalisation de diversité pour le Handover de la station terrestre vers le satellite.

Dans le cas (a), la communication sera faite via le lien terrestre. Dans le cas (b), un Handover du lien terrestre vers le lien satellitaire est identifié, et la procédure de signalisation du Handover sera procédée dans les deux Liens (satellite et terrestre). Dans le cas (c), un canal du trafic est établi et l'appel est transféré du lien terrestre vers le lien satellitaire. Pour le raccordement en temps réel du trafic, l'utilisateur va avoir une légère interruption, qui est égale à la différence entre le délai de propagation entre les deux liens. Cette procédure peut être considérée comme un Handover de diversité asynchrone. Donc elle diffère du hard Handover et du soft Handover car aucune synchronisation n'est exigée sur le canal du trafic.



**Figure II.10 : La diversité de signalisation**

### II.15. Conclusion

L'utilisation des satellites à faible et moyenne altitude, qui se déplacent avec une vitesse différente de la vitesse terrestre, rend indispensable la présence constante du Handover d'un satellite à l'autre ; en effet chaque terminal mobile est situé sous la couverture d'un satellite donné pendant une période de temps limitée alors que dans les réseaux cellulaires terrestres, les Handovers étaient dus à la mobilité de l'abonné qui se déplace à l'intérieur de la zone de couverture.

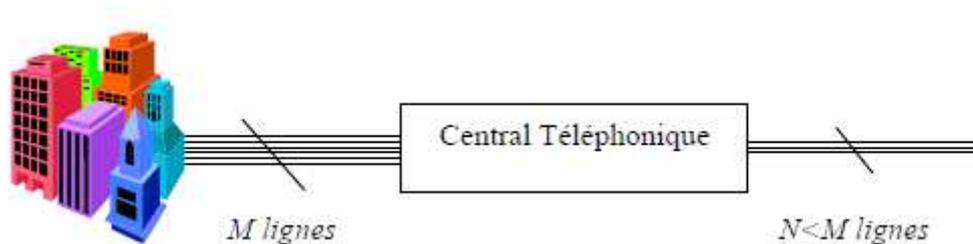
Il est donc nécessaire de garantir chaque fois qu'une liaison entre une station au sol et un satellite devient mauvaise, une commutation de liaison vers un autre satellite de la constellation soit possible (*c'est le problème du Handover*).

Chapitre III  
**Chapitre III**

Le Télétrafic  
**Le Télétrafic**

### III.1. Introduction

Ce chapitre présente la formulation mathématique principale qui permettent de dimensionner les équipements d'un réseau de Télécommunications. Du point de vue pratique, on imagine bien que, lorsqu'un central téléphonique (commutateur local CL) regroupe les lignes d'un ensemble d'immeubles dans une ville, ce central ne possède pas autant de lignes allant vers le réseau que de lignes allant vers les différents particuliers qu'il dessert [29].



On peut donc légitimement se demander de combien de lignes on a besoin pour desservir tous ces abonnés. On peut intuitivement prévoir que ce nombre de lignes va étroitement dépendre du nombre d'abonné mais aussi du taux d'occupation de leurs lignes téléphonique. On peut donc définir pour chaque usager ce taux d'occupation de sa ligne téléphonique. En introduisant  $\eta$  pour représenter ce taux, on peut le définir de la manière suivante :

$$\eta = \frac{N_a * D_a}{24 * 3600} \quad (III.1)$$

Dans cette expression  $N_a$  représente le nombre d'appels passés ou reçus par jour,  $D_a$  représente la durée moyenne d'un appel en secondes. Enfin  $24*3600$  représente la durée d'une journée en secondes. On définit ainsi l'occupation de sa ligne par l'abonné. L'unité retenue pour  $\eta$  est l'Erlang qui est noté E. et  $\eta$  représente le trafic de l'usager Ainsi un trafic de 1 Erlang (1 E) correspond à une ligne de téléphone occupée 24 heures sur 24. On considère en général que les usagers résidentiels d'un réseau téléphonique ont un trafic d'environ 0.05 E.

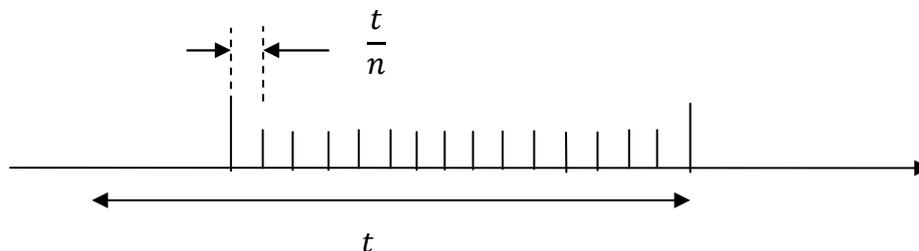
Soit donc une occupation de leur ligne téléphonique pendant 5 % de la journée, soit environ 1h12' par jour.

Pour dimensionner son réseau, l'opérateur va donc devoir calculer le nombre de ressources à mettre en œuvre pour qu'avec une probabilité extrêmement proche de 1, un usager qui décroche son téléphone puisse disposer d'un circuit.

Pour cela il va falloir développer quelques formules de probabilité de blocage. Ces formules vont demander une modélisation statistique des instants de début et de fin d'appels ainsi que des durées de ces appels. Les paragraphes qui suivent vont donc introduire les lois de probabilités utilisées pour ces dimensionnements.

### III.2. Loi de probabilité de modélisation des instants d'arrivée d'appel

Considérons des appels qui débuteraient de manière aléatoire. Prenons ensuite un intervalle de temps  $t$  et divisons cet intervalle en  $n$  sous intervalles de durée  $\frac{t}{n}$



On choisit  $n$  suffisamment grand pour que les conditions suivantes soient respectées :

- Une seule arrivée d'appel peut survenir dans un intervalle  $\frac{t}{n}$
- Les instants d'arrivée d'appels sont indépendants les uns des autres
- La probabilité qu'un appel arrive dans un sous intervalle est proportionnelle à la durée du sous intervalle.

On écrit alors :

$$p_1(1) = \frac{\lambda t}{n} \quad (III.2)$$

Dans cette expression,  $p_1(1)$  représente la probabilité d'arrivée d'un appel dans un sous intervalle. Le terme  $\lambda$  représente le coefficient de proportionnalité entre la probabilité et la durée  $\frac{t}{n}$  du sous intervalle.

L'hypothèse de départ qui considère comme nulle la probabilité d'avoir plusieurs appels dans un sous intervalle s'écrit :

$$p_2(1) + p_3(1) + \dots + p_n(1) + \dots = \sum_{k=2}^{+\infty} p_k(1) = 0 \quad (III.3)$$

La probabilité de n'avoir aucun appel durant un sous intervalle de temps  $\frac{t}{n}$  s'écrit donc :

$$p_0(1) = 1 - \sum_{k=2}^{+\infty} p_k(1) \quad (III.4)$$

Après développement, on obtient :

$$p_0(1) = 1 - p_1(1) - \sum_{k=2}^{+\infty} p_k(1) \quad (III.5)$$

et en utilisant la propriété énoncée juste au dessus :

$$p_0(1) = 1 - p_1(1) \quad (III.6)$$

La probabilité d'avoir k arrivées d'appels durant n intervalles de temps s'obtient alors en considérant le nombre de manières de choisir k intervalles parmi n. Pour chacune de ces solutions on aura k intervalles avec une arrivée d'appel et n-k intervalles avec aucune arrivée d'appel. La probabilité d'un de ces cas sera donc égale à :

$$p_1(1)^k \cdot p_0(1)^{n-k} \quad (III.7)$$

La probabilité globale s'obtiendra en sommant les probabilités de tous les cas. On obtiendra finalement :

$$p_k(n) = C_n^k \cdot p_1(1)^k \cdot p_0(1)^{n-k} \quad (III.8)$$

Ou encore, en remplaçant les probabilités par leurs valeurs en fonction de  $\lambda$ , t et n :

$$p_k(n) = C_n^k \cdot \left(\frac{\lambda t}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda t}{n}\right)^{n-k} \quad (III.9)$$

$$\left(\text{rappel: } C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}\right)$$

La limite de la probabilité  $p_k(n)$  lorsque  $n$  tend vers l'infini va être égale à la probabilité d'avoir  $k$  arrivées d'appel durant un intervalle de temps  $t$ . On note  $p_k$  cette probabilité :

$$p_k = \lim_{n \rightarrow \infty} p_k(n) \quad (III.10)$$

En reprenant alors les différents termes de l'expression de :

$$p_k(n) = C_n^k \cdot \left(\frac{\lambda t}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda t}{n}\right)^{n-k} \quad (III.11)$$

et en faisant tendre  $n$  vers l'infini, il vient :

$$\left(1 - \frac{\lambda t}{n}\right)^{n-k} = e^{(n-k)Ln\left(1 - \frac{\lambda t}{n}\right)} \approx e^{(n-k)Ln\left(\frac{\lambda t}{n}\right)} = e^{-\lambda t + \frac{k}{n}\lambda t} \approx e^{-\lambda t} \quad (III.12)$$

$$C_n^k \cdot \left(\frac{\lambda t}{n}\right)^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \frac{(\lambda t)^k}{n^k} = \frac{(\lambda t)^k}{n^k} \frac{n(n-1)(n-2) \dots (n-k+1)}{n^k} \approx \frac{(\lambda t)^k}{k!} \quad (III.13)$$

D'où :

$$p_k = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (III.14)$$

Cette formule extrêmement importante représente la probabilité d'observer  $k$  arrivées d'appels dans un intervalle de durée  $t$ . Il s'agit d'une distribution de Poisson. Le paramètre  $\lambda$  est le taux moyen d'arrivée d'appels. Typiquement il s'agira d'un nombre moyen d'appels par secondes. On peut vérifier que ce paramètre représente bien le nombre moyen d'appels durant une durée  $t$ . En effet, pour obtenir le nombre moyen, ayant la distribution de probabilité, il faut calculer l'espérance statistique :  $E[k]$

On rappelle que l'espérance, dans le cas d'une loi discrète (c'est à dire pour une variable ne prenant que des valeurs entières, comme c'est le cas ici pour le nombre d'appels arrivant durant un intervalle  $t$ ), s'écrit :

$$E[k] = \sum_{k=0}^{+\infty} k \cdot p_k \quad (III.15)$$

En reprenant alors l'expression de  $p_k$ , il vient :

$$E[k] = \lambda t \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda t} \quad (III.16)$$

$$E[k] = \sum_{k=0}^{+\infty} k \cdot \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (III.17)$$

En reconnaissant le développement de  $e^{\lambda t}$ , il vient :

$$E[k] = \lambda t \cdot e^{\lambda t} \cdot e^{-\lambda t} = \lambda t \quad (III.18)$$

La variance s'exprime de la manière suivante :

$$Var(k) = E[k^2] - (E[k])^2 = \sum_{k=0}^{+\infty} k^2 \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} - (\lambda t)^2 \quad (III.19)$$

$$Var(k) = \left( (\lambda t) \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(k-1+1)(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} \right) e^{-\lambda t} - (\lambda t)^2$$

$$Var(k) = (\lambda t) \left( \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k(\lambda t)^k}{k!} + \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \right) e^{-\lambda t} - (\lambda t)^2$$

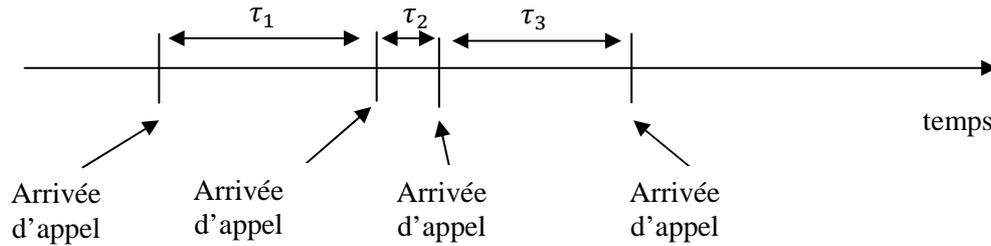
$$Var(k) = (\lambda t) \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{k(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} + (\lambda t) \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} - (\lambda t)^2$$

$$Var(k) = (\lambda t)^2 + (\lambda t) - (\lambda t)^2$$

$$Var(k) = \lambda t \quad (III.20)$$

### III.3. Temps moyen entre appels

On introduit maintenant la variable aléatoire  $\tau$  représentant le temps séparant deux arrivées d'appels.



On introduit la probabilité  $A(t)$  qui est la probabilité que le temps  $\tau$  soit inférieur ou égal à une valeur  $t$  :

$$A(t) = Prob(\tau \leq t) \tag{III. 21}$$

On a donc :

$$A(t) = 1 - Prob(\tau > t) \tag{III. 22}$$

Or  $Prob(\tau > t)$  représente la probabilité qu'il n'y ait aucune arrivée d'appels durant un temps  $t$ . Cette probabilité a justement été établie au paragraphe précédent :

$$Prob(\tau > t) = P_0$$

$$Prob(\tau > t) = e^{-\lambda t} \tag{III. 23}$$

On en déduit donc :

$$A(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{III. 24}$$

On peut aussi introduire la densité de probabilité de la variable aléatoire  $\tau$ . On rappelle que la densité s'obtient simplement en dérivant la probabilité par rapport à  $t$ . On obtient ainsi :

$$a(t) = \frac{\partial A(t)}{\partial t} \tag{III. 25}$$

D'où :

$$a(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{III. 26}$$

Remarque : On rencontre plus souvent le calcul inverse, c'est à dire compte tenu d'une densité de probabilité  $a(t)$ ,

$$A(t) = \int_0^t a(u) du \tag{III. 27}$$

On part de 0 car il s'agit d'une durée entre deux appels. On peut vérifier que l'intégrale donne alors :

$$A(t) = [-e^{-\lambda t}]_0^t = 1 - e^{-\lambda t} \quad (III.28)$$

L'expression de la densité de probabilité permet de calculer la durée moyenne  $\bar{\tau} = E[\tau]$  entre deux arrivées d'appel :

$$E[\tau] = \int_0^{\infty} t \cdot a(t) dt$$

$$E[\tau] = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt \quad (III.29)$$

En intégrant par partie, il vient :

$$E[\tau] = \left[ \lambda t \cdot \frac{-1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} \lambda \frac{-1}{\lambda} e^{-\lambda t} dt \quad (III.30)$$

D'où :

$$E[\tau] = \frac{1}{\lambda} \quad (III.31)$$

On obtient donc, pour un taux d'arrivée d'appels de  $\lambda$  appels par secondes, le temps moyen entre appel est égal à  $\frac{1}{\lambda}$

#### III.4. Absence de mémoire du processus d'arrivée d'appels

On peut remarquer que, pour une loi exponentielle négative, le nombre d'appels qui ont pu arriver jusqu'à un temps  $t_0$  n'a pas d'influence sur le nombre d'appels qui vont arriver après  $t_0$ .

Supposons qu'aucun appel ne soit arrivé jusqu'à un temps  $t_0$  et calculons la probabilité qu'un appel arrive durant une durée  $t$  après le temps  $t_0$ . On doit donc calculer la probabilité d'avoir une durée entre deux appels inférieure à  $t + t_0$  tout en étant supérieure à  $t_0$ .

Cette probabilité s'écrit :

$$Prob(\tau \leq t + t_0 | \tau > t_0) \quad (III.32)$$

En utilisant la formule de Bayes sur les probabilités conditionnelles  $P(A|B)P(A) = P(A \text{ et } B)$  il vient :

$$Prob(\tau \leq t + t_0 | \tau > t_0) = \frac{Prob(t_0 < \tau \leq t + t_0)}{Prob(\tau > t_0)} \quad (III.33)$$

Cette probabilité peut encore s'écrire :

$$Prob(\tau \leq t + t_0 | \tau > t_0) = \frac{Prob(\tau \leq t + t_0) - Prob(\tau \leq t_0)}{Prob(\tau > t_0)} \quad (III.34)$$

$$Prob(\tau \leq t + t_0 | \tau > t_0) = \frac{Prob(\tau \leq t + t_0) - Prob(\tau \leq t_0)}{1 - Prob(\tau \leq t_0)} \quad (III.35)$$

En reprenant les expressions des différentes probabilités :

$$Prob(\tau \leq t + t_0 | \tau > t_0) = \frac{1 - e^{-\lambda(t+t_0)} - 1 + e^{-\lambda t_0}}{1 - 1 + e^{-\lambda t_0}} \quad (III.36)$$

D'où finalement :

$$Prob(\tau \leq t + t_0 | \tau > t_0) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (III.37)$$

On voit donc que la probabilité d'apparition d'un appel durant un temps  $t$  après une durée  $t_0$  pendant laquelle aucun appel n'est arrivé est la même que la probabilité d'apparition d'un appel pendant une durée  $t$ , indépendamment de ce qui a pu arriver avant. On considère donc que la densité exponentielle négative est sans mémoire.

### III.5. Loi de probabilité de modélisation des durées d'appels

Pour étudier les lois de probabilité qui modélisent les durées des appels on procède comme précédemment. On considère donc un intervalle de temps de durée  $t$  que l'on décompose en  $n$  sous intervalles de durée  $\frac{t}{n}$ . On choisit  $n$  de telle sorte que les hypothèses suivantes restent justifiées :

- La probabilité qu'un appel se termine durant un sous intervalle est proportionnelle à la durée du sous intervalle. On notera  $\frac{\mu t}{n}$  cette probabilité, expression dans laquelle  $\mu$  représente le coefficient de proportionnalité.

- La probabilité qu'un appel se termine durant un sous intervalle est indépendante du sous intervalle considéré

On introduit alors une variable aléatoire  $\theta$  représentant la durée d'un appel.

On introduit alors la probabilité  $H(t)$  que la durée d'un appel soit inférieure ou égale à  $t$ .

$$H(t) = \text{Prob}(\theta \leq t) \quad (\text{III. 38})$$

La probabilité qu'un appel ayant débuté à  $t = 0$  ne se termine pas avant  $t$  s'écrit alors :

$$\text{Prob}(\theta > t) = 1 - H(t) \quad (\text{III. 39})$$

Cette probabilité est égale à la probabilité que l'appel ne se termine dans aucun des  $n$  sous intervalles de durée  $\frac{t}{n}$ .

$$1 - H(t) = \left(1 - \mu \frac{t}{n}\right)^n \quad (\text{III. 40})$$

En faisant alors tendre  $n$  vers l'infini, on obtient :

$$1 - H(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \mu \frac{t}{n}\right)^n \quad (\text{III. 41})$$

$$1 - H(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} e^{\text{Ln}\left(1 - \mu \frac{t}{n}\right)} \approx \lim_{n \rightarrow \infty} e^{n\left(-\mu \frac{t}{n}\right)} \quad (\text{III. 42})$$

D'où

$$1 - H(t) = e^{-\mu t} \quad (\text{III. 43})$$

On obtient donc l'expression de la probabilité qu'un appel ait une durée inférieure ou égale à  $t$  :

$$H(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (\text{III. 44})$$

On peut en déduire la densité de probabilité associée, notée  $h(t)$  :

$$h(t) = \frac{\partial H(t)}{\partial t} \quad (\text{III. 45})$$

$$h(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (\text{III. 46})$$

De la même que dans les paragraphes précédents, la durée moyenne  $\bar{\theta} = E[\theta]$  d'appel s'obtient en calculant :

$$E[\theta] = \int_0^{\infty} t \cdot h(t) \cdot dt \quad (III.47)$$

En intégrant par partie on obtient :

$$E[\theta] = \frac{1}{\mu} \quad (III.48)$$

En conclusion on a  $\mu$  appels qui cessent par secondes et on a une durée moyenne d'appel égale à  $\frac{1}{\mu}$ .

Les probabilités d'apparition d'appels et de fin d'appels qui ont été développées dans les deux paragraphes précédents permettent de modéliser le processus complet d'apparition et de fin d'appels.

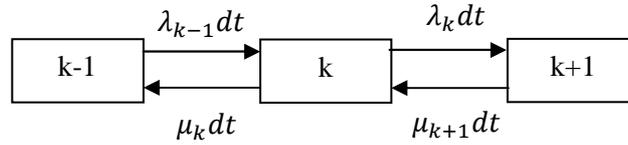
### III.6. Modélisation des processus d'apparition et de fin d'appels

A chaque instant un certain nombre d'appels vont apparaître et d'autres vont se terminer. On peut donc modéliser l'état où l'on se trouve à un instant donné comme une chaîne d'états. Chaque état représente le nombre de communications en cours. On conçoit donc bien que si, à un instant donné, il y a  $k$  communications on ne peut passer que dans deux états adjacents qui sont les états  $k - 1$  et  $k + 1$ . On reconnaît alors une chaîne de Markov. La probabilité de passer d'un état  $i$  à un état  $j$  pendant un temps  $dt$  sera donc noté  $p_{ij}(t)$ .

On introduit alors les probabilités de transition d'état suivantes :

- Etant dans l'état  $k$ , la probabilité  $p_{k,k+1}(dt)$  pour passer à l'état  $k + 1$  durant un intervalle de temps  $dt$  s'écrit  $\lambda_k dt$ .
- Etant dans l'état  $k$ , la probabilité  $p_{k,k-1}(dt)$  pour passer à l'état  $k - 1$  durant un intervalle de temps  $dt$  s'écrit  $\mu_k(dt)$ .
- Etant dans l'état  $k + 1$ , la probabilité  $p_{k+1,k}(dt)$  pour passer à l'état  $k$  durant un intervalle de temps  $dt$  s'écrit  $\mu_{k+1}(dt)$ .

- Etant dans l'état  $-1$ , la probabilité  $p_{k-1,k}(dt)$  pour passer à l'état  $k$  durant un intervalle de temps  $dt$  s'écrit  $\lambda_{k-1}dt$ .



Les grandeurs  $\lambda_k$  et  $\mu_k$  sont des taux d'apparition et de fin d'appels du même type que ceux utilisés lors des paragraphes précédents. La seule différence tient au fait que ces taux ont en indice l'état où se trouve le système.

On peut alors introduire la probabilité d'état, c'est à dire la probabilité d'être dans un état  $k$  à un instant  $t$ . Notons  $p_k(t)$  cette probabilité (à rapprocher de la notation  $p_j(n)$  utilisée pour les chaînes de Markov à temps discret).

La variation de cette probabilité durant un intervalle de temps  $dt$  est alors égale à la probabilité de rejoindre cet état en "venant" d'un état  $k - 1$  ou d'un état  $k + 1$  moins la probabilité de "quitter" cet état pour aller vers un état  $k - 1$  ou vers un état  $k + 1$ .

On a donc :

$$dp_k(t) = \lambda_{k-1}dt \cdot p_{k-1}(t) + \mu_{k+1}dt \cdot p_{k+1}(t) - (\lambda_k dt + \mu_k dt)p_k(t) \quad (III.49)$$

En supposant le système stable, c'est à dire en supposant qu'il se stabilise sur des probabilités d'état fixes lorsque le temps tend vers l'infini, on peut écrire :

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = 0 \text{ lorsque } t \rightarrow \infty \quad (III.50)$$

On peut alors noter :

$$p_k = p_k(t) \quad (III.51)$$

D'où finalement :

$$\lambda_{k-1} \cdot p_{k-1} + \mu_{k+1} \cdot p_{k+1} - (\lambda_k + \mu_k)p_k = 0 \quad (III.52)$$

Cette équation est vérifiée pour tout  $k \geq 0$  avec les conditions  $p_{-1} = 0, \lambda_{-1} = 0$  et  $\mu_0 = 0$  :

La stabilité des probabilités signifie qu'il y a une probabilité égale de quitter l'état  $p_k$  que de le rejoindre.

En écrivant le système d'équation précédent, on trouve :

$$\begin{aligned} \mu_1 p_1 &= \lambda_0 p_0 \\ \lambda_0 p_0 + \mu_2 p_2 &= (\lambda_1 + \mu_1) p_1 \\ \lambda_1 p_1 + \mu_3 p_3 &= (\lambda_2 + \mu_2) p_2 \\ &\dots \end{aligned} \tag{III.53}$$

En résolvant le système on trouve :

$$p_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} p_0 \tag{III.54}$$

$$p_2 = \frac{1}{\mu_2} \left( (\lambda_1 + \mu_1) \frac{\lambda_0}{\mu_1} p_0 - \lambda_0 p_0 \right) = \frac{\lambda_1 \lambda_0}{\mu_2 \mu_1} p_0 \tag{III.55}$$

$$p_3 = \frac{1}{\mu_3} \left( (\lambda_2 + \mu_2) \frac{\lambda_1 \lambda_0}{\mu_1 \mu_2} p_0 - \lambda_1 \frac{\lambda_0}{\mu_1} p_0 \right) = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \lambda_0}{\mu_3 \mu_2 \mu_1} p_0 \tag{III.56}$$

.....

On trouve alors assez facilement la forme générale :

$$p_k = \left( \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right) p_0 \tag{III.57}$$

Le système se trouvant obligatoirement dans des états tels que :

$$\sum_{k=0}^{\infty} p_k = 1 \tag{III.58}$$

En remplaçant dans l'équation précédente, on obtient :

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{\infty} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}}} \tag{III.59}$$

### III.7. Probabilité de blocage et formule d'Erlang B

On s'intéresse ici à un système disposant de  $N$  canaux de communications. Si les  $N$  canaux sont occupés, les appels qui arrivent alors sont perdus (absence de tonalité ou tonalité d'occupation par exemple). On parle alors de blocage du système. On va chercher à estimer cette probabilité de blocage en fonction du nombre de canaux disponibles et du trafic. Compte tenu de ce qui a été énoncé sur le caractère sans mémoire du processus d'arrivée d'appels, on peut considérer que la probabilité  $\lambda_k dt$  est indépendante de l'état du système, d'où :

$$\lambda_k dt = \lambda dt, k \leq N - 1 \quad (III.60)$$

Pour la probabilité de fin d'appel on a par contre :

$$\mu_k dt = k \mu dt, k < N \quad (III.61)$$

Cette probabilité de transition traduit juste que si  $k$  appels sont en cours chacun a une probabilité  $\mu dt$  de se terminer, d'où la somme qui donne  $k \mu dt$ . En toute rigueur il faudrait soustraire à cette probabilité les probabilités correspondantes à plusieurs appels qui se terminent dans l'intervalle  $dt$  car alors, on passe directement à un état plus éloigné. Cependant on admettra que l'on peut négliger ces probabilités qui sont de la forme :

$$\sum_{i=2}^k C_k^i (\mu dt)^i \quad (III.62)$$

En utilisant ces expressions de  $\lambda_k$  et de  $\mu_k$  dans les équations donnant  $p_k$  et  $p_0$ , il vient :

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda}{(i+1)\mu}} \quad (III.63)$$

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{1}{k!}} \quad (III.64)$$

En introduisant alors la variable :  $A = \frac{\lambda}{\mu}$  qui représente le nombre d'appels qui apparaissent sur le nombre d'appels qui se terminent pendant un intervalle de temps, ce qui représente en fait tout simplement le trafic, il vient :

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N \frac{A^k}{k!}} \quad (III.65)$$

Ou encore en introduisant le 1 dans la sommation :

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}} \quad (III.66)$$

En reportant alors dans l'expression de  $p_k$  , il vient :

$$p_k = \frac{\frac{A^k}{k!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (III.67)$$

La probabilité de blocage d'un système disposant de N canaux et pour un trafic A s'écrit alors  $E(A, N)$ , elle est égale à la probabilité de se trouver dans l'état N.  $E(A, N) = p_N$  et elle s'obtient grâce à l'équation suivante :

$$E(A, N) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \left( E(A, N) = \frac{E(A, N-1)}{\frac{N}{A} + E(A, N-1)} \right) \quad (III.68)$$

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

Pour les grandes valeurs de N on peut approcher le dénominateur par  $e^A$  et la formule devient :

$$E(A, N) = \frac{A^N}{N!} e^{-A} \quad (III.69)$$

### III.8. 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.

Avec ce système on a toujours :  $\lambda_k dt = \lambda dt$ . Mais, pour la probabilité de fin d'appel on a par contre :

$$\mu_k dt = \begin{cases} k\mu dt, & 0 \leq k \leq N \\ N\mu dt, & k \geq N \end{cases} \quad (III.70)$$

En utilisant :

$$p_k = \left( \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right) p_0 \quad (III.71)$$

On obtient, pour  $k > N$  :

$$p_k = \left( \prod_{i=0}^{N-1} \frac{\lambda_i}{(i+1)\mu} \prod_{i=N}^{k-1} \frac{\lambda}{N\mu} \right) p_0 \quad (III.72)$$

$$p_k = \left( \frac{A^N}{N!} \frac{A^{N-N}}{N^{k-N}} \right) p_0 \quad (III.73)$$

D'où finalement :

$$p_k = \begin{cases} \frac{A^k}{k!} p_0, & 0 \leq k \leq N \\ \frac{A^k}{N!} N^{N-k} p_0, & k > N \end{cases} \quad (III.74)$$

En utilisant l'expression de  $p_0$  :

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{\infty} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}}} \quad (III.75)$$

Et en décomposant la sommation, il vient :

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{N-1} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda}{(i+1)\mu} + \sum_{k=N}^{\infty} \prod_{i=0}^{N-1} \frac{\lambda}{(i+1)\mu} \prod_{i=N}^{k-1} \frac{\lambda}{N\mu}} \quad (III.76)$$

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!} + \sum_{k=N}^{\infty} \frac{A^k}{N!} \frac{1}{N^{k-N}}} \quad (III.77)$$

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^k}{N!} \sum_{k=N}^{\infty} \frac{A^{k-N}}{N^{k-N}}} \quad (III.78)$$

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^k}{N!} \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{A}{N}\right)^k} \quad (III.79)$$

$$\text{or } \frac{A}{N} < 1 \text{ donc } \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{A}{N}\right)^k = \frac{1}{1 - \frac{A}{N}} \quad (III.80)$$

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^N}{N!} \frac{1}{1 - \frac{A}{N}}} \quad (III.81)$$

La probabilité de mise en file d'attente se note  $C(N, A)$ , et elle est égale à  $\sum_{k=N}^{\infty} p_k$

D'où :

$$C(N, A) = \sum_{k=N}^{\infty} \frac{A^k}{N!} N^{N-k} p_0 \quad (III.82)$$

Cette expression est aussi très importante, elle porte le nom de Formule d'Erlang-C

### III.9. Cas d'une population finie et distribution d'Engset

Les calculs précédents ont considéré le cas d'un trafic de type Poisson généré par une population infinie. Si l'on considère maintenant le cas d'une population finie constituée de M clients, la probabilité d'apparition d'appels et fonction du nombre d'appels déjà en cours. On se retrouve alors avec la configuration suivante (on se replace ici dans un cas sans mise en file d'attente, où les appels sont perdus lorsque tous les canaux sont occupés et avec  $M > N$ ) :

$$\lambda_k dt = (M - k) \lambda dt, \quad k \leq N - 1 \quad (III.83)$$

La probabilité de fin d'appel reste inchangée :

$$\mu_k dt = k \mu dt, \quad k < N \quad (III.84)$$

La probabilité  $p_k$  devient alors :

$$p_k = \left( \prod_{i=0}^{k-1} \frac{(M-i)\lambda}{(i+1)\mu} \right) p_0 \quad (III.85)$$

$$p_k = \frac{M!}{(M-k)! k!} A^k p_0 \quad (III.86)$$

D'où :

$$p_k = C_M^k A^k p_0 \quad (III.87)$$

Pour  $p_0$ , on obtient :

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^N \prod_{i=0}^{k-1} \frac{(M-i)\lambda}{(i+1)\mu}} \quad (III.88)$$

D'où :

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^N C_M^i A^i} \quad (III.89)$$

Soit en remplaçant dans l'expression de  $p_k$  :

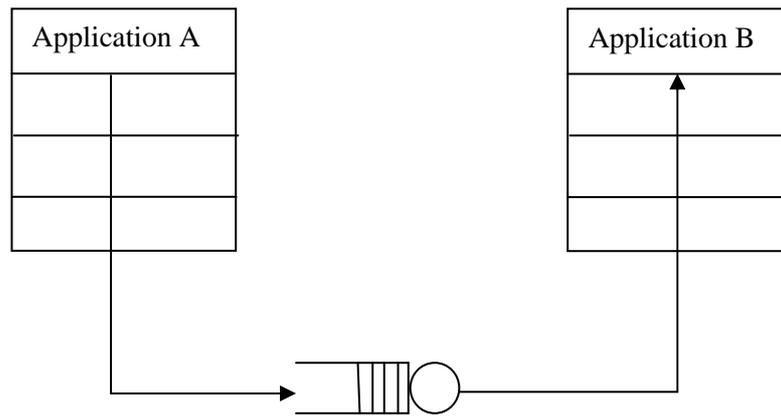
$$p_k = \frac{C_M^k A^k}{\sum_{i=0}^N C_M^i A^i} \quad (III.90)$$

Cette formule représente la distribution d'Engset

### III.10. Files d'attente

#### III.10.1. File d'attente simple

Les premiers paragraphes de ce document ont essentiellement, à l'exception de l'analyse de la mise en file d'attente, considéré un trafic de nature téléphonique. Si l'on s'intéresse maintenant à un trafic de données on peut considérer que dans un échange d'informations entre deux applications on va souvent rencontrer un écart de débit entre les systèmes locaux et les liens d'interconnexion. Les messages ne pourront pas tous être transmis et vont être mis en file d'attente.



Les files d'attente sont en général décrites au moyen d'une notation dite de Kendall qui est la suivante :  $A/B/C/K/m/Z$

Six facteurs sont ainsi précisés :

A : qui représente le processus d'entrée

B : qui représente le processus de service

C : qui représente le nombre de serveurs

K : qui représente la capacité maximale

m : qui représente la population des usagers

Z : qui représente la discipline de service

Pour décrire les processus d'entrée (lettre A), on utilise les notations suivantes :

GI : loi générale indépendante

G : loi générale

Hk : loi hyperexponentielle d'ordre k

Ek : loi d'Erlang k

M : loi exponentielle

D : loi constante

On s'intéressera essentiellement ici à des arrivées de type exponentiel et de paramètre  $\lambda$ . Les autres lois d'arrivée ont moins d'intérêt dans le cadre de ce cours. Il a été vu que la loi exponentielle était sans mémoire et que le processus d'arrivée pouvait donc être considéré comme un processus Markovien. C'est cette propriété qui explique l'emploi de la lettre M pour la loi exponentielle.

Les principales méthodes de service sont les suivantes :

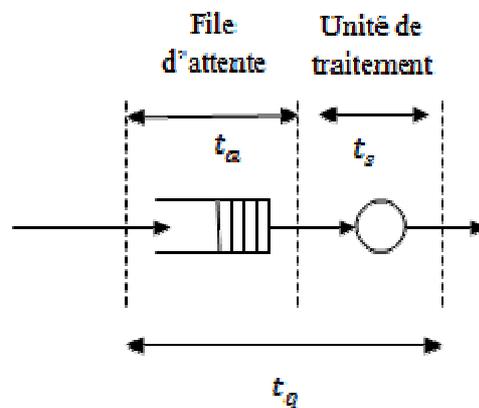
- PAPS : premier arrivé, premier servi (terme anglais FIFO, first in first out)
- DAPS : dernier arrivé premier servi (terme anglais LCFS, last come first served)
- A : aléatoire (terme anglais FIRO : first in random out)

Lorsque les trois derniers éléments de la notation de Kendall ne sont pas précisés, il est sous entendu que  $Z=PAPS$ ,  $m = +\infty$  et  $K = +\infty$ .

Si les instants d'arrivée suivent un loi exponentielle du paramètre  $\lambda$ , il en est de même pour les instants de départ des données en sortie de la file d'attente. Ces instants forment aussi un processus Markovien. Enfin dans le cas où l'on suppose enfin qu'il n'y a qu' 1 seul processeur pour gérer la file d'attente, cette dernière est dite de type : M/M/1.

Dans un système M/M/1, on définit le temps de queue  $t_q$  comme étant la somme du temps d'attente  $t_a$  et du temps de service  $t_s$ .

$$t_q = t_a + t_s \quad (III.91)$$



On définit alors la charge  $c$  du système comme le rapport entre le nombre d'items à traiter divisé par la capacité de traitement du système en item. Cette capacité de traitement est aussi appelée le taux de service:  $S$ . C'est tout simplement l'inverse du temps de service. On a donc :

$$S = \frac{1}{t_s} \text{ et } c = \frac{\lambda}{t_s} \quad (III.92)$$

On rappelle que  $\lambda$  est le paramètre de la loi des instants d'arrivée et que c'est aussi le taux d'arrivée de paquets par secondes dans la file d'attente.

Si on introduit la capacité de traitement du système  $D$  en bits/sec et que  $L$  représente la taille moyenne des paquets en bits, alors :

$$S = \frac{1}{t_s} = \frac{D}{L} \quad (III.93)$$

En remplaçant dans l'expression de la charge  $c$ , on obtient :

$$c = \frac{\lambda L}{D} \quad (III.94)$$

On peut montrer que le temps d'attente dans la file d'attente  $t_a$  se déduit du temps de service  $t_s$  et de la charge  $c$  par la formule suivante :

$$t_a = \frac{c}{1-c} t_s \quad (III.95)$$

Si l'on considère le temps passé dans la queue  $t_q$ , on obtient finalement :

$$t_q = t_a + t_s = \left(1 + \frac{c}{1-c}\right) t_s = \left(\frac{1}{1-c}\right) t_s = \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda L}{D}}\right) \frac{L}{D} = \frac{L}{D - \lambda L} \quad (III.96)$$

On suppose ici que le débit  $D$  en bits/sec est supérieur au taux d'arrivée  $\lambda L$  en bits/sec. Dans le cas contraire la file d'attente déborde et le temps dans la queue n'est plus déterminé.

On rencontre assez souvent cette formule sous la forme :

$$t_q = \frac{1}{\frac{D}{L} - \lambda} \quad (III.97)$$

$t_q$ : Temps passé dans la queue en secondes

$D$  : Débits de transmission en bits par secondes

$L$  : Taille moyenne des paquets en bits

$\lambda$ : Taux d'arrivée de paquets en paquets/sec

### III.10.2. File d'attente en série

Lorsque deux files d'attente sont en série, si la première file d'attente est du type MM1 alors les instants d'arrivée suivent une loi exponentielle et les instants de sortie aussi. L'entrée de la deuxième file d'attente est aussi un processus Markovien. On a donc deux files MM1. Le temps de queue global est la somme des temps de chaque file.

### III.10.3. File d'attente à entrées multiples

Si on considère une file d'attente connectée à plusieurs sources de trafic alors, à condition d'avoir des messages de même longueur sur toutes les entrées, on peut calculer le temps dans la queue en utilisant un paramètre  $\lambda$  égal à la somme des  $\lambda_i$  des différentes entrées.

$$\lambda = \sum_i \lambda_i \quad (III.98)$$

## III.11. Modèles du Trafic

Pour un réseau cellulaire mobile, il est important d'établir le modèle du trafic avant l'analyse de performance du système [30]. Plusieurs modèles du trafic ont été établis, basés sur différentes suppositions concernant la mobilité d'utilisateur. Dans ce qui suit, nous présentons brièvement ces modèles.

### III.11.1. Modèle du trafic de Hong et de Rappaport (Deux-Dimensionnel)

Hong et Rappaport sont proposés un modèle du trafic pour une cellule de forme hexagonale (approximé par un cercle) [12], la localisation d'un mobile quand un appel est lancé par l'utilisateur est uniformément distribuée dans la cellule. Ils sont supposés également qu'un mobile lançant un appel se déplace de l'endroit courant dans n'importe quelle direction avec la même probabilité et cette direction ne change pas tandis que le mobile reste dans la cellule. A partir de ces suppositions ils sont prouvés que le taux des arrivées des Handover est :

$$\lambda = \frac{P_h(1 - B_0)}{1 - P_{hh}(1 - P'_f)} \lambda_0 \quad (III.99)$$

Où :

$P_h$  : La probabilité qu'un nouvel appel qui n'est pas bloqué exigerait au moins un transfert

$P_{hh}$  : La probabilité qu'un appel qui a déjà été transféré avec succès exigerait un autre transfert

$B_0$  : La probabilité de blocage des appels originaux.

$P'_f$  : La probabilité de l'échec de Handover

$\lambda_0$  : Le taux des arrivées des appels originaux dans une cellule.

La fonction de densité de probabilité (pdf) du temps d'occupation du canal  $T$  dans une cellule est donnée par la formule suivante :

$$f_T(t) = \mu_C e^{-\mu_C t} + \frac{e^{-\mu_C t}}{1 + \gamma_C} [f_{T_n}(t) + \gamma_C f_{T_h}(t)] - \frac{\mu_C e^{-\mu_C t}}{1 + \gamma_C} [F_{T_n}(t) + \gamma_C F_{T_h}(t)] \quad (III.99)$$

Où :

$f_{T_n}(t)$  : pdf de la variable aléatoire  $T_n$  comme temps de séjour d'un appel original dans la cellule.

$f_{T_h}(t)$  : pdf de  $T_h$  de variable aléatoire comme temps de séjour d'un Handover dans la cellule.

$F_{T_n}(t)$  : La fonction de distribution cumulative (cdf) du temps  $T_n$

$F_{T_h}(t)$  : Le cdf de  $T_h$  de temps

$1/\mu_C$  : La durée moyenne d'appel

$$\gamma_C = P_h(1 - B_0) / [1 - P_{hh}(1 - P'_f)] \quad (III.100)$$

### III.11.2 modèle de El-Dolil et al.'s (omni-Dimensionnel)

Une extension du modèle de Hong est rapporté dans le cas d'un réseau micro cellulaire pour une route de grand circulation a été fait par El-Dolil et al [13]. La route est segmentée à des microcellules avec petit BSs rayonnant le long de la route. Avec ces conditions, ils sont prouvés que le taux des arrivées des Handover est :

$$\lambda_H = (R_{cj} - R_{sh})P_{hi} + R_{sh}P_{hh} \quad (III.101)$$

Où :

$P_{hi}$  : La probabilité qu'un utilisateur mobile a besoin d'un transfert vers la cellule  $i$

$R_{cj}$  : Le taux moyen des appels totaux dans la cellule  $j$ .

$R_{sh}$  : Le taux de transferts réussis.

La pdf du temps d'occupation du canal  $T$  dans une cellule est donnée par:

$$f_T(t) = \left( \frac{\mu_c + \mu_{ni}}{1+G} \right) e^{-(\mu_c + \mu_{ni})t} + \left( \frac{\mu_c + \mu_h}{1+G} \right) e^{-(\mu_c + \mu_h)t} \quad (III.102)$$

Où :

$1/\mu_{ni}$  : Le temps moyen d'occupation du canal dans la cellule  $i$  pour un appel original.

$1/\mu_h$  : Le temps moyen d'occupation du canal pour un Handover.

$G$  : Le rapport du taux de requêtes de transfert offert sur le taux des appels originaux.

### III.11.3 Modèle de Steele et Nofal (bi-Dimensionnel)

Steele et Nofal [14] ont étudié un modèle du trafic basé sur des microcellules dans une rue de ville, l'étude concerne les piétons faisant des communications tout en marchant le long d'une rue. D'après leurs suppositions, ils ont prouvé que le taux des arrivées des appels de Handover est :

$$\lambda_H = \sum_{m=1}^6 [\lambda_0(1 - B_0)P_h\beta + \lambda_h(1 - P_f')P_{hh}\beta] \quad (III.103)$$

$\beta$  : La fraction du transfert appelée à la cellule courante des cellules adjacentes

$$\lambda_H = 3\lambda_0(1 - B_0)P_f\beta \quad (III.104)$$

$P_f$  : La probabilité qu'un nouvel appel qui n'est pas bloqué exigera au moins un transfert.

Le temps moyen d'occupation du canal dans la cellule est :

$$\bar{T} = \frac{(1 + \alpha_1)(1 - \gamma)}{\mu_w + \mu_c} + \frac{\gamma(1 + \alpha_2)}{\mu_0 + \mu_c} + \frac{\alpha_1(1 - \gamma) + \gamma\alpha_2}{\mu_d + \mu_c} \quad (III.105)$$

Où :

$1/\mu_W$  : La période moyenne de marche d'un piéton du début de l'appel jusque ou il atteint la frontière de la cellule

$1/\mu_d$  : Le temps moyen du retarde où un piéton dépense l'attente à l'intersection de la route

$1/\mu_0$  : La période moyenne de marche d'un piéton dans la nouvelle cellule

$$\alpha_1 = \frac{\mu_W P_{delay}}{(\mu_d - \mu_W)} \quad (III.106)$$

$$\alpha_2 = \frac{\mu_0 P_{delay}}{(\mu_d - \mu_0)} \quad (III.107)$$

$P_{delay} = P_{cross} P_d$  : La proportion de piétons quittant la cellule en traversant la route

$P_d$  : La probabilité qu'un piéton serait en retard quand il traverse la route

$$\gamma = \lambda_H (1 - P'_f) / [\lambda_H (1 - P'_f) + \lambda_0 (1 - B_0)] \quad (III.108)$$

#### III.11.4 Modèle du trafic de Xie et de Kuek (omni et bi-Dimensionnel)

Ce modèle assume une densité uniforme des utilisateurs mobiles dans toute la zone couverte et qu'un utilisateur est également se déplace a n'importe quelle direction pour atteint la frontière de la cellule. D'après cette supposition, Xie et Kuek [15] sont prouvés que le taux des arrivées des Handover est :

$$\lambda_H = E[C] \mu_{c-dwell} \quad (III.109)$$

Où :

$E[C]$  : Le nombre moyen d'appels dans une cellule

$\mu_{c-dwell}$  : Le taux de partance d'utilisateurs mobiles

Le temps moyen d'occupation du canal dans la cellule est:

$$\bar{T} = \frac{1}{\mu_C + \mu_{c-dwell}} \quad (III.110)$$

### III.11.5 le modèle approximé de Zeng et al du trafic (sans dimension)

Le modèle de Zeng et al est basé sur le modèle de Xie et Kuek [16]. Quand la probabilité de blocage des appels originaux et la probabilité de terminaison forcé du transfert sont minimales, le nombre moyen de canaux occupés  $E[C]$  est donné par :

$$E[C] \approx \frac{\lambda_0 + \lambda_H}{\mu} \quad (III.111)$$

Où  $1/\mu$  est le temps moyen d'occupation du canal dans la cellule.

Par conséquent, le taux des arrivées des Handovers est :

$$\lambda_H \approx \frac{\mu_{c-dwell}}{\mu_c} \lambda_0 \quad (III.112)$$

### III.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné les principales équations mathématiques qui vont nous permettre d'une part de calculer la probabilité de blocage des nouveaux appels et des Handovers et d'autre part de présenter quelques modèles de mobilités pour déterminer le taux d'arrivées des nouveaux appels et des Handovers ; c'est ce que nous allons voir dans les prochains chapitres.

# Chapitre IV

## Chapitre IV

# Optimisation du problème du Handover

## IV.1. Introduction

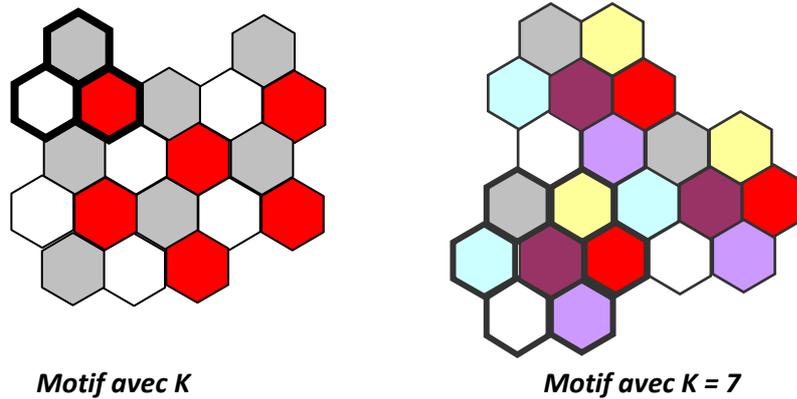
L'évolution rapide dans le monde de la télécommunication a ces effets positifs sur les réseaux mobiles. Ainsi, le nombre de clients qui utilisent les différents services apportés par ce genre de réseaux augmente progressivement. Cette croissance du volume, dans les réseaux cellulaires, implique une utilisation de plus en plus intensive de la bande passante disponible qui est naturellement limitée par les caractéristiques du milieu (rapport signal sur interférences). On rencontre fréquemment des problèmes dus à une sur-utilisation de la fréquence radio. Cela entraîne l'apparition de trafics en avalanche qui se traduit par :

- ❖ Des coupures qui surviennent lors du passage d'une cellule à une autre, par manque de ressource (ceci étant très pénalisant pour les applications multimédias et le temps réel).
- ❖ Des blocages de nouveaux appels indiquant qu'un nouveau venu n'a pu être accepté, faute d'un canal disponible.

### IV.1.1. Définition de base

L'ensemble de canaux disponibles dans l'allocation fixe de canaux est divisé et ensuite attribué à chaque cellule pour une utilisation exclusive et permanente. Plusieurs relations sont établies entre chaque cellule et chaque canal dans le but de respecter les contraintes de réutilisation du co-canal.

Etant donné un territoire à couvrir, celui-ci va être divisé en plusieurs cellules de même dimension pour simplifier la modélisation. Soient  $K$  la taille du motif minimal et  $R$  le rayon d'une cellule.



**Figure IV.1 : Modèle des cellules**

Dans la configuration de base de la stratégie *FCA*, le même nombre de canaux est alloué à chaque cellule. Cette distribution uniforme de canaux est efficace si la distribution du trafic du système est aussi uniforme. Dans ce cas la probabilité moyenne totale de blocage des différents mobiles du système, est égale à la probabilité de blocage d'un appel dans une cellule.

## IV.2. Stratégie de non priorité

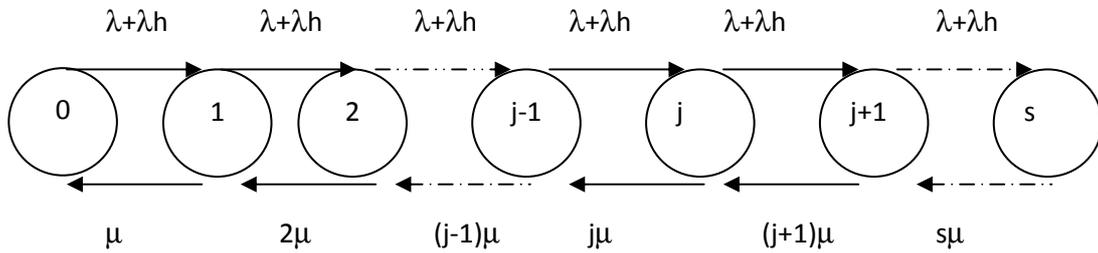
Avec la stratégie de non priorité, les requêtes de Handovers sont traitées de la même manière que les appels originaux [31]. C'est pourquoi, la probabilité de blocage du Handover est égale à la probabilité de blocage de nouvel appel.

Dans tout ce qui suit, nous considérons que l'arrivée des nouveaux appels forme un processus de poisson avec une moyenne  $\lambda$ . L'intensité du processus de poisson des services est  $\mu$ . L'arrivée des requêtes Handover forme un processus de poisson de moyenne  $\lambda h$ . Si un mobile à un canal dans la cellule, le mobile reste dans la cellule pour un temps  $tm$  avant qu'il ne quitte la cellule. On suppose  $tm$  exponentiellement distribué. La durée de l'appel (de moyenne  $1/\mu$ ) est égale au temps pendant lequel l'appel est en progression sans avoir subi une terminaison forcée à cause d'un échec de Handover. Si un canal a été alloué à un mobile, il

sera libéré soit à la fin de l'appel soit à cause d'un Handover pour une cellule voisine. Donc le temps d'occupation du canal est le minimum de la durée de l'appel. Nous désignons par:

- $P_b$  : la probabilité qu'un nouvel utilisateur trouve tous les canaux occupés dans une cellule.
- $P_h$  : la probabilité d'échec de Handover. C'est la probabilité qu'un appel Handover trouve tous les canaux occupés à son arrivée à la cellule voisine.
- $P_f$  : la probabilité de terminaison forcée de l'appel. C'est la probabilité qu'un appel qui a été accepté par le système est interrompu à cause d'un échec de Handover.
- $P_{nc}$  : la probabilité que l'appel soit incomplet. C'est la probabilité que l'appel soit bloqué (nouvel appel) ou qu'il y ait une terminaison forcée de l'appel.

Le NPS est modélisé par un processus de Markov avec  $s+1$  états où  $s$  est le nombre de canaux présents dans la cellule.



**Figure IV.2 : Diagramme d'état**

Les nouveaux appels et les appels Handover utilisent les canaux tant qu'ils sont libres.

Pour  $0 \leq j \leq s$ , le nouvel appel ou appel Handover utilise un canal. Si les  $s$  canaux sont occupés et si un appel vient, il sera alors bloqué.

Le NPS est modélisé par une file d'attente  $M/M/s/s$  [29]. Soit  $P_j$  la probabilité de l'état  $j$ .

On démontre que :

$$P_j = \frac{\left(\frac{\lambda + \lambda h}{\mu}\right)^j}{j!} \frac{1}{\sum_{k=1}^s \frac{\left(\frac{\lambda + \lambda h}{\mu}\right)^k}{k!}} \quad (\text{IV. 1})$$

La probabilité de blocage du Handover est égale à celle des nouveaux appels.  $P_b = P_j$  pour  $j=s$ . Nous aurons alors :

$$P_b = P_h = P_s = \frac{\left(\frac{\lambda + \lambda h}{\mu}\right)^s}{s!} \frac{1}{\sum_{k=0}^s \frac{\left(\frac{\lambda + \lambda h}{\mu}\right)^k}{k!}} \quad (\text{IV.2})$$

L'équation (2) est connue comme formule d'Erlang-B [23].

### IV.3. Stratégies de priorité

La priorité du Handover sur les nouveaux appels fait décroître l'échec du Handover mais fait croître le blocage de nouvel appel ; ce qui réduit la capacité totale du système. Nous distinguons entre quatre stratégies de priorité :

#### IV.3.1. La priorité du Handover « l'utilisation de la file d'attente »

Cette technique est basée sur l'existence d'un intervalle de temps pendant lequel la MS traverse la région de Handover formée par l'entrelacement de deux régions de recouvrement [14, 32]. Dans cette région, un appel peut être traité par deux stations. Le temps mis par le mobile dans cette surface est appelé l'intervalle de dégradation.

Pendant cet intervalle de temps, le rapport de puissance reçue dans la cellule courante et dans la cellule de destination est entre deux seuils. Le seuil minimum correspond au point pour lequel la puissance reçue de la cellule courante est le minimum accepté. Le seuil maximum correspond au point où la puissance reçue de la cellule de destination commence à croître aux dépens de la cellule en cours.

L'extension de la région de Handover ou de « l'overlap area » permet de diminuer la probabilité d'échec du Handover. S'il n'y a pas de canaux libres dans la cellule voisine, la requête de Handover est insérée dans une file d'attente. Le mobile continue à utiliser le canal

dans la cellule courante. Si un canal dans la cellule voisine devient disponible avant l'expiration de l'intervalle de dégradation, le Handover a lieu.

- Si le mobile traverse la surface de Handover et ne trouve pas de canal disponible, il y a terminaison forcée de l'appel et libération du canal.
- Si la queue est vide, le canal libéré est *idle*. Sinon, il est assigné à un appel Handover dans la queue. L'appel Handover suivant qui est servi est choisi selon la discipline de queue.

**- Allocation de type FCA (fixed channel allocation)**

**Disciplines de queue de type FIFO (First in first out)**

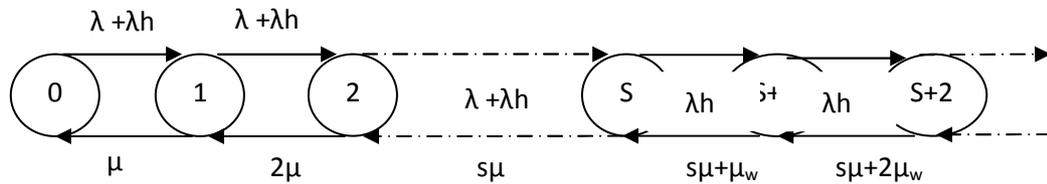


Figure IV.3 : Diagramme d'état

Le temps d'attente maximal est approximé par une variable aléatoire sous forme exponentielle :

$t_{wmax}$  : Le temps maximal de séjour dans la file d'attente.

Soit  $P_n$  la probabilité de l'état  $n$ . On démontre que :

$$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda + \lambda h)^n}{n! \mu^n} P_0 & 1 \leq n \leq s - 1 \\ \frac{(\lambda + \lambda h)^s \lambda h^{n-s}}{s! \mu^s \prod_{j=1}^{n-s} (s\mu + j\mu_w)} P_0 & n \geq s \end{cases} \quad (IV.3)$$

Avec :

$$\mu_w = 1/t_{wmax} \quad (IV.4)$$

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{s-1} \left[ \frac{(\lambda + \lambda h)^n}{n! \mu^n} \right] + \sum_{n=s}^{\infty} \left[ \frac{(\lambda + \lambda h)^s \lambda h^{n-s}}{s! \mu^s \prod_{j=1}^{n-s} (s\mu + j\mu_w)} \right] \right\}^{(-1)} \quad (IV.5)$$

Les nouveaux appels sont bloqués si tous les canaux disponibles dans la cellule sont occupés.

Donc, on obtient  $P_b$  tel que :

$$P_b = \sum_{n=s}^{\infty} P_n \quad (\text{IV. 6})$$

On définit  $P_{b2|n}$  la probabilité d'échec du Handover à l'état  $n$  par :

$$P_{b2|n} = 1 - \prod_{j=0}^{n-s} \left[ 1 - \frac{\mu_w}{(s\mu + \mu_w)^{2j}} \right] \quad (\text{IV. 7})$$

Donc  $P_h$  aura l'expression suivante :

$$P_h = \sum_{n=s}^{\infty} P_{b2|n} P_n \quad (\text{IV. 8})$$

### IV.3.2. La réservation des canaux de garde

Les canaux de garde améliorent la probabilité de succès du Handover en réservant un nombre fixe de canaux de garde réservés exclusivement pour les Handovers. Les canaux restants sont utilisés pour les Handovers et les nouveaux appels [32].

L'attribution des canaux de garde fait diminuer le nombre de canaux assignés aux nouveaux appels. Donc la probabilité de blocage des nouveaux appels augmente. C'est pourquoi, il est nécessaire de bien choisir les canaux de garde. L'utilisation des canaux de garde exige la détermination du nombre optimal de ces canaux, la connaissance du trafic et l'estimation du temps d'occupation de ces canaux.

Le diagramme d'état est décrit dans la figure ci-dessous [31]. La réservation des canaux de garde est modélisé par un processus de Markov avec  $(s+1)$  états. Une différenciation doit être faite lorsque le nombre de canaux occupés est inférieur à  $n$  et lorsqu'il est compris entre  $s$  et  $n$ .

Soit  $P_j$  la probabilité d'état à l'état  $j$  ( $j$  serveurs occupés). Nous distinguons deux cas :

➤  $0 \leq j < n$  :

Le taux de transition de  $P_j$  à  $P_{j+1}$  est donné par  $\lambda + \lambda h$  et la transition de  $P_{j+1}$  à  $P_j$  est donnée par  $(j+1)\mu$ .

➤  $n \leq j < s$  :

Le taux de transition de  $P_j$  à  $P_{j+1}$  est donné par  $\lambda h$  et la transition de  $P_{j+1}$  à  $P_j$  est donnée par  $(j+1)\mu$  car les nouveaux appels ne sont pas établis s'il y a plus que  $n$  canaux occupés dans la cellule.

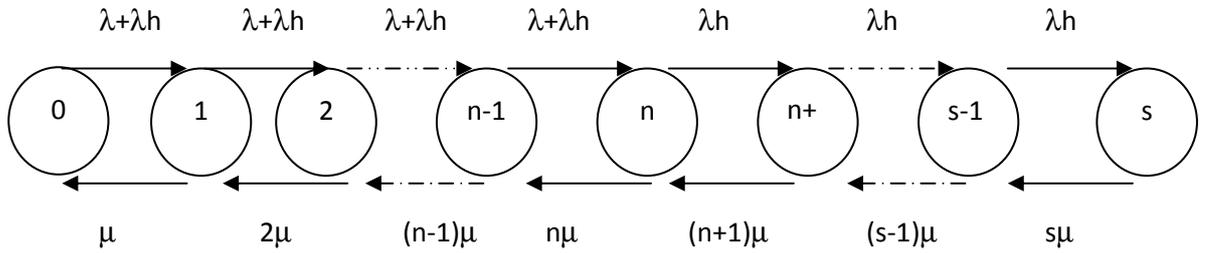


Figure IV.4 : Diagramme d'état

$$\begin{cases} P_j = \frac{(\lambda + \lambda h)^j}{j! \mu^j} P_0 & 0 < j \leq n \\ P_j = \frac{1}{j!} \frac{(\lambda + \lambda h)^n \lambda h^{j-n}}{\mu^j} P_0 & n \leq j < S \end{cases} \quad (IV.9)$$

ou 
$$\sum_j P_j = 1 \quad (IV.10)$$

D'où 
$$P_0 = \left[ \sum_{j=0}^n \frac{(\lambda + \lambda h)^j}{j! \mu^j} + \sum_{j=n+1}^s \frac{(\lambda h)^{j-n} (\lambda + \lambda h)^n}{j! \mu^j} \right]^{-1} \quad (IV.11)$$

soit 
$$a = \frac{\lambda + \lambda h}{\mu}, \quad r = \frac{\lambda}{a\mu}$$

La probabilité de blocage des nouveaux appels est donnée par :

$$Pb = \sum_{j=n}^s P_j = 1 - \sum_{j=0}^{s-n-1} P_j = 1 - \sum_j \frac{(a)^j}{j!} P_0 \quad (IV.12)$$

La probabilité de blocage du Handover est donnée par :

$$Ph = P_0 \frac{a^S}{S!} (1 - r)^n \quad (IV.13)$$

### IV.3.3. La priorité du Handover avec la réservation des canaux de gardes

C'est une combinaison entre les deux techniques précédentes la mise en queue des requêtes de Handovers et la réservation des canaux de gardes réservés exclusivement pour les Handovers [33].

Le diagramme de transition d'état est illustre par la figure suivante :

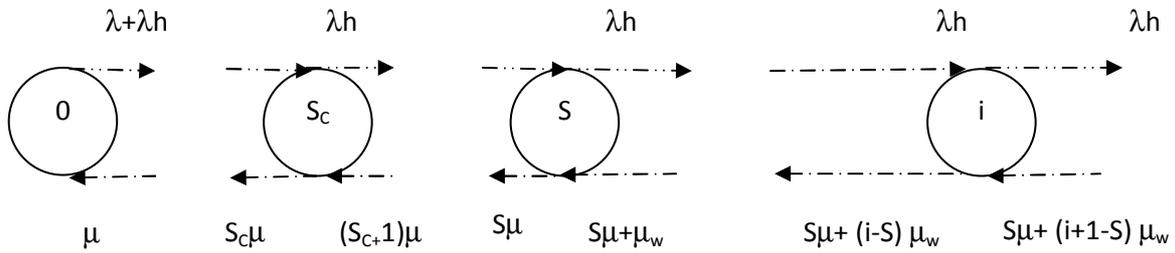


Figure IV.5 : Diagramme d'état

Les probabilités d'équilibre  $P(i)$  sont reliées entre eux par les équations suivantes :

$$\begin{cases} i\mu P(i) = (\lambda + \lambda h)P(i - 1) & 0 \leq i \leq S_c \\ i\mu P(i) = \lambda h P(i - 1) & S_c \leq i \leq S \\ [S\mu + (i - S)(\mu_w)]P(i) = \lambda h P(i - 1) & S < i \leq \infty \end{cases} \quad (IV.14)$$

Donc on obtient  $P(i)$  :

$$P(i) = \begin{cases} \frac{(\lambda + \lambda h)^i}{i! \mu^i} P(0) & 0 \leq i \leq S_c \\ \frac{(\lambda + \lambda h)^{S_c} \lambda h^{i-S_c}}{i! \mu^i} P(0) & S_c < i \leq S \\ \frac{(\lambda + \lambda h)^{S_c}}{S! \mu^S} \frac{\lambda_H^{i-S_c}}{\prod_{j=1}^{i-S} [S\mu + j(\mu_w)]} P(0) & S < i \leq \infty \end{cases} \quad (IV.15)$$

Où :

$$P(0) = \left\{ \sum_{i=0}^{S_c} \frac{(\lambda + \lambda h)^i}{i! \mu^i} + \sum_{i=S_c+1}^S \frac{(\lambda + \lambda h)^{S_c} \lambda h^{i-S_c}}{i! \mu^i} + \sum_{i=S+1}^{\infty} \frac{(\lambda + \lambda h)^{S_c}}{S! \mu^S} \frac{\lambda h^{i-S_c}}{\prod_{j=1}^{i-S} [S\mu + j(\mu_w)]} \right\}^{-1} \quad (IV.16)$$

La probabilité de blocage des nouveaux appels est :

$$Pb = \sum_{i=S_c}^S P(i) \quad (IV.17)$$

La probabilité d'échec du Handover est :

$$Ph = \sum_{k=0}^{\infty} P(S+k) P_{fh|k} \quad (IV.18)$$

Là où  $P_{fh|k}$  est une probabilité qu'une requête de Handover échouer après la rentrer dans la file d'attente en position  $k+1$  et elle est donné par :

$$P_{fh|k} = 1 - \left( \frac{\mu_w}{\mu S + \mu_w} \right) \prod_{i=1}^k \left\{ 1 - \left( \frac{\mu_w}{\mu S + \mu_w} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^i \right\} \quad (IV.19)$$

On peut dire que cet arrangement est équivalent au  $S_c = S$ .

#### IV.3.4. La mise en queue des nouveaux appels et du Handover et la réservation des canaux de gardes

Nous considérons un système avec beaucoup de cellules [30], chacun qui a des  $S$  canaux. Il y a deux files d'attente  $QH$  et  $QO$  pour les Handovers et les nouveaux appels, respectivement. Les capacités de  $QH$  et de  $QO$  sont  $MH$  et  $MO$ , respectivement. Un appel de Handover est inséré dans  $QH$  s'il ne trouve aucun canal libre. D'autre part, un nouvel appel est inséré dans  $QO$  s'il trouve les canaux disponibles inférieur ou égal à  $(S - S_c)$ . Sinon l'appel est bloqué.

Un appel de Handover placé dans la file d'attente est bloqué quand il se déplace hors de la cellule avant d'obtenir un canal (terminaison forcée).

La capacité de  $MH$  de la file d'attente  $QH$  est habituellement assez grande de sorte que la probabilité de blocage de Handover peut être négligée.

Depuis la somme de toutes les probabilités  $P$  d'état  $(i,j)$  est égal à 1, nous aurons :

$$\sum_{i=0}^{S_C-1} P(i, 0) + \sum_{i=S_C}^{S+MH} \sum_{j=0}^{M_O} P(i, j) = 1 \tag{IV.20}$$

Où  $i$  est la somme des  $S_b$  des canaux occupés et  $j$  est le nombre des appels originaux dans  $QO$ . Notons que :

Si  $S_b < S$  donc  $i = S_b$  et  $j = qh + S$  quand  $S_b = S$ . Ou  $qh$  est le nombre des requêtes de Handover dans  $QH$ . Donc on obtient une chaîne de Markov bidimensionnelle, le diagramme de transition d'état est donné par la figure IV.6.

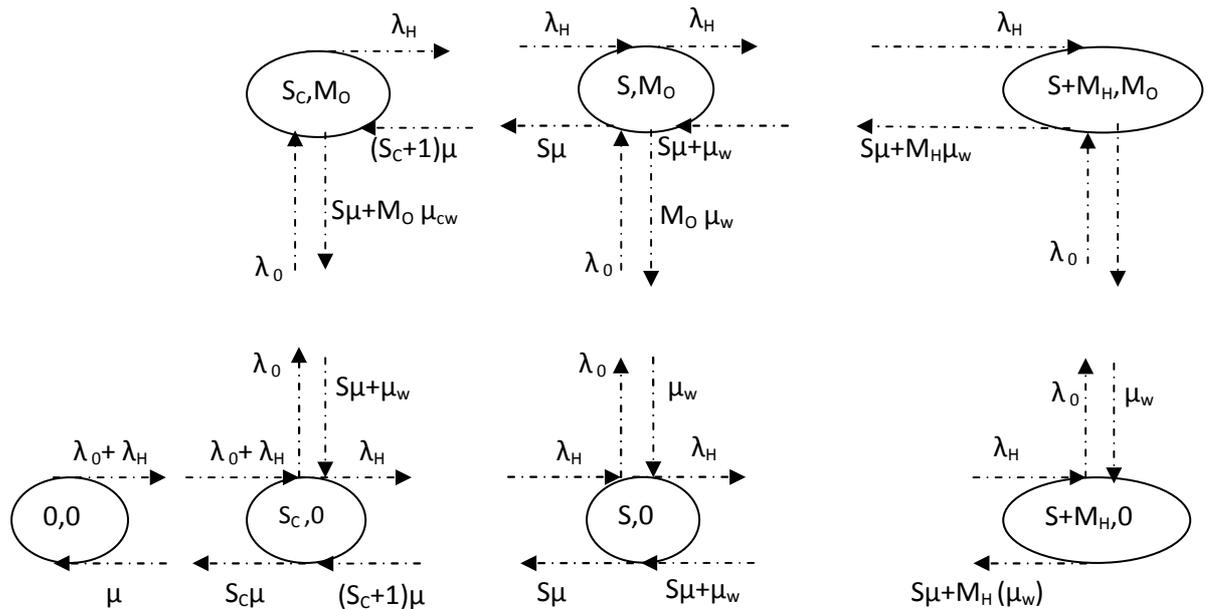


Figure IV.6 : Le diagramme de transition d'état

Dans le diagramme d'état il y a  $N_t = (S+MH+1)(M_O+1) - S_C M_O$  états, par conséquent il y a  $N_t$  équations d'équilibres.

On peut obtenir tous les probabilités d'états  $P(i,j)$  en utilisant la méthode itérative suivante :

- On choisit la valeur initiale (positive) de  $\lambda_h$ .

➤ On calcule toutes les probabilités  $P(i, j)$  (pour  $i = 0, 1, 2, S + MH$  et  $j = 0, 1, 2, \dots, MO$ ) en utilisant la méthode de SOR.

➤ On calcule le nombre moyen des canaux occupés on utilisant la formule suivante :

$$E[C] = \sum_{i=1}^{S_C-1} iP(i, 0) + \sum_{i=S_C}^S i \sum_{j=0}^{MO} P(i, j) \quad (IV. 21)$$

➤ On calcule un nouveau  $\lambda_H$  en substituant (IV.21) dans (IV.12).

Si  $|\text{nouveau } \lambda_H - \text{ancien } \lambda_H| \leq \varepsilon$ , arrêter l'exécution. Autrement, passer à l'étape 2. Ici  $\varepsilon$  est un petit nombre positif pour vérifier la convergence.

En se basant sur les  $P(i, j)$  ci-dessus, nous pouvons obtenir les mesures d'exécution du système. La probabilité de blocage  $Pb$  des nouveaux appels est :

$$Pb = \sum_{i=S_C}^{S+MH} P(i, M_0) \quad (IV. 22)$$

La probabilité de blocage  $Ph$  de Handover est égale à la probabilité de ses propres files d'attente remplies. Ainsi,

$$Ph = \sum_{j=0}^{MO} P(S + MH, j) \quad (IV. 23)$$

La longueur moyenne  $L_O$  de la file d'attente  $QO$  est:

$$L_O = \sum_{j=1}^{MO} j \sum_{i=S_C}^{S+MH} P(i, j) \quad (IV. 24)$$

Et la longueur moyenne  $L_H$  de la file d'attente  $QH$  est:

$$L_H = \sum_{i=S+1}^{S+MH} (i - S) \sum_{j=0}^{MO} P(i, j) \quad (IV. 25)$$

Puisque le nombre moyen des nouveaux appels arrivé et supprimé de la file d'attente en unité de temps sont  $(1 - Pb)\lambda_0$  et  $\mu_{c-dwell}L_O$ , respectivement, la probabilité d'arrêt des appels originaux est données par :

$$P_{0-out} = \frac{\mu_{c-dwell}L_O}{(1 - Pb)\lambda_0} \quad (IV. 26)$$

Tel que  $\mu_{c-dwell}$  : le taux de départ des utilisateurs mobiles.

La durée de la MS dans la zone de transfert dépend des paramètres du système tels que la vitesse de déplacement, la direction de la MS, et la taille des cellules. Nous définissons ce que le temps de séjour d'un mobile dans la zone de transfert et le note variable aléatoire  $T_{h-dwell}$ . Pour la simplicité de l'analyse, nous supposons que ce temps de séjour est exponentiellement distribué avec une moyenne  $E [T_{h-dwell}] = (1 / \mu_{h-dwell})$ .

De même, la probabilité d'arrêt des requêtes de Handover dans la file d'attente  $Q_H$  est donnée par :

$$P_{H-out} = \frac{\mu_{h-dwell} L_H}{(1 - P_h) \lambda_H} \quad (IV.27)$$

Par conséquent, la probabilité d'un nouvel appel n'étant pas assigné un canal et la probabilité de la terminaison forcé d'une requête de Handover sont données par :

$$P_0 = P_b + (1 - P_b) P_{0-out} \quad (IV.28)$$

$$\text{Et } P'_f = P_h + (1 - P_h) P_{H-out} \quad (IV.29)$$

La probabilité de Handover  $P_h$  d'un appel est la probabilité que la durée d'appel  $T_C$  (variable aléatoire) excède le temps de séjour  $T_{c-dwell}$  (variable aléatoire) de l'utilisateur dans une cellule, c.-à-d :

$$P_h = \Pr\{T_C > T_{c-dwell}\} \quad (IV.30)$$

Supposons que  $T_C$  et  $T_{c-dwell}$  sont indépendants, nous pouvons facilement obtenir :

$$P_h = \frac{\mu_{c-dwell}}{\mu_C + \mu_{c-dwell}} \quad (IV.31)$$

La probabilité de la terminaison forcée  $P_f$  à laquelle un appel accepté par le système est forcé d'être terminer pendant sa durée d'appel est une mesure vraie de l'exécution de système. Il est important de distinguer cette probabilité et la probabilité d'échec  $P'_f$  d'une tentative simple de Handover. La probabilité de la terminaison forcée  $P_f$  des appels de Handover peut être exprimée comme suit :

$$P_f = \sum_{i=1}^{\infty} P_h P_f' [(1 - P_f') P_h]^{i-1} = \frac{P_h P_f'}{1 - P_h (1 - P_f')} \quad (\text{IV.32})$$

Pour les situations spéciales, des solutions sont déjà connues pour le cas de  $MH = \infty$  et  $MH = 0$  quand  $MO = 0$ . Dans le système avec  $MH$  est fini, un nouvel appel est bloqué si le nombre des canaux disponibles dans la cellule est inférieur ou égal à  $S - S_c$ . Une requête de Handover est bloquée si sur l'arrivée elle constate que  $QH$  est rempli.

Dans ce cas-ci, nous considérons le cas pour  $MO = 0$ . Le diagramme bidimensionnel d'état de transition devient unidimensionnel ( $j = 0$ ). Par conséquent, les probabilités d'état peuvent facilement être obtenues comme suit :

$$P(i, 0) = \begin{cases} \frac{a^i}{i!} P(0,0) & 0 \leq i \leq S_c \\ \left(\frac{a}{b}\right)^{S_c} \frac{b^i}{i!} P(0,0) & S_c \leq i \leq S \\ \frac{\left(\frac{a}{b}\right)^{S_c}}{S!} \frac{b^i P(0,0)}{\prod_{j=1}^{i-S} (S + jh)} & S + 1 \leq i \leq S + MH \end{cases} \quad (\text{IV.33})$$

Où

$$a = \frac{\lambda_0 + \lambda_H}{\mu}, b = \frac{\lambda_H}{\mu} \text{ et } h = \frac{\mu_c + \mu_{h-dwell}}{\mu}$$

$$P(0,0) = \left\{ \sum_{i=0}^{S_c} \frac{a^i}{i!} + \left(\frac{a}{b}\right)^{S_c} \sum_{i=S_c+1}^S \frac{b^i}{i!} + \frac{\left(\frac{a}{b}\right)^{S_c}}{S!} \sum_{i=S+1}^{S+MH} \frac{b^i}{\prod_{j=1}^{i-S} (S + jh)} \right\}^{-1} \quad (\text{IV.34})$$

$$\text{Et } \lambda_H = E[C] \mu_{c-dwell} = \mu_{c-dwell} \sum_{i=1}^S iP(i, 0) \quad (\text{IV.35})$$

Par conséquent, la probabilité de blocage  $Pb$  des nouveaux appels est :

$$Pb = \sum_{i=S_c}^{S+MH} P(i, 0) = \left[ \frac{a^{S_c}}{S_c!} + \left(\frac{a}{b}\right)^{S_c} \sum_{i=S_c+1}^S \frac{b^i}{i!} + \frac{\left(\frac{a}{b}\right)^{S_c}}{S!} \sum_{i=S+1}^{S+MH} \frac{b^i}{\prod_{j=1}^{i-S} (S + jh)} \right] P(0,0) \quad (\text{IV.36})$$

La longueur moyenne  $L_H$  de la file d'attente  $QH$  est :

$$L_H = \sum_{i=S+1}^{S+MH} (i - S) P(i, 0) \quad (\text{IV.37})$$

## IV.4. Hypothèses de base

### IV.4.1. Modèle de cellule

La « street of coverage » est un ensemble de cellules contiguës. Chaque cellule est modélisée par un hexagone. Le temps de traversée d'une cellule  $i$  est  $Tc(i)$  tels que :

$$Tc = T_{orb} \frac{L(i)}{2\pi R_e} \quad (\text{IV. 38})$$

Avec :

$L(i)$  : la longueur autour du track de satellite.

$T_{orb}$  : la période d'orbite.

$R_e$  : Le rayon de la terre.

### IV.4.2. Modèle de mobilité

Ce modèle est valable avec les propositions suivantes :

- Lorsqu'un Handover a lieu, la cellule de destination est la cellule adjacente dans la direction du mouvement du satellite. L'utilisateur traverse les cellules avec la vitesse  $-V_{trk}$  où  $V_{trk}$  est la vitesse du satellite. Notons bien que la vitesse de l'utilisateur est négligeable par rapport à la vitesse du satellite.
- A partir de l'établissement de l'appel, un utilisateur actif traverse une distance :
  - uniformément distribuée entre 0 et  $2R$  pour la cellule source (où l'appel est original)
  - $2R$  pour une cellule de transit successive à la cellule source. Ou  $R$  est le diamètre de cellule.
- La procédure de Handover est initiée lorsqu'un utilisateur avec un appel actif arrive à la limite d'une cellule adjacente.

La vitesse du mobile n'est pas variable. Elle est constante et est égale à  $V_{trk}$  (vitesse du satellite).

### IV.4.3. Les paramètres de simulation

Plusieurs simulations ont été faites pour évaluer la performance des différentes techniques de Handover. On suppose que les arrivées des mobiles dans une cellule forment un processus de Poisson avec une moyenne  $\lambda$ . L'arrivée des requêtes Handover forme un processus de poisson de moyenne  $\lambda_h$ .  $\lambda$  et  $\lambda_h$  sont reliés entre eux par la relation suivante :

$$\lambda_h \approx \frac{\mu_{c-dwell}}{\mu_c} \lambda \quad (IV.39)$$

Ou  $\mu_{c-dwell} = \mu_w = 1/t_{wmax}$  est le temps de séjour dans la file d'attente.

Dans notre étude on considère que la durée moyenne d'appel  $T_m = 3mn$  et le nombre des canaux  $S=10$  et la longueur de la file d'attente égale à  $\infty$ ,  $t_{wmax} = 0.096mn$ , la durée de simulation est 10000 secondes.

Les paramètres mesurés considérées sont:

- $P_b$  la probabilité de blocage des nouveaux appels.
- $P_h$  la probabilité d'échec de Handover.
- $P_{nc}$  la probabilité d'un appel incomplet.

## IV.5. Résultats de simulations

### IV.5.1. Stratégie de non priorité

Cette stratégie est illustrée par l'organigramme suivant :

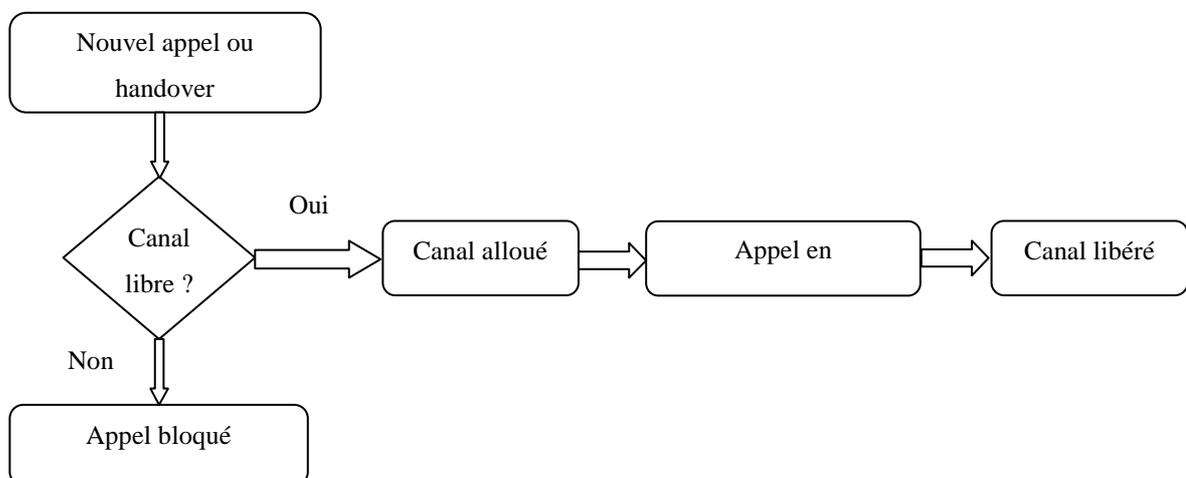
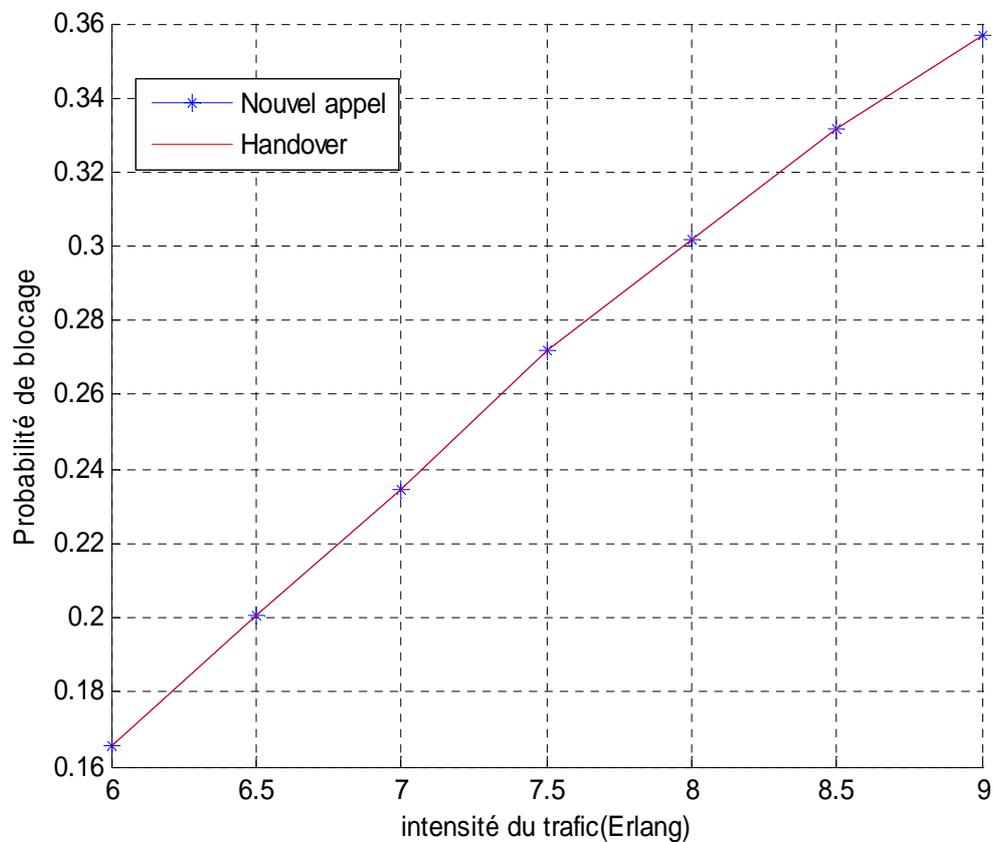


Figure IV.7: L'organigramme de la stratégie de non priorité

La figure IV.8 représente la probabilité de blocage des nouveaux appels et du Handover en fonction du trafic (Erlang).

Les courbes obtenues montrent que la probabilité de blocage des nouveaux appels est égale à la probabilité de blocage du Handover parce que les nouveaux appels sont traités de la même manière que les appels des Handovers.

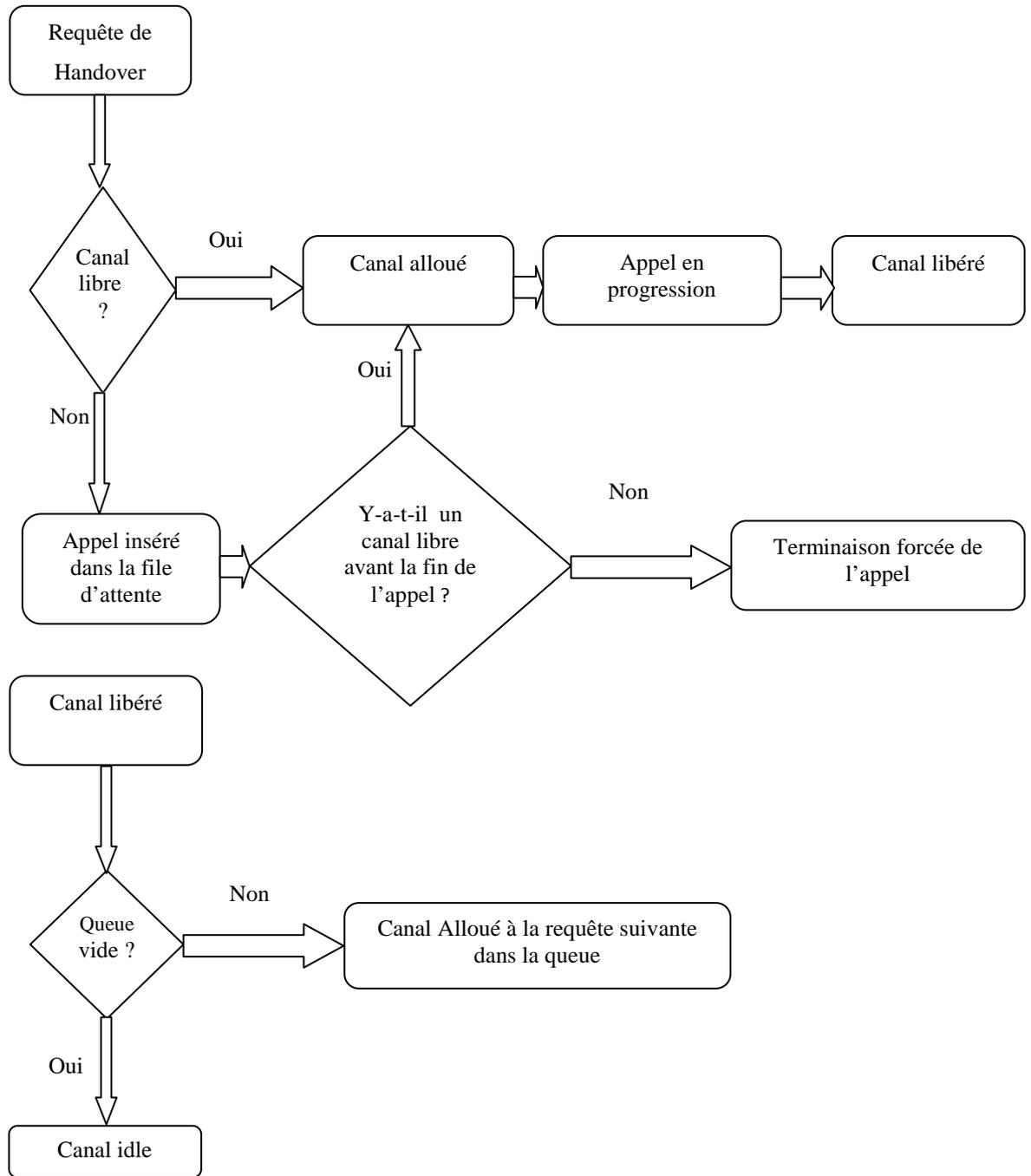


**Figure IV.8 : la probabilité de blocage des nouveaux appels et du Handover en fonction du trafic (Erlang)**

### IV.5.2. Stratégies de priorités

#### IV.5.2.1. La priorité du Handover

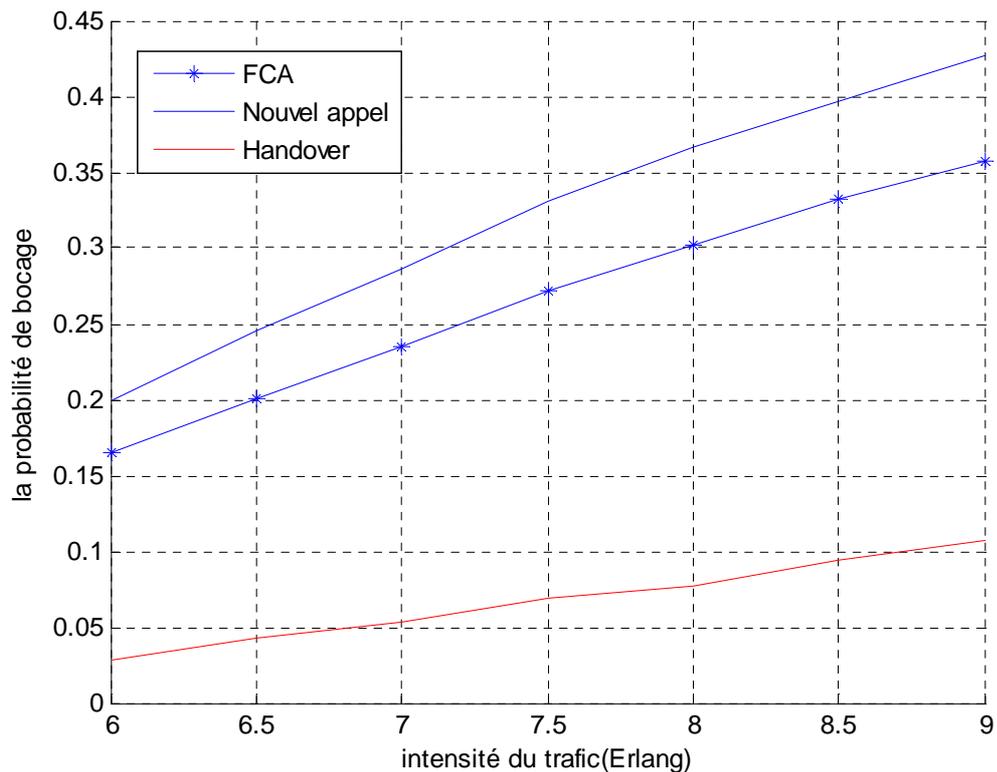
Dans ce cas, on aura un organigramme plus compliqué.



**Figure IV.9 : L'organigramme de la stratégie de priorité « La priorité du Handover »**

La figure IV.10 présente la probabilité de blocage du Handover et des nouveaux appels en fonction du trafic (Erlang) pour la stratégie de non priorité (la courbe FCA) et la stratégie de priorité (l'utilisation de la file d'attente).

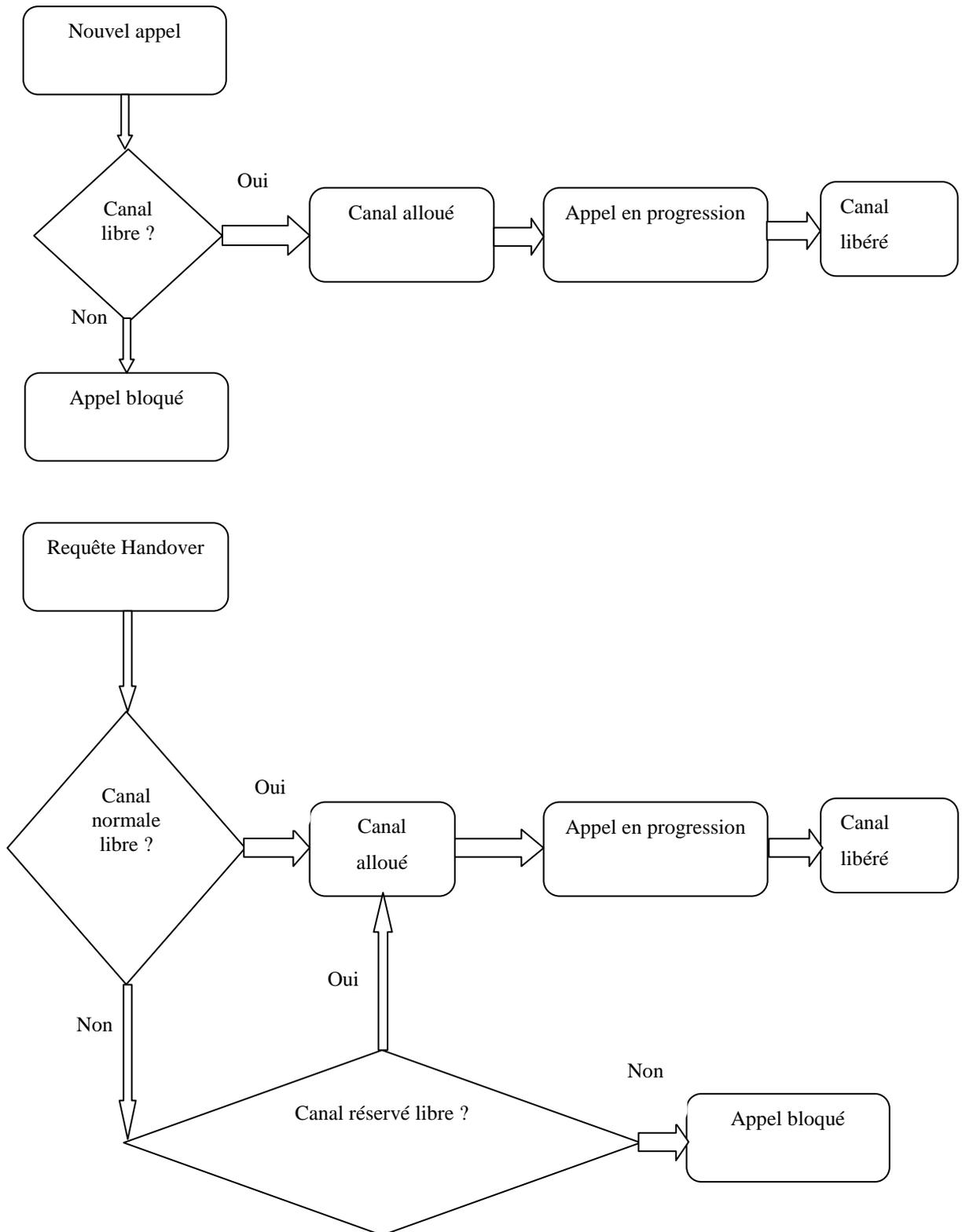
La file d'attente diminue la probabilité de blocage du Handover et augmente la probabilité de blocage des nouveaux appels grâce à sa grande capacité.



**Figure IV.10 : la probabilité de blocage des nouveaux appels et du Handover en fonction du trafic (Erlang)**

**IV.5.2.2. La réservation des canaux de garde**

Dans le cas de la réservation des canaux de garde, on aura l'organigramme suivant :



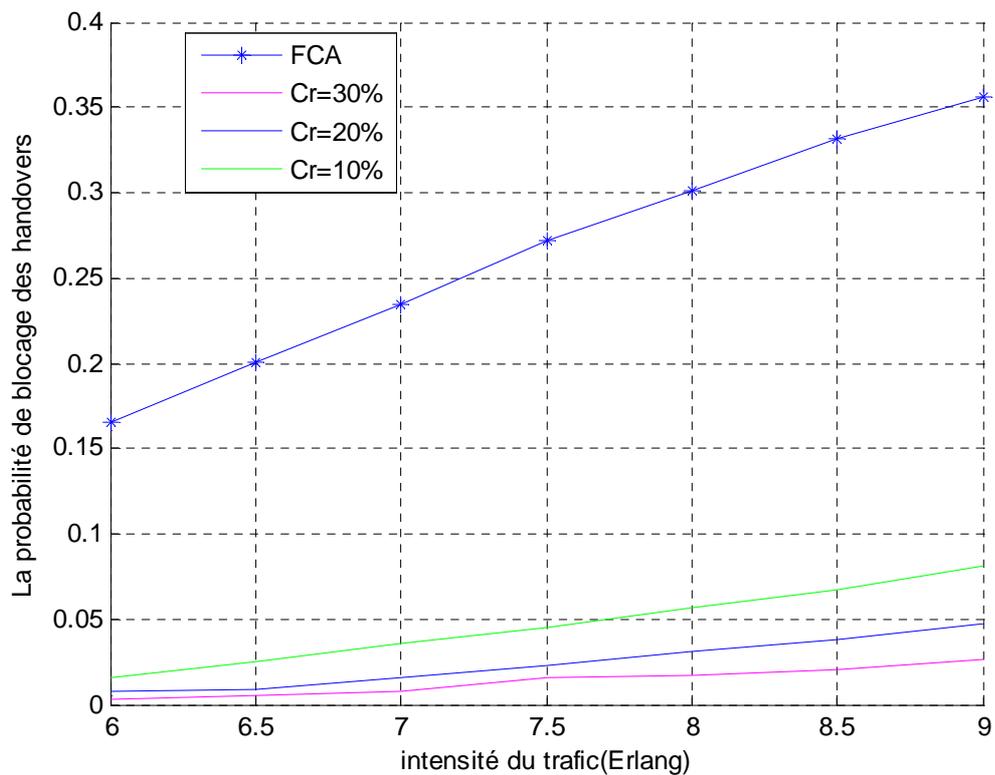
*Figure IV.11: L'organigramme de la stratégie de priorité « La réservation des canaux de gardes »*

Soit  $Cr$  le ratio de canaux réservés.

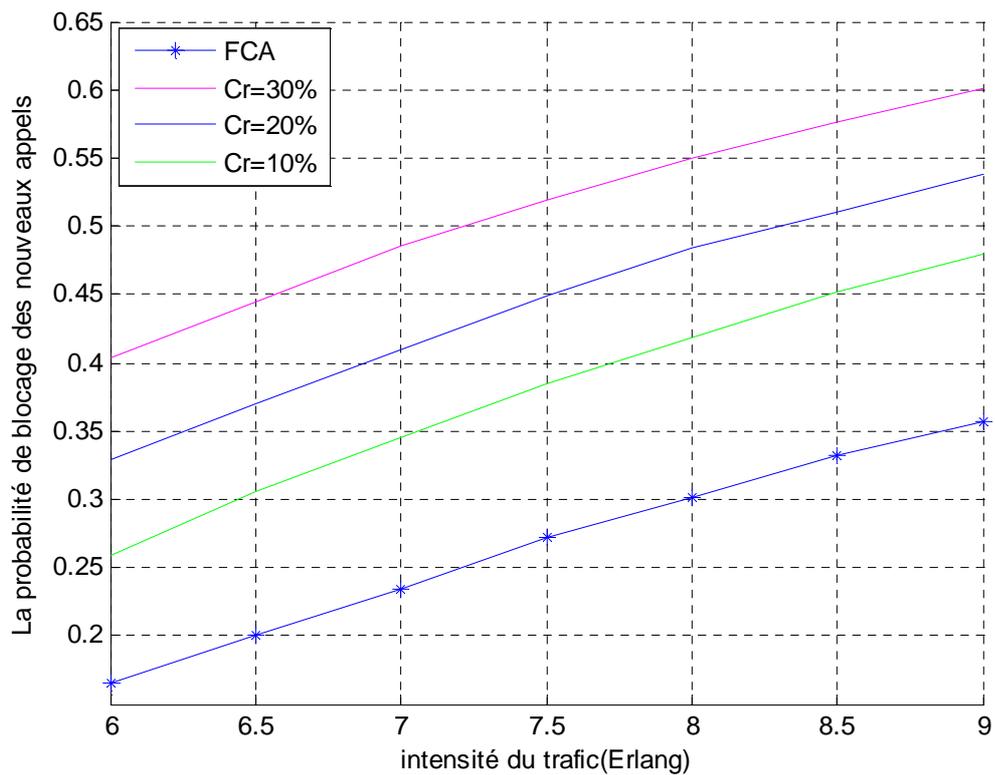
Les figures IV.12 et IV.13 représentent la variation de la probabilité de blocage du Handover et la probabilité de blocage des nouveaux appels respectivement en fonction du trafic (Erlang) pour la stratégie de non priorité (la courbe FCA) et la réservation des canaux de gardes.

- Pour  $Cr$  est égal à 10%.
- Pour  $Cr$  est égal à 20%.
- Pour  $Cr$  est égal à 30%.

Lorsque  $Cr$  augmente, la probabilité de blocage des Handovers diminue. Puisque le nombre de canaux réservés ne peut être assigné aux nouveaux appels, l'augmentation de  $Cr$  augmente la probabilité de blocage des nouveaux appels.



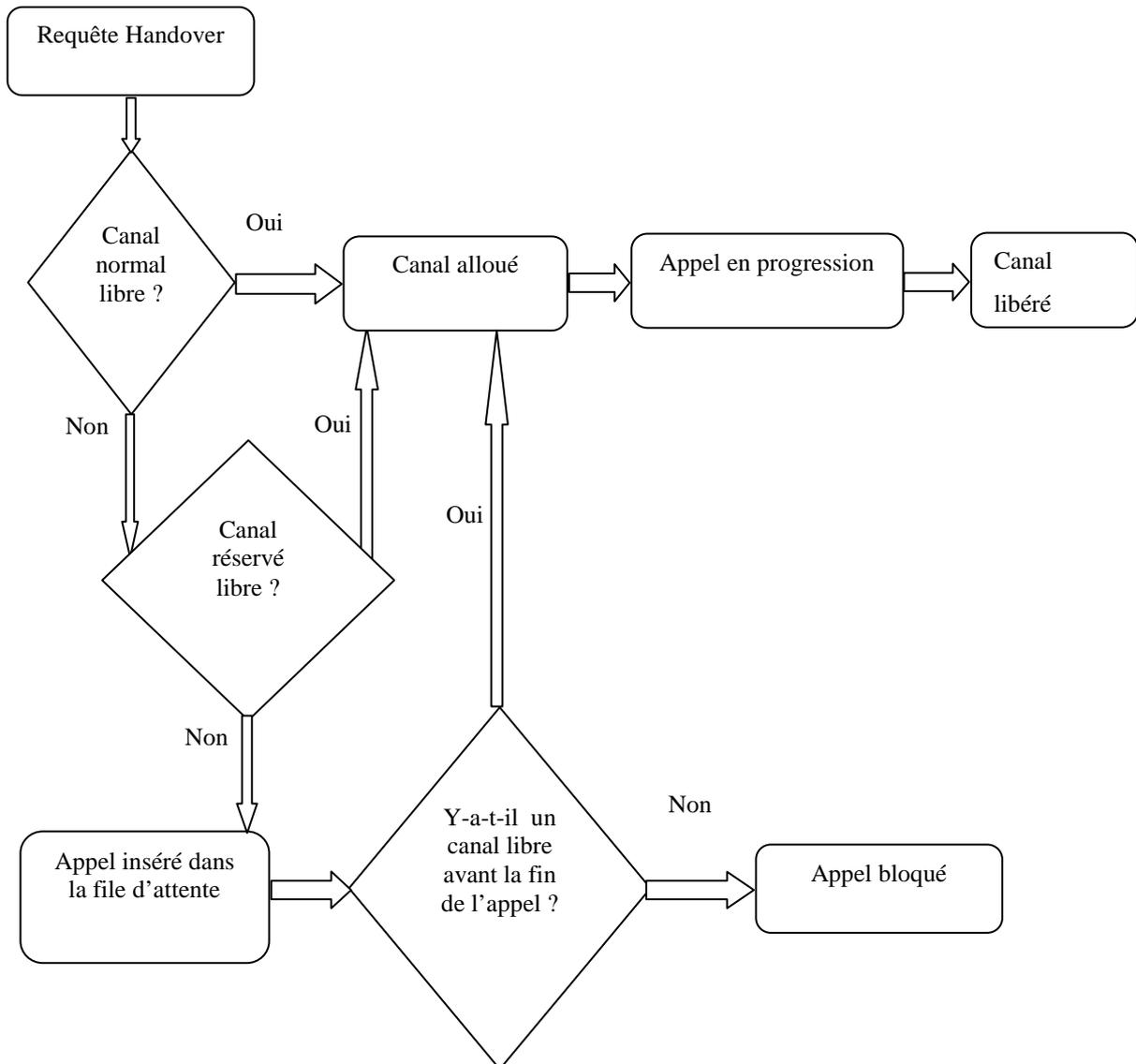
**Figure IV.12 : La probabilité de blocage du Handover en fonction du trafic (Erlang)**



*Figure IV.13 : La probabilité de blocage des nouveaux appels en fonction du trafic (Erlang)*

### IV.5.2.3. La réservation des canaux de gardes avec la priorité du Handover

Cet organigramme représente la stratégie de priorité dans le cas de la réservation des canaux de gardes avec la priorité du Handover.



**Figure IV.14: L'organigramme de la stratégie de priorité « la réservation des canaux de gardes avec la priorité du Handover »**

La figure IV.15 représente la variation de la probabilité d'échec du Handover suivant la variation du nombre des canaux de gardes.

La figure IV.16 représente la variation de la probabilité de blocage des nouveaux appels suivant la variation du nombre des canaux de gardes.

Dans ce cas, la file d'attente et les canaux de gardes ont une influence très importante sur la probabilité d'échec du Handover et la probabilité du blocage des nouveaux appels parce qu'ils sont réservés uniquement aux appels du Handover.

Lorsqu'on augmente le nombre des canaux de gardes, la probabilité de blocage du Handover diminue et la probabilité de blocage des nouveaux appels augmente.

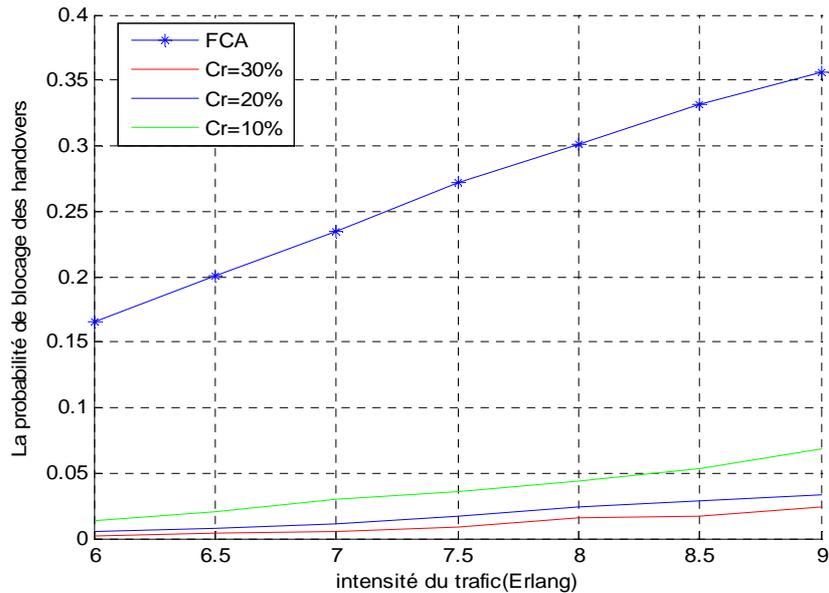


Figure IV.15 : La probabilité de blocage du Handover en fonction du trafic (Erlang)

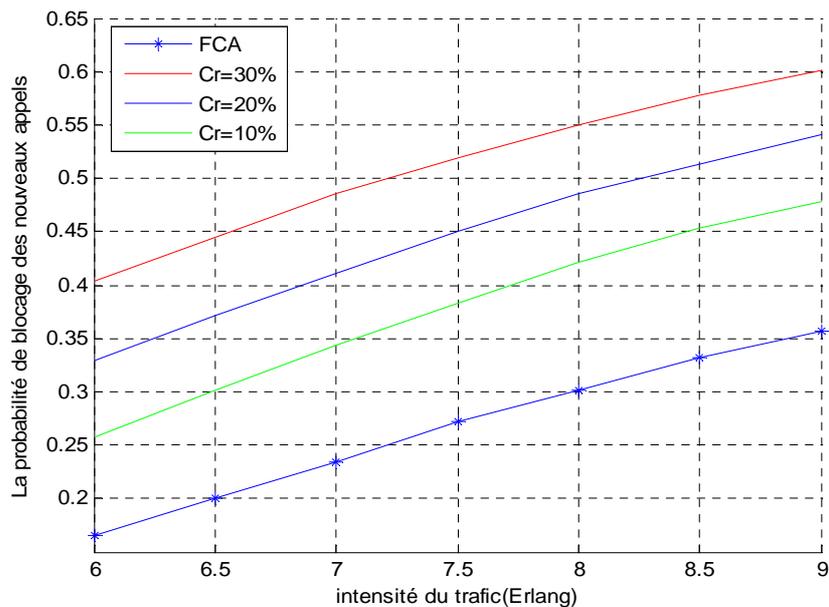


Figure IV.16 : la probabilité de blocage des nouveaux appels en fonction du trafic (Erlang)

### IV.5.2.4. La mise en queue des nouveaux appels et du Handover et la réservation des canaux de gardes

Cet organigramme représente la stratégie de priorité dans le cas de la mise en queue des nouveaux appels et du Handover ainsi que de la réservation des canaux de gardes.

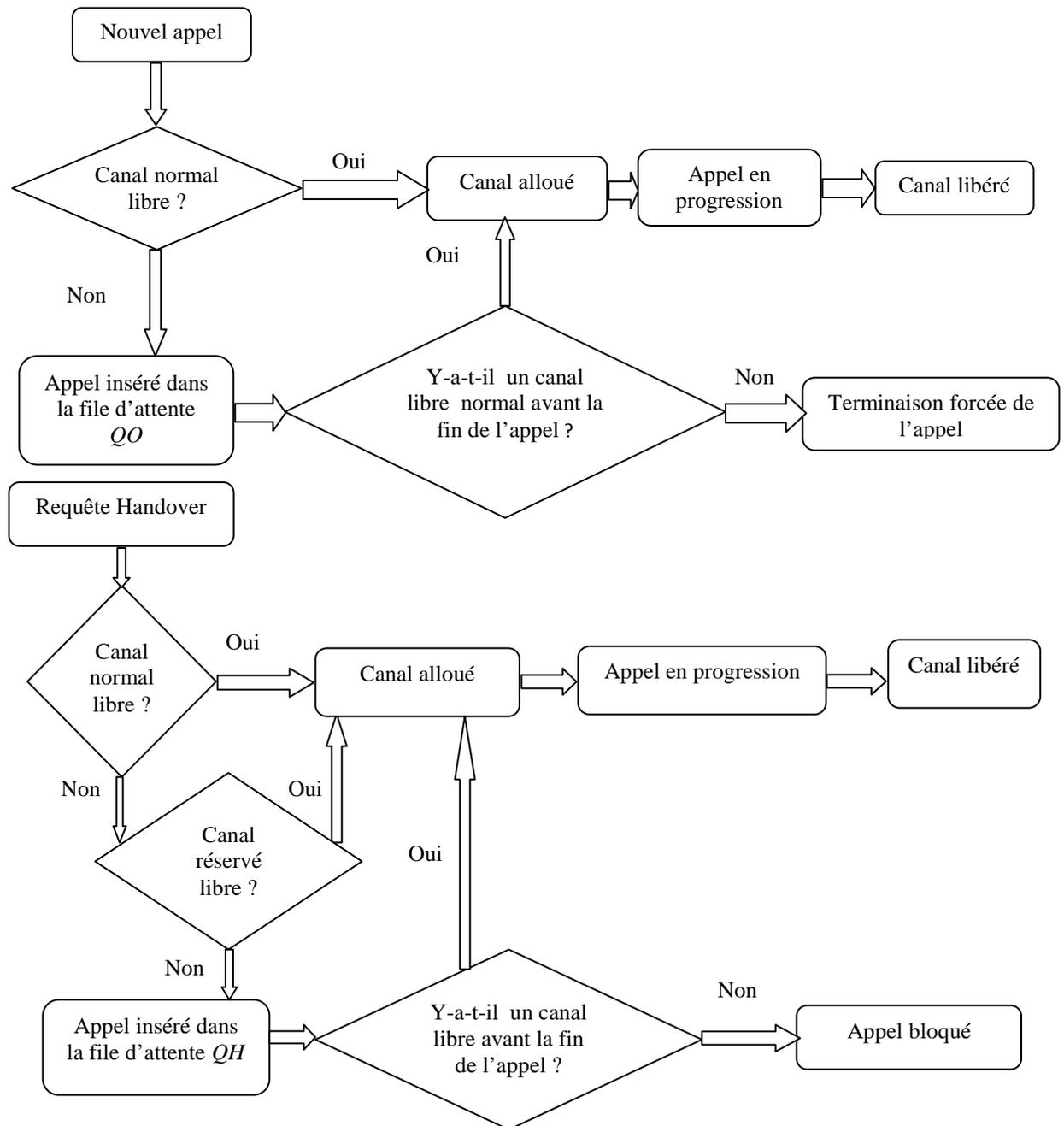
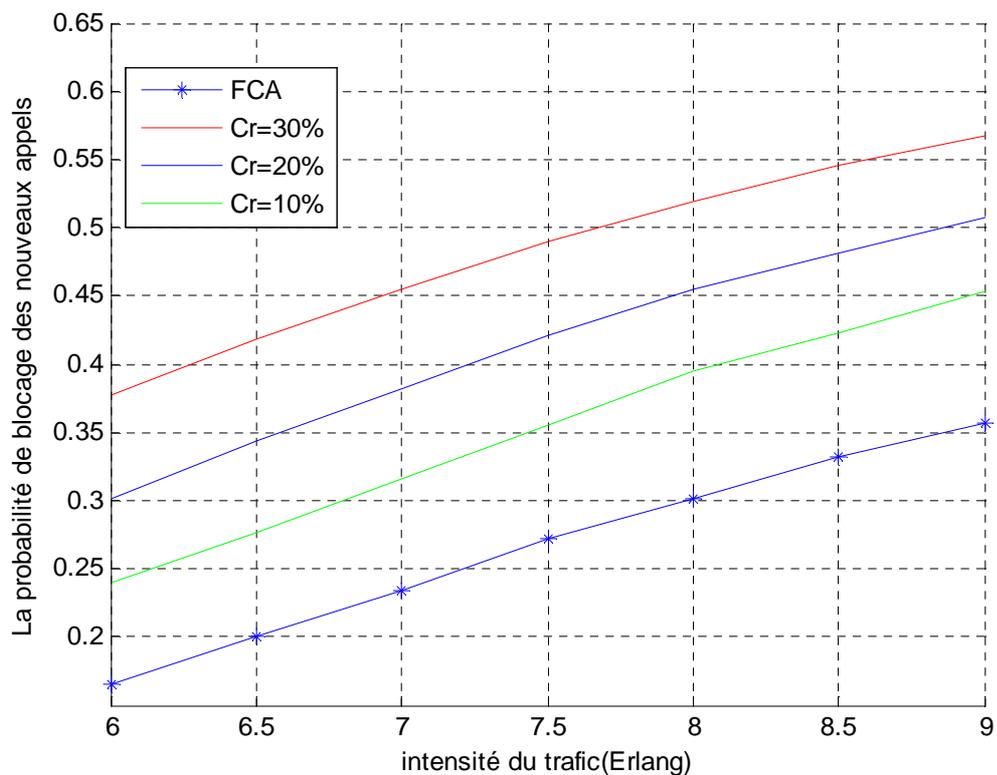


Figure IV.17: L'organigramme de la stratégie de priorité « La mise en queue des nouveaux appels et du Handover et la réservation des canaux de gardes »

Les figures IV.18, IV.19 et IV.20 montrent que lorsque le nombre des canaux de gardes réservés aux appels du Handover augmente, la probabilité de blocage du Handover diminue et la probabilité de blocage des nouveaux appels et celle d'un appel incomplet  $P_{nc}$  augmente.

La simulation de cette technique montre que la mise en attente les nouveaux appels diminue sa probabilité de blocage si on la compare avec la technique précédente « La réservation des canaux de gardes avec la priorité du Handover ».



**Figure IV.18 : La probabilité de blocage des nouveaux appels en fonction du trafic**  
 «Pour  $Cr=30\%$ ,  $Cr=20\%$ ,  $Cr=10\%$  »

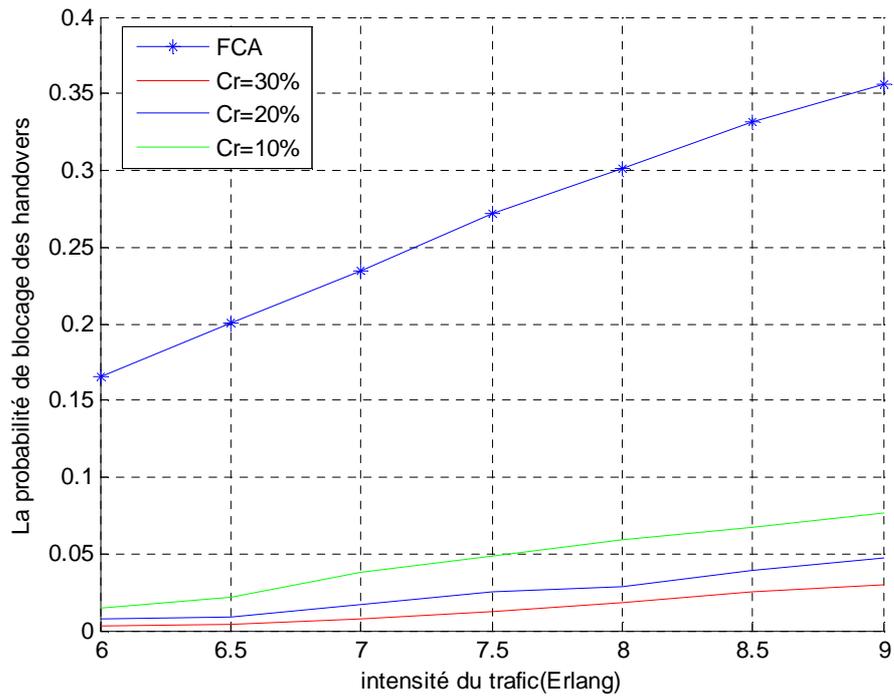


Figure IV.19: La probabilité de blocage du Handover en fonction du trafic (Erlang)

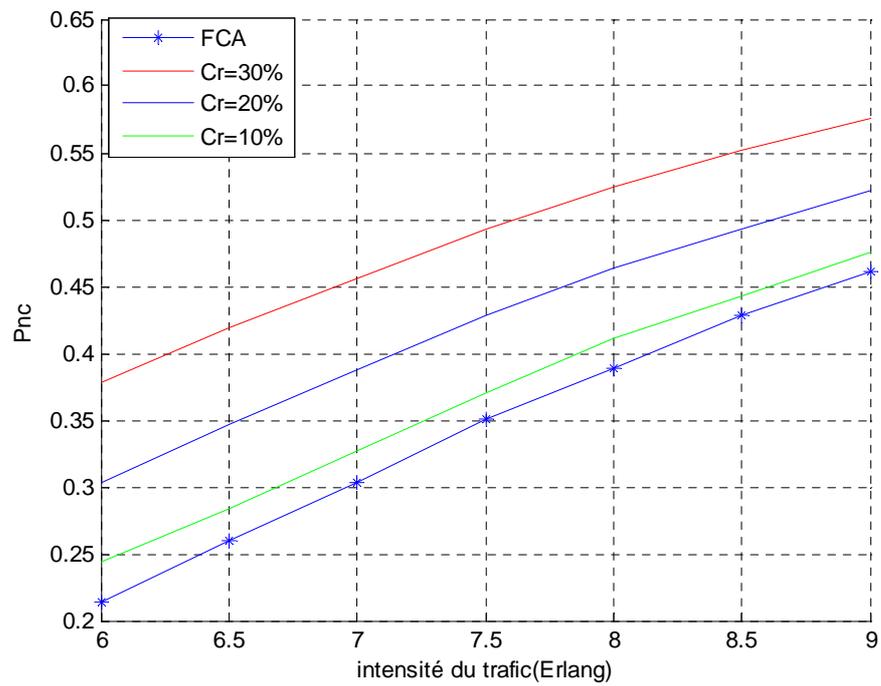


Figure IV.20 : La Pnc en fonction du trafic (Erlang)

### IV.6. Comparaison entre les différentes techniques

Dans ce paragraphe, nous comparons les résultats des différentes techniques établies précédemment selon les courbes suivantes :

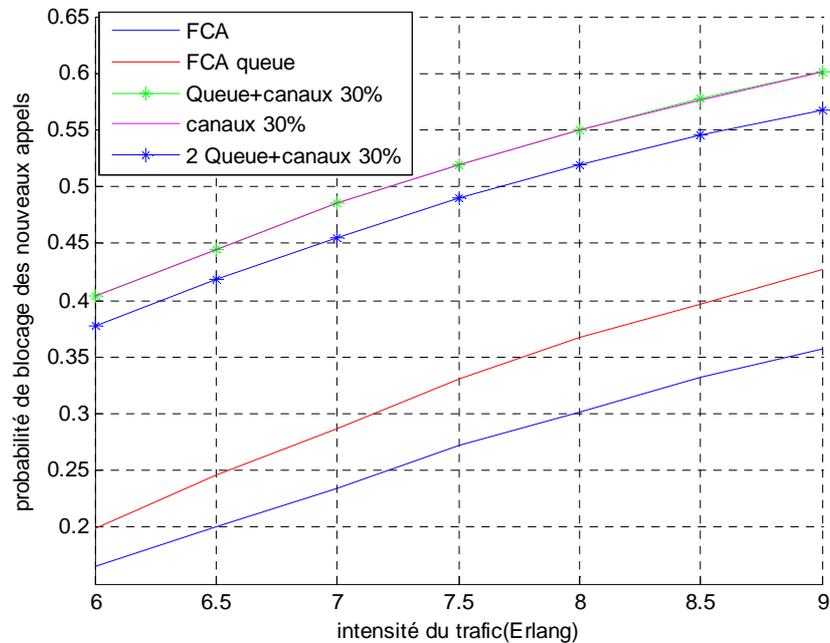


Figure IV.21: La probabilité de blocage des nouveaux appels en fonction de trafic (Erlang)

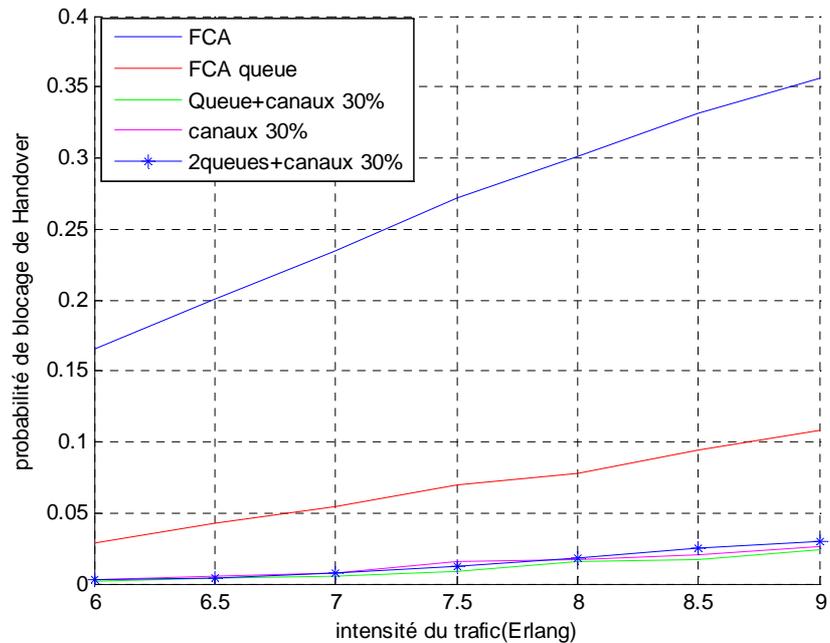


Figure IV.22 : La probabilité de blocage du Handover en fonction de trafic (Erlang)

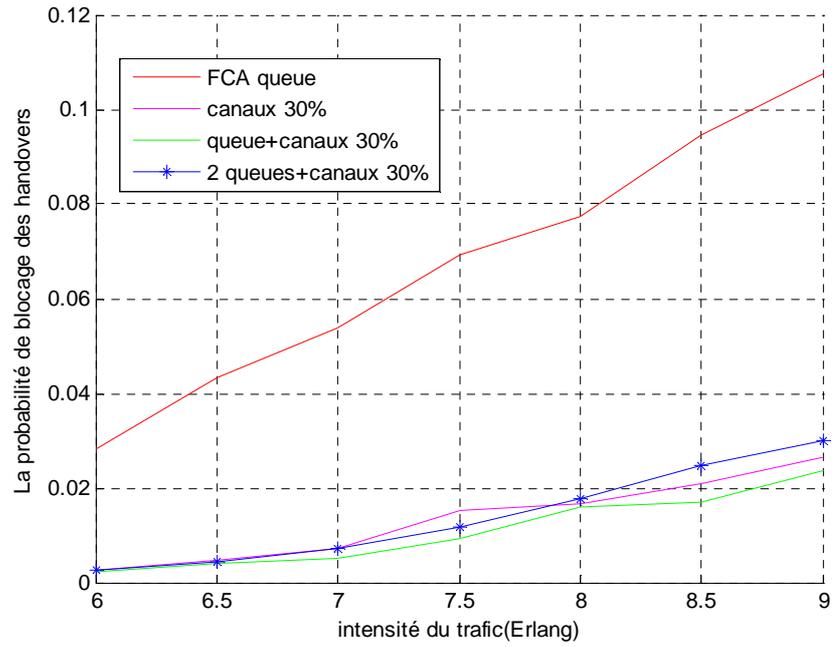


Figure IV.23 : la probabilité de blocage du Handover en fonction de trafic (Erlang)

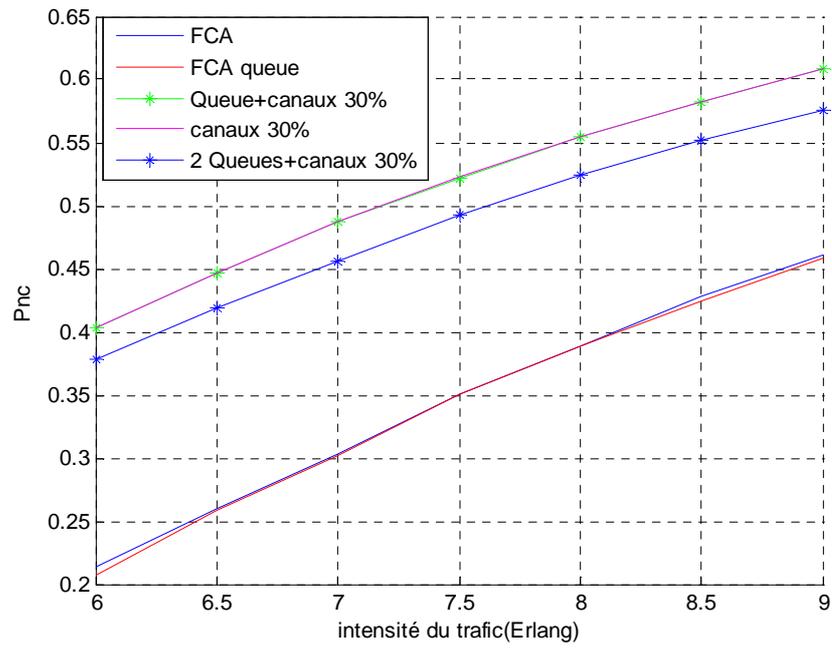


Figure IV.24 : La Pnc en fonction de trafic (Erlang)

D'après les résultats obtenus, la figure IV.21 et la figure IV.22 représentent la probabilité de blocage des nouveaux appels et la probabilité de blocage des Handovers en fonction de trafic pour les quatre techniques de stratégie de priorité du Handover et pour la stratégie de non priorité.

On remarque que les probabilités de blocages des nouveaux appels pour la technique de la réservation des canaux de gardes avec la priorité du Handover sont identiques. On considère que ces deux dernières techniques donnent les meilleures performances pour les nouveaux appels.

La figure IV.23 montre que la technique de mise en queue des requêtes du Handover et la réservation des canaux de gardes donne la meilleure performance pour la probabilité de blocage des Handovers.

La figure IV.24 représente la probabilité d'un appel incomplet  $P_{nc}$  en fonction du trafic pour les différentes techniques. On remarque que les  $P_{nc}$  pour la technique de la priorité du Handover et la réservation des canaux de gardes et pour la technique de la réservation des canaux de gardes sont identiques.

#### IV.7. Conclusion

Dans les systèmes LEO, les Handovers sont inévitables et ils se produisent principalement par la grande mobilité des satellites. Pour empêcher la dégradation et établir la qualité de service, un algorithme prioritaire qui favorise la requête de Handover doit être utilisé.

Les résultats obtenus au niveau de la probabilité de blocages des nouveaux appels et de la probabilité de blocage du Handover ainsi que de la probabilité d'un appel incomplet en fonction du trafic sont en accord avec ceux de la littérature [9, 10, 13, 14].

La réservation des canaux de gardes permet l'implémentation et la réduction de la probabilité de la terminaison forcée de l'appel par comparaison avec la stratégie de non

priorité. Cependant la probabilité de blocage des nouveaux appels par la réservation des canaux de gardes est plus grande que celle de la stratégie de non priorité. Donc la réservation des canaux de gardes est favorable lorsque la réduction de la terminaison forcée est plus importante que la réduction du blocage des nouveaux appels.

La priorité du Handover réduit la terminaison forcée de l'appel mais augmente la probabilité de blocage des nouveaux appels. Notons que cette technique dépend du temps de la présence du mobile dans la zone du Handover.

La même remarque pour les autres techniques qui réduisent la probabilité de blocage des nouveaux appels mais elles augmentent la probabilité de blocage du Handover.

On constate que la meilleure performance avec une faible dégradation de voix est assurée par la quatrième technique qui est la mise en queue des nouveaux appels et du Handover ainsi que la réservation des canaux de gardes.

L'étude de ces techniques aux niveau de FCA permettent de diminuer la probabilité de blocage du Handover aux dépens de la probabilité de blocage des nouveaux appels, cet inconvénient nous a conduit à étudier une autre technique pour diminuer la probabilité de blocage du Handover et la probabilité de blocage des nouveaux appels sans exception, cette technique est l'allocation dynamique des canaux DCA que nous allons étudier dans le cinquième chapitre.

# Chapitre V

## Chapitre V

L'allocation Dynamique des Canaux avec la Priorité du Handover

## V.1. Introduction

La majorité des travaux de recherche actuels sont orientés vers la possibilité d'améliorer les systèmes de télécommunication par satellite. Cette amélioration soulève plusieurs problèmes puisque chaque réseau a des caractéristiques différentes (bande passante, zone de couverture, puissance, norme, etc.). L'un des problèmes envisagés est également celui de la mise en œuvre d'un Handover sans couture et sans perte des données.

La procédure du Handover a été étudiée à partir de plusieurs points de vue : algorithmique, protocolaire, mécanismes, architecture, etc. Les intérêts des travaux prennent en compte plusieurs aspects :

- L'amélioration du Handover (Handover sans couture, réduire la perte de blocage, améliorer l'utilisation de réseau, etc.) et de la QoS (Quality of Service). Le développement du Handover pourrait alors être mis en œuvre aux différents niveaux de piles protocolaires, surtout au niveau réseau.
- La décision du Handover dans la mesure où on doit savoir quand et à quel niveau le Handover doit être déclenché. L'intérêt est donc de choisir le meilleur réseau selon des critères et des conditions qui permettent le déclenchement du Handover.
- La mobilité sans et avec considération de la localisation du terminal mobile.

Dans ce chapitre nous nous intéressons sur l'effet de la l'allocation dynamique des canaux avec la priorité du Handover (DCA technique), on l'utilise dans les systèmes de communication par satellite pour améliorer la qualité de service du système [42].

## V.2. Modèle de mobilité

Ce modèle est valable avec les propositions suivantes :

- Lorsqu'un Handover a lieu, la cellule de destination est la cellule adjacente dans la direction du mouvement du satellite. L'utilisateur traverse les cellules avec la vitesse  $-V_{\text{trk}}$

où  $V_{tk}$  est la vitesse du satellite. Notons bien que la vitesse de l'utilisateur est négligeable par rapport à la vitesse du satellite.

- A partir de l'établissement de l'appel, un utilisateur actif traverse une distance :
  - uniformément distribuée entre 0 et  $2R$  pour la cellule source (où l'appel est original)
  - $2R$  pour une cellule de transite successive à la cellule source. Ou  $R$  est le diamètre de cellule.
- La procédure du Handover est initiée lorsqu'un utilisateur avec un appel actif arrive à la limite d'une cellule adjacente.

La vitesse du mobile n'est pas variable. Elle est constante et est égale à  $V_{tk}$  (vitesse du satellite).

### V.3. Modèle de cellule

La « street of coverage » est un ensemble de cellules contiguës. Chaque cellule est modélisée par un hexagone. Le temps de traversée d'une cellule  $i$  est  $Tc(i)$  tels que :

$$Tc = T_{orb} \frac{L(i)}{2\pi R_e} \quad (\text{IV. 1})$$

Avec

$L(i)$  : La longueur autour du track de satellite.

$T_{orb}$  : La période d'orbite.

$R_e$  : Le rayon de la terre.

### V.4. Les techniques d'allocation des canaux

#### V.4.1. Allocation de type FCA

Un nombre de canaux est assigné en permanence à chaque cellule. Le même ensemble de canaux est assigné à une autre cellule à une distance  $D$ . La technique FCA implique que chaque appel est servi par un canal disponible appartenant à l'ensemble des canaux assignés à

la cellule. Si on n'a pas de canaux disponibles, l'appel est perdu. Le nombre de canaux assignés est  $S = M/K$  où  $M$  est le nombre de ressources et  $K$  le motif de réutilisation [5].

#### V.4.2. Allocation dynamique des canaux DCA

Pour résoudre le problème rencontré dans la technique *FCA* une nouvelle stratégie a été proposée : l'allocation dynamique de canal *DCA*. Elle est différente de la précédente de sorte que tous les canaux deviennent disponibles pour chaque cellule. Ainsi dans *DCA* tous les canaux sont regroupés dans un «*pool*» pour être attribués aux mobiles selon le besoin, à condition que le  $CIR_{min}$  (*Carrier /Interference* ou rapport porteuse/interférences) soit satisfait [9, 17, 18, 34].

Malgré la grande complexité d'implémentation de *DCA*, celle-ci présente une grande flexibilité et une meilleure adaptation au trafic (c'est à dire la distribution des canaux entre les cellules dans le cas de trafic non uniformes). Cependant, il faut signaler que cette technique est moins efficace que la *technique fixe* dans le cas où le trafic serait surchargé [9,13].

#### V.5. Les paramètres de simulation

Plusieurs simulations ont été faites pour évaluer la performance des différentes techniques de Handover. On suppose que les arrivées des mobiles dans une cellule forment un processus de Poisson avec une moyenne  $\lambda$ . L'arrivée des requêtes Handover forme un processus de poisson de moyenne  $\lambda_h$ .  $\lambda$  et  $\lambda_h$  sont reliés entre eux par la relation suivante [16] :

$$\lambda_h \approx \frac{\mu_{c-dwell}}{\mu_c} \lambda \quad (V.2)$$

Ou  $\mu_{c-dwell} = \mu_w = 1/t_{wmax}$  est le temps de séjour dans la file d'attente.

Dans notre étude on considère que la durée moyenne d'appel  $T_m = 3mn$  et le nombre des canaux  $S=20$  et la longueur de la file d'attente égale à 25,  $t_{wmax} = 0.096mn$ .

Les paramètres mesurés considérées sont :

- $P_b$  la probabilité de blocage des nouveaux appels.
- $P_h$  la probabilité d'échec de Handover.

## V.6. Les résultats de simulations

### V.6.1. La technique DCA sans priorité

La technique DCA sans priorité est illustrée par l'organigramme suivant :

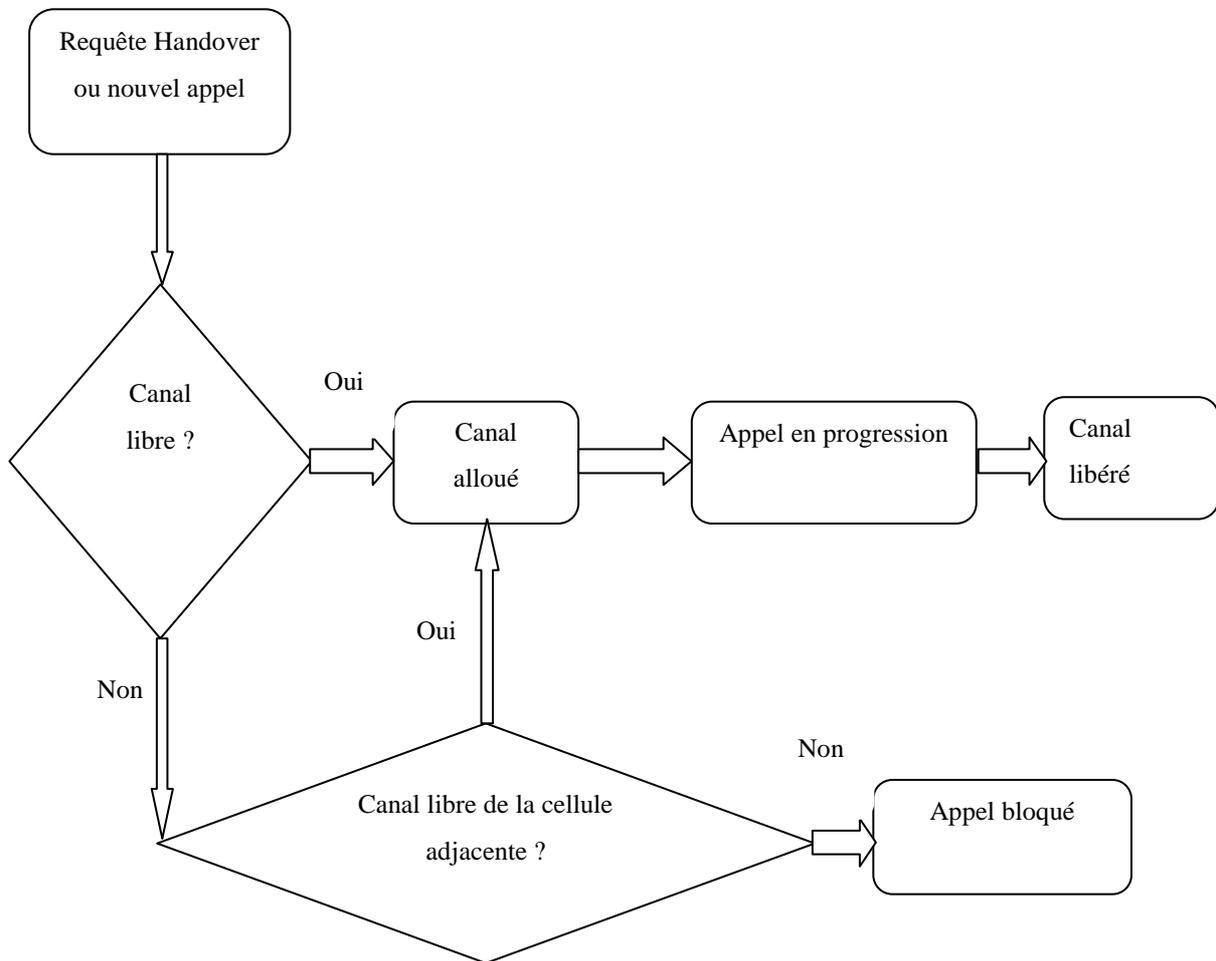
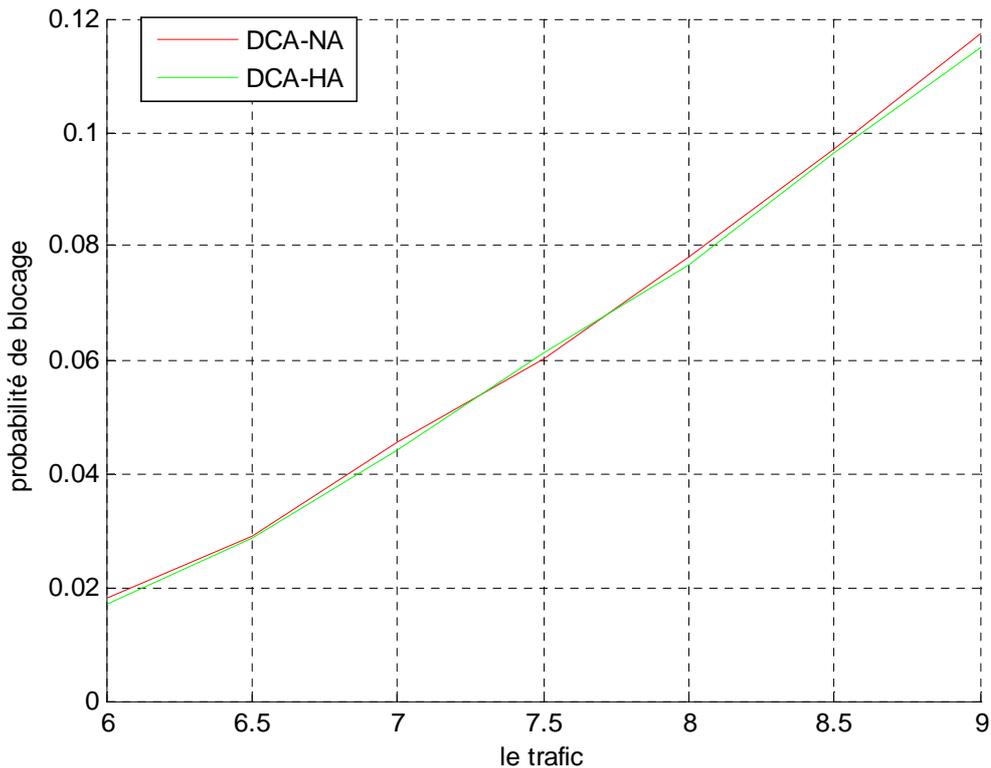


Figure V.1: L'organigramme de la technique DCA sans priorité

La figure V.2 représente la probabilité de blocage des nouveaux appels et du Handover en fonction du trafic (Erlang) pour la technique DCA.

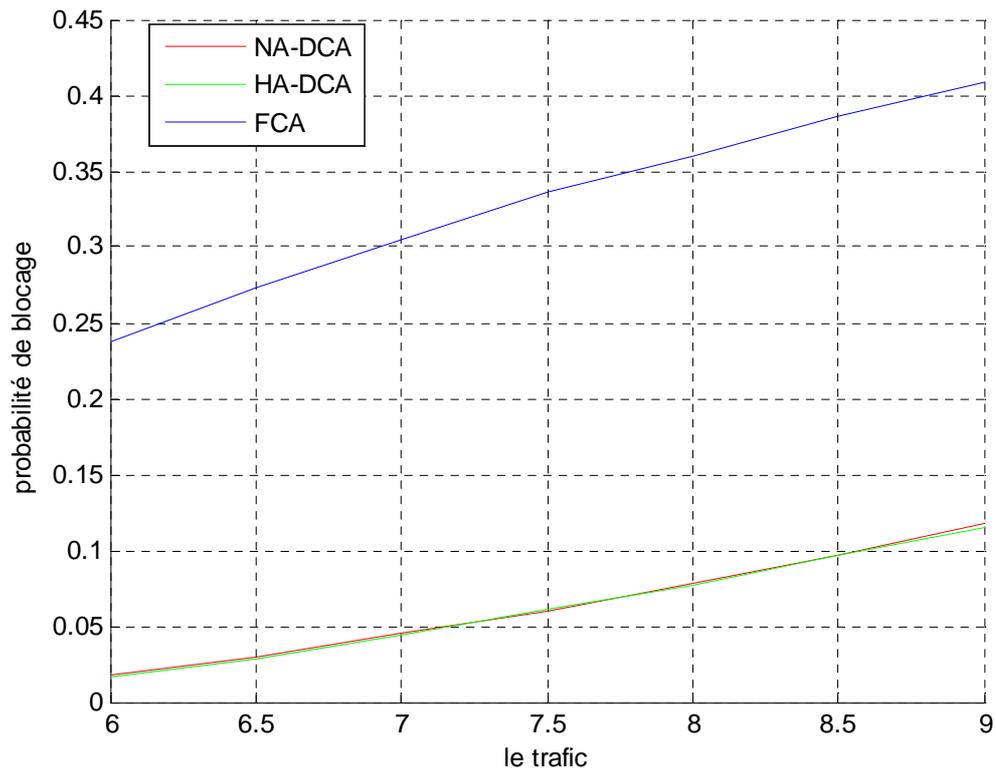
Les courbes obtenues montrent que la probabilité de blocage des nouveaux appels est égale à la probabilité de blocage du Handover parce que les nouveaux appels sont traités de la même manière que les appels des Handovers.



**Figure V.2 : La technique DCA sans priorité du Handover**

La figure V.3 représente la probabilité de blocage du Handover et des nouveaux appels pour les deux techniques FCA et DCA sans priorité.

On remarque que la technique DCA diminue la probabilité de blocage des nouveaux appels et des Handovers si on les compare avec la technique FCA.



**Figure V.3 : Comparaison entre la technique FCA et la technique DCA  
sans priorité du Handover**

**V.6.2. La technique DCA avec priorité du Handover**

Cet organigramme représente la technique DCA avec priorité du Handover.

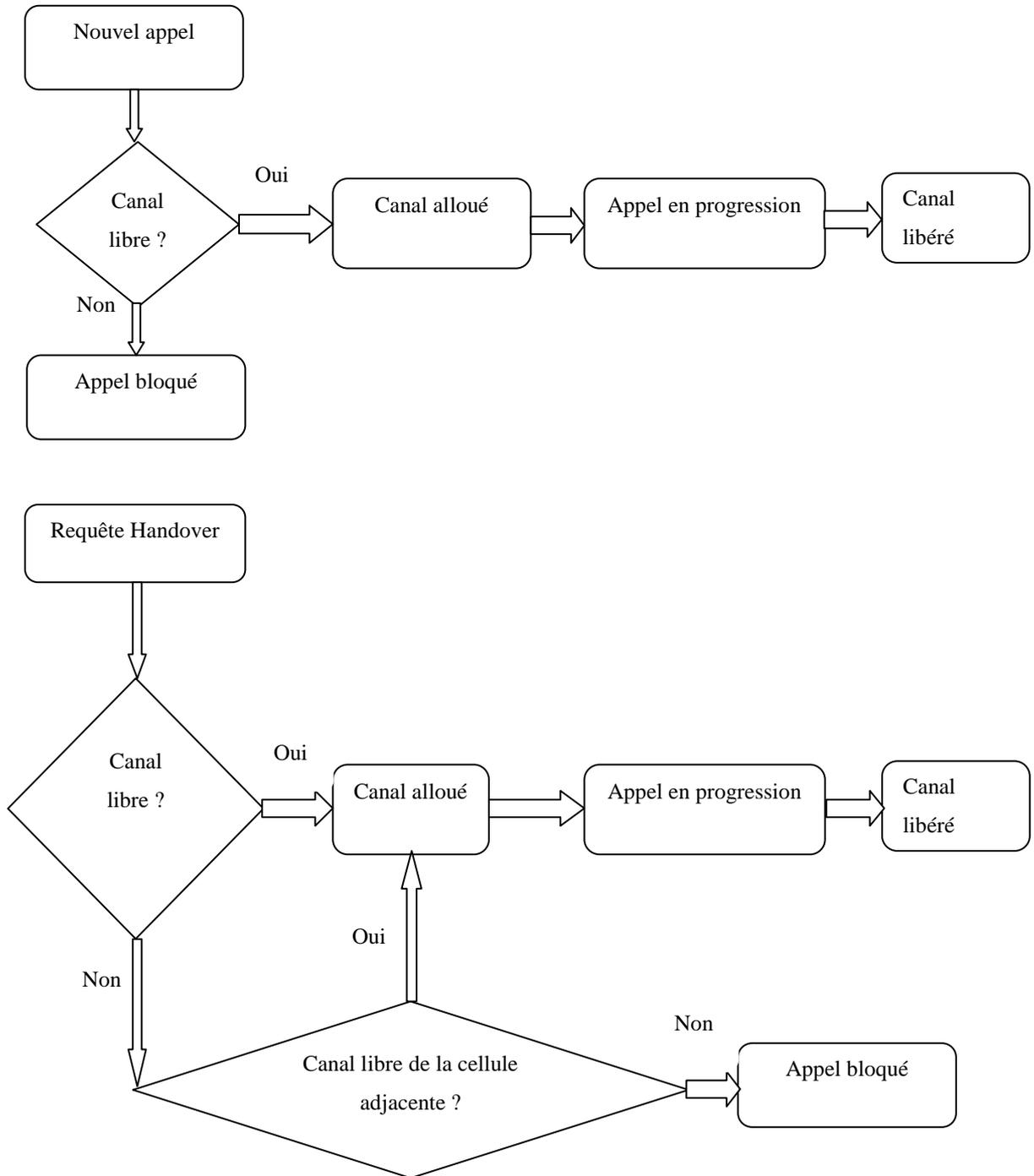
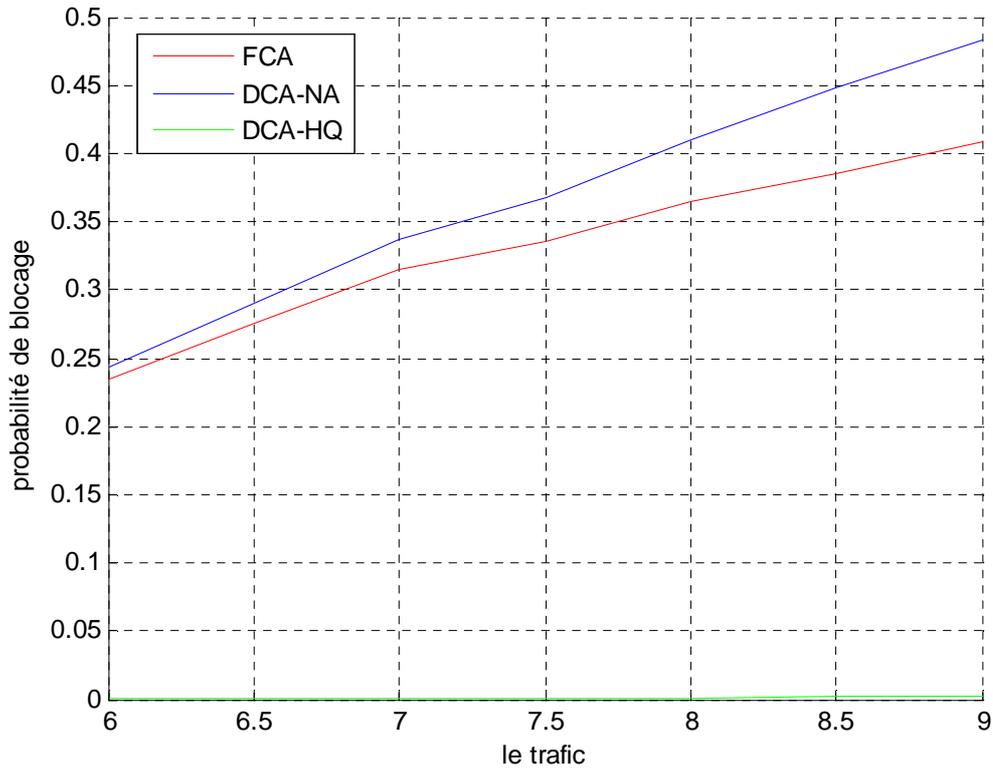


Figure V.4 : L'organigramme de la technique DCA avec priorité du Handover.

La figure V.5 représente la probabilité de blocage des nouveaux appels et du Handover en fonction du trafic pour les deux techniques FCA et DCA avec la priorité du Handover.

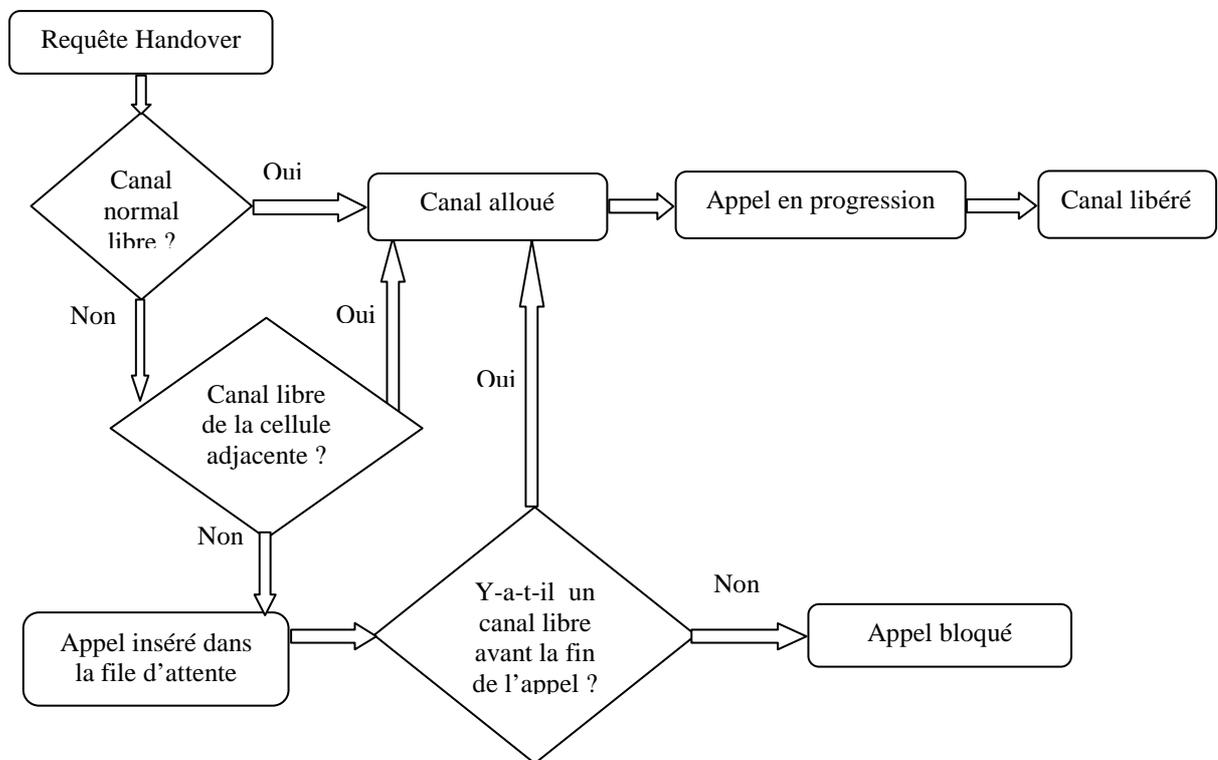
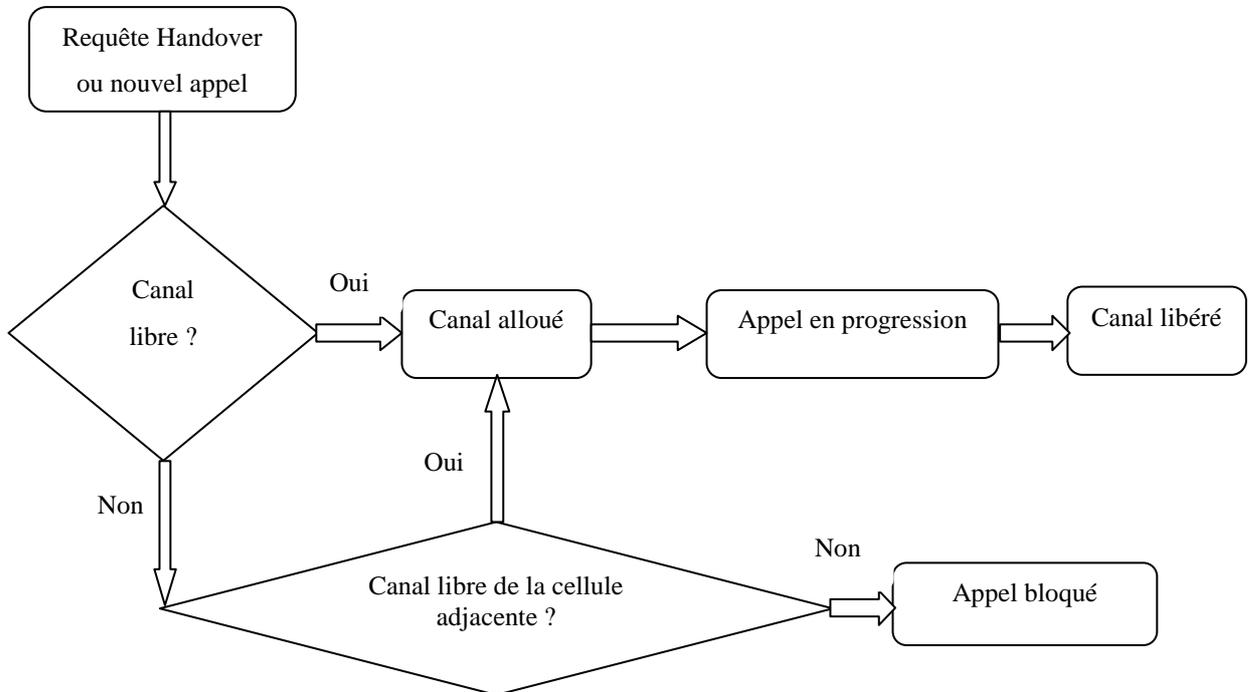
La technique DCA avec priorité du Handover diminue sa probabilité de blocage et augmente la probabilité de blocage des nouveaux appels si on la compare avec FCA.



**Figure V.5 : La probabilité de blocage des nouveaux appels et du Handover en fonction de trafic (Erlang) pour les techniques FCA et DCA avec priorité**

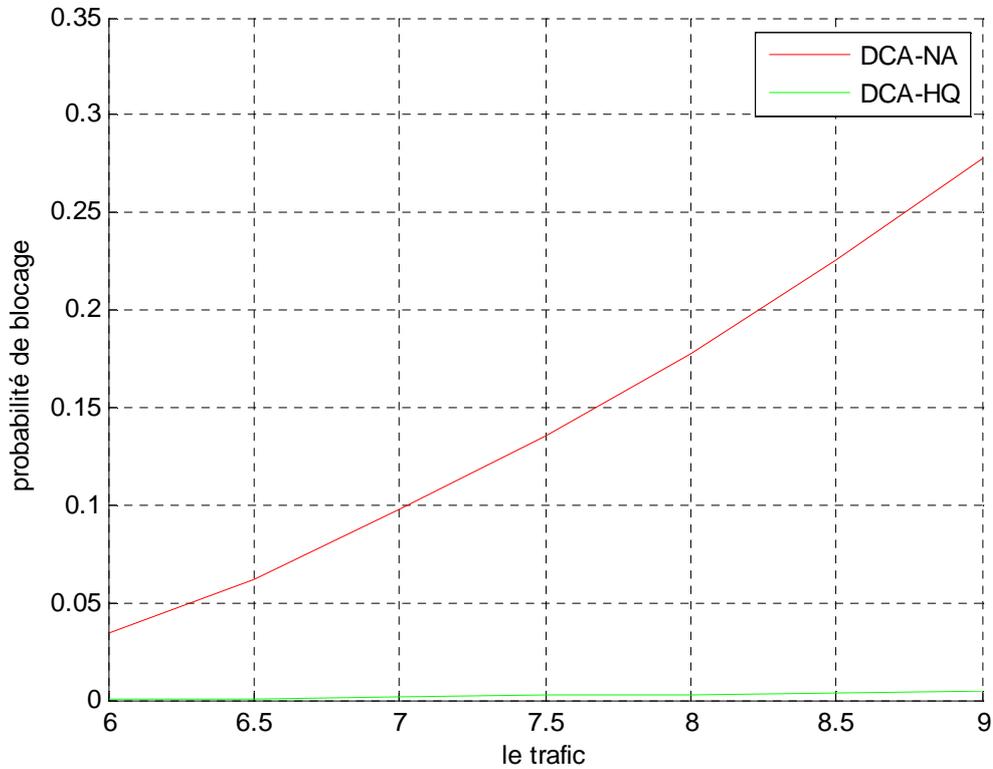
**V.6.3. La technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover**

Cet organigramme représente la technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover.



**Figure V.6: L'organigramme de la technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover.**

La figure V.7 représente la probabilité de blocage des nouveaux appels et des Handover en fonction du trafic pour la technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover.



**Figure V.7 : La technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover**

On constate que la probabilité de blocage du Handover diminue lorsqu'on utilise la technique de l'allocation dynamique des canaux avec une file d'attente pour les requêtes des Handovers.

La figure V.8 représente la comparaison entre la technique FCA et la technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover en fonction du trafic (Erlang).

La figure V.9 représente la comparaison entre la technique FCA et la technique DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover et DCA sans priorité du Handover en fonction du trafic (Erlang). On constate que la technique DCA avec la mise en queue des requêtes de Handover donne la meilleure performance pour la probabilité de blocage des Handovers.

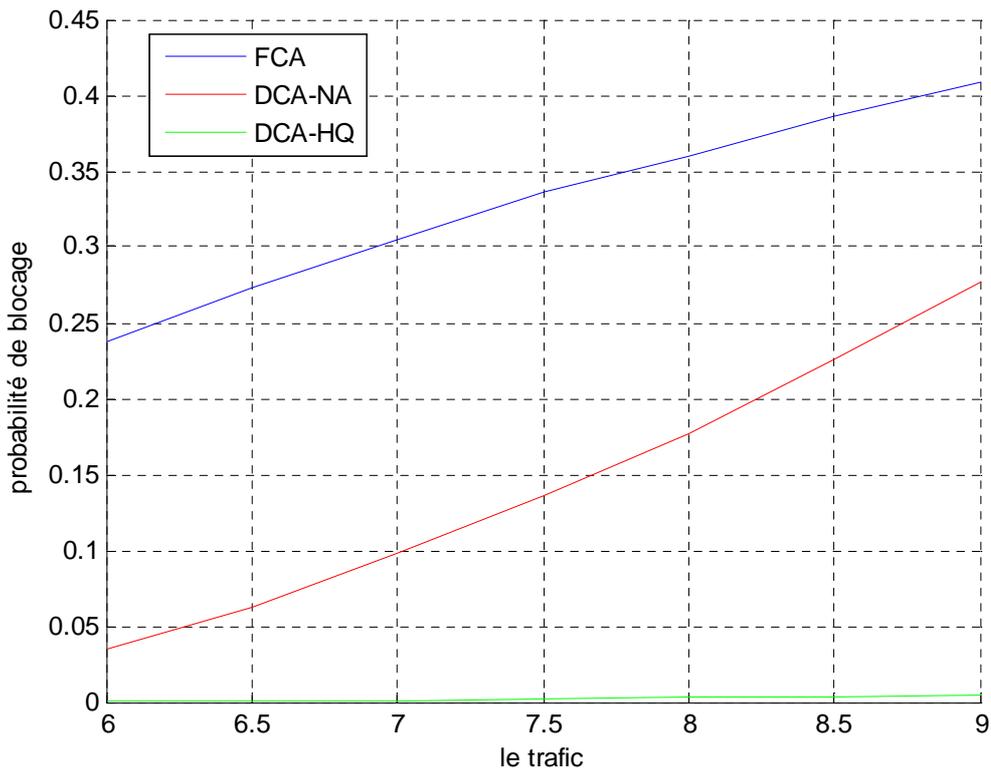


Figure V.8 : Comparaison entre la technique FCA et la technique DCA avec la mise en attente les requêtes des Handovers

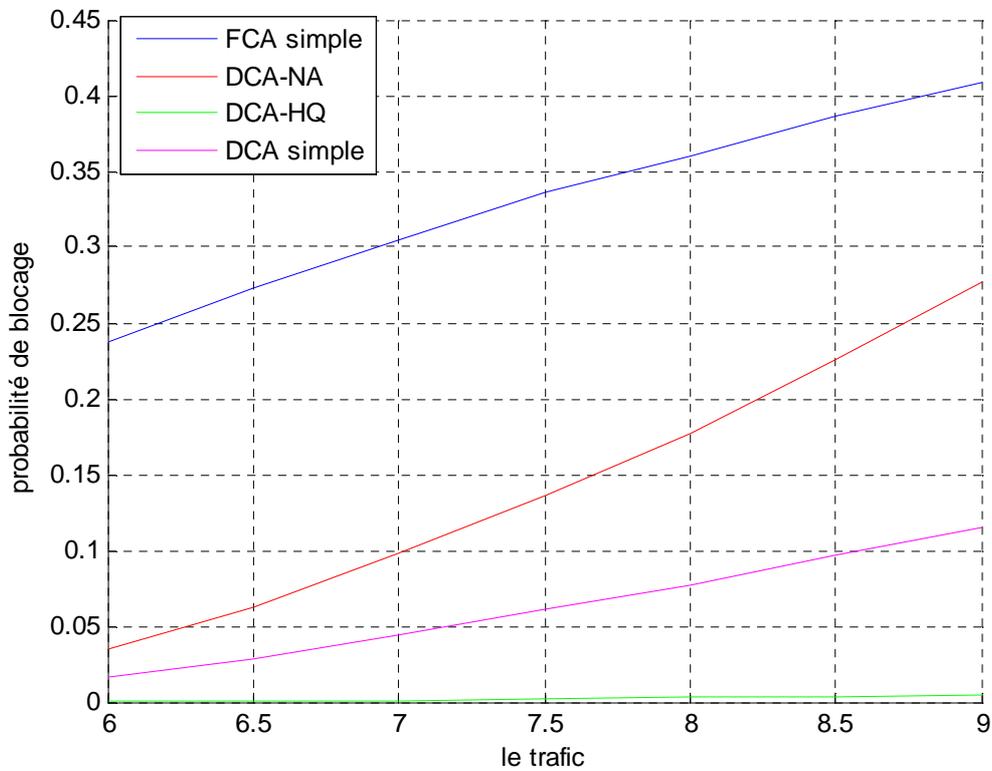


Figure V.9 : Comparaison entre les trois techniques FCA, DCA sans priorité et DCA avec la mise en attente les requêtes du Handover.

## V.7. Conclusion

Dans ce chapitre, les performances de la technique d'allocation ont été calculées par simulation. En particulier, nous avons examiné l'ensemble du réseau en forme de parallélogramme cellulaire avec N cellules de chaque côté et les résultats indiqués dans les graphiques ont été rassemblés seulement dans les cellules centrales avec une cellule complète perturbateur dans le réseau. Dans les simulations précédentes, nous avons choisi N=2.

Les résultats obtenus au niveau de la probabilité de blocage du Handover et de la probabilité de blocage des nouveaux appels en fonction du trafic dans le cas de la technique DCA (sans priorité) sont similaires à ceux de la littérature [9, 18].

La performance des techniques FCA et DCA est représentée sur les figures précédentes en termes de  $P_b$  et  $P_h$  pour les requêtes des Handovers sans et avec une file d'attente. Notons qu'au moyen de DCA, si les Handovers ne sont pas en file d'attente, ils ont la même priorité de service que celle des nouveaux arrivants ; par conséquent,  $P_b = P_h$ , et *la figure V.2* montre une courbe unique pour DCA. La mise en queue des requêtes des Handovers entraîne une diminution considérable de  $P_h$  et une augmentation de  $P_b$ . L'établissement de la priorité de Handover conduit à des valeurs de blocage plus élevées pour les nouveaux appels.

La simulation de la technique DCA avec la mise en queue des requêtes des Handovers montre que la mise en attente des appels des Handovers diminue sa probabilité de blocage si on la compare avec les techniques DCA (sans priorité) et FCA.

# Conclusion Générale

## **Conclusion générale**

**D**ans le paysage des télécommunications, les services mobiles voient leur importance grandir sans cesse. Les systèmes mobiles sous toutes les formes sont en pleine mutation : systèmes cellulaires, radiomessagerie, radiocommunication professionnelle, transmission de données sans fil et systèmes par satellites.

Le taux de pénétration des services de communications personnelles (PCS) est en croissance rapide compte tenu de prix bon marché de ces services. Parallèlement, les réseaux haut débit ont fait leur apparition dans les systèmes de communications personnels où les applications multimédias seront diffusées aux utilisateurs via le lien radio. Ces défis ont poussé les scientifiques et les opérateurs à la recherche des méthodes efficaces pour l'extension de la capacité des systèmes mobiles. Toutefois, la capacité du réseau sans fil est freinée par la mauvaise qualité de transmission sur le support radio d'une part, et par une étroite bande passante dévolue au système mobile d'autre part.

La plupart des méthodes utilisées pour l'extension de la capacité des réseaux cellulaires se basent sur la diminution de la taille des zones de couvertures, l'allocation de nouvelles bandes de fréquences, l'introduction de nouvelles architectures d'accès multiples et l'évaluation des schémas d'allocation dynamique de ressources. C'est sur ce dernier écueil que s'est portée plus particulièrement notre attention.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux réseaux satellitaires dans les constellations de satellites à orbite basse assurant la communication mobile. L'étude de ces systèmes nous a conduits à étudier les problèmes et évaluer les performances des constellations considérées. Le problème que nous avons traité dans ce travail est le problème du Handover (transfert automatique intercellulaire).

La performance des systèmes par satellite a été étudiée par plusieurs auteurs pour évaluer les probabilités de blocage d'appels, et se concentré sur l'instauration des méthodes pour l'amélioration des performances des appels durant les Handovers.

Le blocage des appels dû aux Handovers peut sévèrement diminuer la fiabilité du système. Une autre mesure de performance d'intérêt est la probabilité de blocage des nouveaux appels. Un nouvel appel va être bloqué s'il n'y aura pas de capacité suffisante pour le porter. L'augmentation du blocage d'un nouvel appel, diminue le rejet du système. D'habitude il existe un échange entre le blocage des nouveaux appels et le blocage des appels du Handover. Du point de vue qualité de service, il est habituellement préférable de diminuer le blocage d'appel du Handover sans diminuer radicalement le blocage des nouveaux appels.

Dans ce contexte, nous avons présenté les modèles analytiques pour le calcul de probabilité de blocage des nouveaux appels et la probabilité de blocage du Handover.

Le développement de la stratégie *FCA* et ses différents algorithmes effectués au quatrième chapitre, nous ont permis de nous initier aux problèmes dus à la technique d'allocation fixe des canaux. L'avantage essentiel de la technique *FCA* réside dans la simplicité de son implémentation dans les réseaux mobiles et son inconvénient est lié à sa mauvaise adaptation aux différentes variations du trafic. Celles-ci étant un phénomène majeur. La littérature a proposé plusieurs techniques d'amélioration de la stratégie *FCA* simple. Parmi ses propositions, l'allocation dynamique des canaux *DCA*.

Dans la méthode *FCA* et en fonction de nos résultats, une comparaison des performances entre les différentes stratégies a été évaluée. La réduction de la probabilité de blocage de Handover a été obtenue au niveau des canaux réservés exclusivement pour servir les requêtes du Handover. Cela nous a menés à une augmentation de la probabilité de blocage des nouveaux appels et une dégradation sévère du Pnc. Le système fonctionne mal si une

technique non prioritaire est utilisée. Si la charge du trafic augmente, plusieurs appels seront rejetés et cet effet est considérable quand le nombre des canaux alloués pour servir les requêtes de Handover est très élevé.

La mise en queue des requêtes de Handover conduit à une réduction de  $P_h$  si on la compare avec la technique de non priorité ; le  $P_{nc}$  offre les valeurs minimales comparativement aux autres systèmes étudiés en obtenant ainsi une augmentation de la capacité du système. L'augmentation observée dans la probabilité de blocage de nouveaux appels est moins que celle dans la technique des canaux de garde car dans ce cas il n'y a pas de canaux réservés pour servir les requêtes de Handover.

Notre contribution a fait l'objet de comparaisons entre le comportement du schéma FCA et quelques schémas DCA. L'étude de ces différents mécanismes a été effectuée sous des conditions communes telles que la structure des cellules, le nombre de canaux, l'intensité et le modèle de trafic dans chaque cellule. Les schémas DCA ont révélé une amélioration significative par rapport aux performances de la technique FCA, à savoir, une baisse des probabilités de blocage à la fois pour les nouveaux appels et pour les transferts intercellulaires.

En général, il y a un compromis entre la qualité de service, la complexité d'implémentation des algorithmes d'allocation, et l'utilisation efficace du spectre de fréquences. Bien que plusieurs prétentions aient été effectuées pour aboutir à un tel compromis, plusieurs questions restent sans réponses : Quels sont les compromis de bases ? Quel avantage pour un échange additionnel d'informations entre les stations de base avoisinantes ? Quelle est la meilleure utilisation de la bande passante ?

Mises en perspectives, ces questions peuvent définir de nouvelles pistes à exploiter. De plus, les schémas d'allocation que nous venons d'étudier ne tiennent pas compte du type de trafic écoulé. Il est donc pertinent d'étudier le comportement de ces schémas pour des classes

de trafic de types “**voix, données et vidéo**”. Ceci jouera un rôle important dans l'implantation des applications multimédias dans les réseaux mobiles.

# Références

## Références bibliographiques

- [1] G. Maral and J. J. De Ridder, “Basic concepts of low earth orbit satellite systems for communications”, *Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*, Paris-Toulouse 91.
- [2] R. J. Leopold and A. Miller, “The IRIDIUM communications system,” *IEEE Potentials*, vol. 12, pp. 6–9, Apr. 1993.
- [3] N. Adeline and L. Hugo, “Télécommunications par satellite”, [http://membres.lycos.fr/adelineneveu/travaux/dos\\_tec\\_ima2/Telecomparsatellite](http://membres.lycos.fr/adelineneveu/travaux/dos_tec_ima2/Telecomparsatellite). Mai 2001.
- [4] N. Hedjazi, M. Garah, M. Ouacifi, R. Bouchouareb, M. Ouarghi and D. Benatia, “The Handover In The Constellation Of Satellites In Low Orbite”, *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 41, pp. 39-48, April, 2012.
- [5] V. Santos, R. Silva, M. Dinis, and J. Neves, “Performance evaluation of channel assignment strategies and Handover policies for satellite mobile networks”, *Fourth IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, Tokyo, pp. 86-90, Nov. 1995.
- [6] A. L. Beylot, S. Boumerdassi, and G. hJolle, “A new prioritized handoff strategy using channel reservation in wireless PCN”, *IEEE, Global Telecommunications Conferenc, GLOBECOM, The Bridge to Global Integration*, France, vol. 3, pp. 1390- 1395. 1998.
- [7] Y. Jiang, and V. K. Bhargava, “Mobility-oriented guard channel assignment for personal communication systems”, *IEEE International Conference on Personal Wireless Communications*, Canada, Vol., Issue, pp. 15-18, 1997.

- [8] M. D. Kulavaratharajah and A. H. Aghvami, “Teletraffic performance evaluation of microcellular personal communication networks (PCN’s) with prioritized handoff procedures”, *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 48, pp. 137-152, no. 1, January 1999.
- [9] A. E. Khafa and O. K. Tonguz, “Dynamic priority queuing of Handover calls in wireless networks: An analytical framework”, *IEEE journal on selected areas in communications*, vol. 22, pp. 904-916, no. 5, June 2004.
- [10] P. Boedhihartono and G. Maral, “Evaluation of the guaranteed Handover algorithm in satellite constellations requiring mutual visibility”, *International Journal of Satellite Communications and Networking Int. J. Satell. Commun. Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications (ENST/TeSA)*, John Wiley & Sons, Ltd. France 2003.
- [11] M. Ruggieri, D. Giancristofaro, F. Graziosi, and K. Santucci, “an optimizable guardchannel-based Handover procedure for mobile microcellular systems”, *Sixth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC'95, 'Wireless: Merging onto the Information Superhighway'*, Toronto, vol. 3, pp. 1357-1361, 1995.
- [12] R. Steele and M. Nofal, “Teletraffic performance of microcellular personal communication networks”, *IEEE Proc. I*, vol. 139, no. 4, Aug. 1992.
- [13] H. Xie and S. Kuek, “Priority handoff analysis”, *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 1, pp. 141–148, 1994.
- [14] Q. A. Zeng, K. Mukumoto and A. Fukuda, “Performance analysis of mobile cellular radio systems with two-level priority reservation handoff procedure”, *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 4, pp. 598–604, April 1997.

- [15] N. Efthymiou, Y.F. Hu, A. Properzi and R.E. Sheriff, “Inter-segment Handover algorithm for an integrated terrestrial/satellite-UMTS environment”, *9th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, pp. 993–998, Sep. 8–11, Boston, 1998.
- [16] N. Efthymiou, Y.F. Hu and R.E. Sheriff, “Performance of intersegment Handover protocols in an integrated space/terrestrial UMTS environment”, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 47 (4), pp. 1179–1199, Nov. 1998.
- [17] L. O. Guerrero and A. H. Aghvami, “prioritized handoff dynamic channel allocation strategy for PCS”, *IEEE Trans. Vehicular A Technology*, vol 48, no. 4, pp. 1203- 1215, July 1999.
- [18] E. D. Re, R. Fantacci, and G. Giambene, “Efficient dynamic channel allocation techniques with Handover queing for mobile satellite networks”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol 13, pp. 397-405, no 2, Feb. 1995.
- [19] M. Garah and D. Benatia,” Handover prioritizing scheme for reducing call failure probability in cellular wireless network”, *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol.9 , pp. 1660-1667, 2009.
- [20] N. Hedjazi, “Optimisation du problème du Handover dans les constellations de satellites en orbites basses”, *Thèse de Magister, Université de Batna*, 2009.
- [21] R. Picholtz, “Communications by means of low earth orbiting satellites”, <http://www.seas.gwu.edu/faculty/pickholt>.
- [22] P. Couderc, “Le satellite artificiel”, *L’astronomie*, vol.71, pp. 431, 1957.
- [23] W.CY. Lee, “Mobile Cellular Telecommunications Systems“, *Mc Graw Hill édition* 1989.

- [24] J. Wilson, "Satellite communications", *Telecommunication Journal of Australia* Y, vol. 35, No. 2, pages 9-18, 1985.
- [25] B. W. Parkinson, T. Stansell, R. Beard and K. Gromov, "A history of satellite navigation", *Institute of Navigation, Manassas, VA, ETATS-UNIS*, vol. 42, n°1, pp. 109-164, 1995.
- [26] M. Garah, "Modélisation d'un système de couverture à base d'une constellation de satellites étude du problème de Handover", *Thèse de Magister, Université de Batna*, 2004.
- [27] G. P. Pollini, Trends in handover design, *IEEE Commun. Magazine*, pp. 82–90, March 1996.
- [28] Q. A. Zeng and D. P. Agrawal, "Handoff in wireless mobile networks", *Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Cincinnati, Edited by Ivan Stojmenovic, John Wiley & Sons, Inc*, 2002.
- [29] D. Bear, "Principles of telecommunication traffic engineering", *Institution of Engineering and Technology, 2Rev Ed edition IEEE Series 2, Revised 3rd Edition*, 1988.
- [30] S. A. El-Dolil, W. C. Wong, and R. Steele, "Teletraffic performance of highway microcells with overlay macrocell", *IEEE J. Select. Areas in Commun*, vol. 7, no. 1, pp. 71–78, Jan. 1989.
- [31] S. Tekinay and B. Jabbari, "A measured-based prioritization scheme for Handovers in mobile cellular networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 10, no. 8, pp. 1343-1350, Oct. 1992.

- [32] Y. B. Lm, S. Mohan, and A. Noerpel, “PCS channel assignment strategies for handoff and initial access”, *IEEE Personal Communications*, vol. 1, no. 3, pp. 47-56, Third Quarter, 1994.
- [33] D. Hong and S. Rappaport, “Traffic model and performance analysis for cellular mobile radiotelephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures”, *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-35, no. 3, pp. 448–461, Aug. 1986.
- [34] E. D. Re, R. Fantacci, and G. Giambene, “Handover and dynamic channel allocation techniques in mobile cellular networks”, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 44, no. 2, pp. 229-237, May 1995.
- [35] N. D. Tripathi, J. H. Reed, and H. F. Vanlandingham, “Handoff in Cellular Systems,” *IEEE Personal Commun.*, December 1998.
- [36] M. Gudmundson, “Analysis of Handover algorithms”, *IEEE Proc. VTC '91*, pp. 537–542, May 1991.
- [37] V. Kapoor, G. Edwards, and R. Snkar, “Handoff criteria for personal communication networks”, *IEEE Proc. ICC '94*, vol. 3, pp. 1297–1301, May 1994.
- [38] H. Michiel, K. Laevens, “Teletraffic engineering in a broad-band era”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, no. 12, pp. 2007-2033, Dec. 1997.
- [39] R. Risuefio, F. Delicado, P. Cuenca, A. Garrido, and L. O. Barbosa, “Performance evaluation of Handover mechanisms in wireless network”, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, IEEE CCECE*, vol. 2, pp. 897-900, May 2003.
- [40] M. Terré, “ Chaîne de Markov, Télétrafic, Files d'attente”, *CNAM, Introduction aux télécommunications Version 5. Electronique ELE111*.

- [41] A. Challe and J.J. Laclaverie, “Disturbing Function and Analytical Solution of the Problem of the Motion of a Satellite”, *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 3, pp. 15, 1969.
- [42] L. Tian, J. Li, Y. Huang, J. Shi and J. Zhou, "Seamless Dual-Link Handover Scheme in Broadband Wireless Communication Systems for High-Speed Rail," *Selected Areas in Communications*, vol. 3, pp. 708-718, 2012.
- [43] S. Fu, L. Ma, M. Atiquzzaman, and Y. Lee, “Architecture and performance of SIGMA: A seamless handover scheme for data networks,” *IEEE ICC, Seoul, South Korea*, pp. 3249–3253, 16-20 May 2005.
- [44] M. Leo and M. Luglio, “Intersegment handover between terrestrial and satellite segments: analysis and performance evaluation through simulation,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 50, no. 3, pp. 750–766, May 2001.

## ***Abstract***

*The Handover is one of the key subjects in maintaining the quality of service offered by non-geostationary constellation systems. As the satellite coverage moves according to the satellite motion, the continuity of a call must be maintained from one satellite to another. In case of the Handover fails, the call is dropped, resulting in a quality degradation of service.*

*In this thesis, the performance of several channel assignment strategies for a LEO satellite constellation is evaluated. The FCA and DCA methods are considered where its advantages and disadvantages are highlighted. Moreover, the Handover process implication in the call blocking probability is assessed via simulation. Strategies able to cope with the high number of Handovers, due to the high speed of the satellites, without affecting strongly the capacity of the system are investigated. Simulation models have been developed to implement all the features evaluated in this paper including the mobility model. An analytical description and interpretation of results are also presented.*

## ***Résumé***

*Le Handover est l'un des principaux sujets dans le maintien de la qualité des services offerts par les systèmes de constellation non-géostationnaires. Comme la couverture de la terre se fait selon le mouvement du satellite, la continuité d'un appel doit être maintenue d'un satellite à un autre. Dans le cas où le Handover échoue, l'appel est abandonné, ce qui provoque une dégradation de la qualité de service.*

*Dans cette thèse, la performance de plusieurs stratégies pour une constellation de satellites LEO est évaluée. Les méthodes FCA et DCA considérées dont ses avantages et ses inconvénients sont mise en évidence. En outre, la probabilité de blocage des appels est évaluée par la simulation.*

*Nous avons examiné des stratégies capables de gérer un nombre élevé des Handovers, due à la grande vitesse des satellites, sans affecter la capacité du système. Les modèles de simulations ont été développés pour mettre en application tous les éléments évalués dans cette thèse, y compris le modèle de mobilité. La description et l'interprétation des résultats sont également présentées.*

## ملخص

الهندوفر او التحويل هو واحد من القضايا الرئيسية في الحفاظ على جودة الخدمات التي تقدمها كوكبة من الاقمار الصناعية الغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض. وبما ان تغطية الكرة الارضية لا تتم إلا بحركة الاقمار الصناعية،فانه يجب الحفاظ على استمرارية مكالمة من قمر واحد إلى آخر. في حال فشل عملية التحويل يتم انقطاع المكالمة مما يسبب في تدهور جودة الخدمة.

و في هذه الاطروحة تم تقييم عدة استراتيجيات في اطار كوكبة من الاقمار الصناعية ذات مدار منخفض , و قد تم

دراسة الطريقتين *FCA* و *DCA* اضافة الى ذلك قمنا بدراسة احتمال انقطاع المكالمات باستعمال *similink*.

و قد درسنا استراتيجيات قادرة على التعامل مع عدد كبير من عمليات التحويل (الهندوفر)، الناتجة عن السرعة

العالية للأقمار الصناعية دون التأثير على قدرة النظام.

