

**UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI
BOUMEDIENE (USTHB)**



**FACULTE D'ELECTRONIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT INFORMATIQUE**

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du grade de :

MAGISTER

Filière : Informatique

Option : Informatique Mobile

Par :

Mr. SELAMNIA Redha

Sujet :

Amélioration de la QoS dans les réseaux mobiles cellulaires en
utilisant les canaux de courte durée

Soutenu publiquement, le 14/07/2013 devant le jury composé de :

Mr. AISSANI Amar	Prof à l'USTHB	Président
Mme. GHARBI Nawel	MC. A à l'USTHB	Directrice de mémoire
Mr. BOUKALA M. Cherif	MC. A à l'USTHB	Examineur
Mr. ZERAOULIA Khaled	MA. A à l'USTHB	Membre invité

Résumé

Le contrôle d'admission dans les réseaux mobiles cellulaires, a comme principal objectif la diminution du blocage des appels handoff. Pour cela, différentes techniques ont été proposées dans la littérature telle que la réservation d'un nombre de canaux gardiens dans la cellule, la réservation avec mise en attente des nouveaux appels, la réservation avec mise en attente des appels handoff, la généralisation de la réservation, etc.

Cependant, de telles techniques ne tiennent pas compte du trafic qui peut exister dans une cellule, ce qui engendre l'augmentation du blocage des nouveaux appels, l'augmentation du nombre de tentatives par appel ainsi que la perte d'un pourcentage important du trafic offert dans la même cellule.

Partant de ce constat, nous proposons de réserver un canal de courte durée, pour favoriser les communications de ce type (comme les appels SOS par exemple). Cette solution prend en considération les appels répétés des appels bloqués d'une part, et repose d'autre part sur le comportement du client pour accepter ou refuser d'établir une communication sur un canal de courte durée. Ainsi, notre solution donne la priorité au « short-job-first », ce qui diminue le blocage de nouvelles communications, ainsi que le nombre de tentatives par appel.

Dans ce mémoire, nous modélisons et analysons les performances de l'approche proposée, en nous basant sur le modèle des files d'attente avec rappel.

Mots clés : Réseaux mobiles cellulaires, Mécanisme de contrôle d'admission, Phénomène de rappel, Analyse des performances, Files d'attente avec rappel.

Tables des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1: Généralité sur les réseaux mobiles cellulaires	
1. Introduction	4
2. Notions de bases	4
2.1 Le concept cellulaire	4
2.2 Les méthodes d'accès	5
Le FDMA	5
Le TDMA	6
Le CDMA	6
L'OFDMA	7
2.3 Méthodes de distribution des canaux	7
FCA	8
DCA	8
HCA	8
2.4 Mécanisme de handover	9
Handover dur	9
Seamless Handover	10
Handover doux	10
3. Evolution des réseaux mobiles cellulaires	11
GSM	11
GPRS	15
UMTS	18
LTE	22
4. QoS dans les réseaux mobiles cellulaires	24
5. Conclusion	25

Chapitre 2: Les files d'attente avec rappel

1. Introduction.....	26
2. Notions de bases.....	26
2.1 Variable aléatoire.....	26
2.2 Variable aléatoire stochastique.....	27
2.3 Chaîne de Markov à temps discret.....	27
Description d'une CMTD.....	28
Propriétés d'une CMTD.....	28
2.4 Chaîne de Markov à temps continu.....	30
2.5 Processus stochastiques markoviens en temps continu.....	32
Le processus exponentiel.....	32
Le processus de poisson.....	32
Processus de naissance et de mort.....	33
3. Les files d'attente.....	35
4. Les files d'attente avec rappel.....	36
5. Conclusion.....	40

Chapitre 3: Mécanismes de contrôle d'admission dans les réseaux mobiles cellulaires

1. Introduction.....	41
2. Mécanismes de contrôle sans prendre en compte le phénomène de rappel.....	42
2.1 Réserve de canaux gardiens (CG).....	42
2.2 Réserve de canaux gardiens fractionnés (CGF).....	43
2.3 Mise en attente de nouveaux appels.....	45
2.4 Mise en attente d'appels handoff.....	45
2.5 Généralisation de la réserve.....	47
2.6 Recouvrement des cellules.....	47
2.7 Réserve par apprentissage.....	47

2.8 Restructuration des cellules.....	48
2.9 Subdivision de canaux.....	48
3. Mécanismes de contrôle avec la prise en compte du rappel.....	48
3.1 Réserveation de canaux avec la prise en compte du rappel.....	48
3.2 Réserveation de canaux avec la prise en compte le rappel des différents appels.....	52
3.3 Mise en attente d'appels handoff avec la prise en compte du rappel.....	57
3.4 Réserveation de canaux avec le rappel d'appels ordinaires, et le rappel automatique d'appels handoff	63
4. Conclusion.....	65
 Chapitre 3: Proposition et étude des performances d'un mécanisme de contrôle d'admission avec CCD	
1. Introduction.....	66
2. Objectifs attendus.....	66
3. Hypothèses de la modélisation.....	66
4. Modélisation du fonctionnement de la cellule.....	67
4.1 Solution proposée: Cas d'une cellule avec canaux homogènes et un CCD.....	67
4.2 Cas d'une cellule avec canaux homogènes sans CCD.....	72
5. Calcul des probabilités à l'état stationnaire.....	74
6. Les paramètres de performance objet de la comparaison.....	75
7. Analyse expérimentale.....	77
8. Conclusion.....	84
 Conclusion générale et perspectives.....	 85

I. Introduction générale

Les réseaux mobiles cellulaires ont connu un développement sans précédent qui a été observé dans le secteur des télécommunications depuis le début des années 1990, en termes de recherche, d'investissements, de revenus, d'abonnés, etc. L'avantage majeur de tels systèmes, est la possibilité d'offrir une variété de services mobiles. Notamment, la communication sans fil "n'importe où et n'importe quand" dans l'étendue géographique couverte par ce type de réseau.

Ce paradigme a donné naissance à des architectures de réseau basées sur le concept cellulaire, assez différente de celles des réseaux fixes. Ce concept consiste à diviser une zone de couverture relativement grande en des zones plus petites appelées cellules, où chaque cellule est dotée de ressources fréquentielles limitées et peut uniquement servir un nombre restreint d'utilisateurs mobiles. Quand un utilisateur se déplace d'une cellule à l'autre, un transfert d'appel se produit (mécanisme du Handover). Si la cellule visitée ne peut pas soutenir l'appel, le transfert échouerait et la communication serait perdue. En effet, la disponibilité des ressources radios durant toute la durée de la communication n'est pas nécessairement garantie. De ce fait, un utilisateur peut subir une rupture de la communication lors d'un passage d'une cellule à une autre. Cependant, du point de vue du client, une coupure de communication en cours est beaucoup plus désagréable qu'un échec de l'établissement d'une nouvelle communication. De ce fait, il est parfois préférable de bloquer un nouvel appel et d'accepter un appel handoff, ce qui nous permet de garantir un certain niveau de qualité de service (QoS) offert aux utilisateurs déjà admis.

La problématique étant posée, des mécanismes de contrôles d'admission devraient être déployés dans une perspective d'une meilleure gestion de la QoS. Ceci pourrait être réalisé par la diminution de blocage des appels handoff. Il s'agit de favoriser les appels handoff par plusieurs techniques comme : la réservation d'un nombre de canaux gardiens dans la cellule,

la réservation avec mise en attente des nouveaux appels, la réservation avec mise en attente des appels handoff, la généralisation de la réservation,...etc. Dans la même optique, d'autres travaux rajoutent un troisième flux dans la cellule au lieu de considérer uniquement les deux flux (flux des nouveaux appels et celui des appels handoff). Ce nouveau flux est généré par les appels répétés des utilisateurs (phénomène de rappel) n'ayant pas obtenu leur service après plusieurs tentatives. Cette considération repose sur le fait, que l'augmentation du nombre d'utilisateurs qui rappellent a une forte influence sur le blocage des nouveaux appels et des appels handoff [MAR 2001].

II. L'objectif de ce travail

L'inconvénient majeur des différents mécanismes de contrôle d'admission proposés, est qu'ils privilégient les appels handoff par les techniques suscitées, alors qu'ils ne tiennent pas compte du trafic qui peut exister dans une cellule. En conséquence à cette négligence, le blocage des nouveaux appels augmente dans la cellule, ainsi que le nombre de tentatives par appel. Suite à cette constatation, nous proposons une solution qui consiste à réserver un canal de courte durée (CCD), pour favoriser les communications de ce type (comme les appels SOS). Cette solution repose sur le comportement du client, pour accepter/refuser d'établir une communication sur un canal de courte durée. De cette manière, notre solution donne la priorité au « short-job-first », ce qui diminue la probabilité de blocage des nouveaux appels, ainsi que le nombre de tentatives par appel.

III. Organisation du mémoire

Notre mémoire est structuré autour de quatre chapitres organisés comme suit :

- Le premier chapitre décrit les principes et éléments des réseaux cellulaires (nécessaires à la compréhension de ce travail) tels que les notions de cellule, canal, transfert inter-cellulaire, allocation de ressources, ainsi que leurs différentes générations.

- Le deuxième chapitre présente les notions de base relatives aux formalismes mathématiques des chaînes de Markov et des files d'attente avec rappel (FAR), ce qui nous permettra de modéliser le fonctionnement des réseaux mobiles cellulaires, tout en prédisant leurs comportements, et optimisant au mieux leurs performances.

- Le troisième chapitre correspond à un état de l'art des mécanismes de contrôle d'admission existants dans la littérature et relatifs à la gestion des appels dans les réseaux mobiles cellulaires. Nous détaillons également les formalismes mathématiques relatifs aux mécanismes de contrôle tenant compte du phénomène du rappel. Etant donné que notre travail porte sur cette même classe, nous avons axé nos efforts pour détailler au mieux les différentes approximations mathématiques caractérisant chacun des modèles cités.

- Dans le quatrième chapitre, nous proposons une solution d'un mécanisme de contrôle d'admission avec un canal de courte durée (CCD). Pour ce faire, nous avons modélisé le fonctionnement de deux cellules avec la prise en compte du phénomène de rappel, en nous basant sur le modèle des files d'attente avec rappel (FAR). La première cellule utilise un canal de courte durée (CCD) et la deuxième sans canal de ce type. Nous avons développé par la suite des formules de calcul des indices de performance, dont l'implémentation et l'étude expérimentale nous a permis de bien évaluer cette nouvelle solution proposée.

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale ainsi que quelques travaux en perspectives.

1. Introduction

Les réseaux mobiles connaissent actuellement un énorme succès. L'avantage de tels systèmes est la possibilité de communiquer de n'importe où, même en se déplaçant. Cependant, l'utilisation de la voie hertzienne pour le transport de l'information a donné naissance à des architectures de réseaux assez différentes de celles des réseaux fixes. Une des raisons, est que la communication dans les réseaux mobiles doit continuer sans interruption, même en cas de déplacement de l'émetteur ou du récepteur. L'autre raison, est l'apparition de difficultés qui n'existaient pas lors des transmissions câblées, telles que la limitation physique de la bande passante, l'instabilité de la qualité du lien radio ou encore la variation des points d'accès au réseau.

Le présent chapitre intitulé « généralités sur les réseaux mobiles cellulaires », présente les principaux éléments des réseaux cellulaires utiles à la compréhension de la suite ce mémoire, ainsi que leurs différentes générations.

2. Notions de base

2.1 Le concept cellulaire

Le concept cellulaire consiste à diviser une zone de couverture relativement grande, en plusieurs petites zones appelées cellules et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Chaque cellule est constituée d'une station de base à laquelle on associe un certain nombre de fréquences. Cette station assure le rôle d'un intermédiaire entre l'infrastructure fixe du réseau et les stations mobiles situés à l'intérieure de la cellule. Ainsi une cellule peut être définie comme étant l'étendu géographique couvert par une station de base [CHA 2010].

L'avantage du concept cellulaire, est de permettre la réutilisation des ressources radio. Le principe de réutilisation de fréquences consiste à allouer la même gamme de fréquences à des cellules suffisamment distantes afin d'éviter les interférences. Ainsi, on définit des motifs appelés clusters constitués de plusieurs cellules dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. On distingue quatre niveaux hiérarchiques de cellules (Figure 1.1): [CHA 2010]

- Pico-cellule : couvrant une petite surface comme l'intérieur d'un bureau.
- Micro-cellule : couvrant la surface d'une petite cité.
- Cellule : s'étend quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.
- Macro-cellule : pouvant avoir une couverture de quelques dizaines de kilomètres.
- Cellule parapluie: couvrant une région pouvant atteindre le tiers du globe grâce aux satellites.

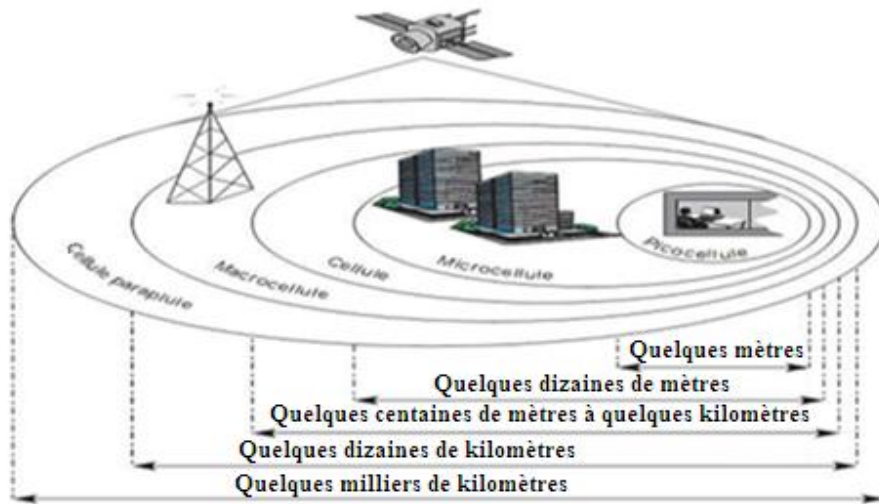


Figure 1.1: Décomposition du territoire en cellules

2.2 Méthodes d'accès aux ressources (partage de la bande passante)

Ces méthodes ont toutes pour principe de diviser la bande de fréquences en plusieurs canaux physiques assurant ainsi la communication, tout en respectant les contraintes permettant d'éviter les interférences. Les quatre principales méthodes d'accès utilisées par les réseaux mobiles sont FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access), CDMA (Code Division Multiple Access) [WWW11], et OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) [AND 2007].

➤ Le FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Cette méthode repose sur un multiplexage des fréquences. Le multiplexage fréquentiel divise la bande de fréquences en plusieurs sous bandes. Chacune est placée sur une fréquence dite porteuse, qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse ne peut transporter que le signal d'un seul utilisateur. La figure 1.2 illustre un multiplexage FDMA de trois porteuses acceptant trois utilisateurs

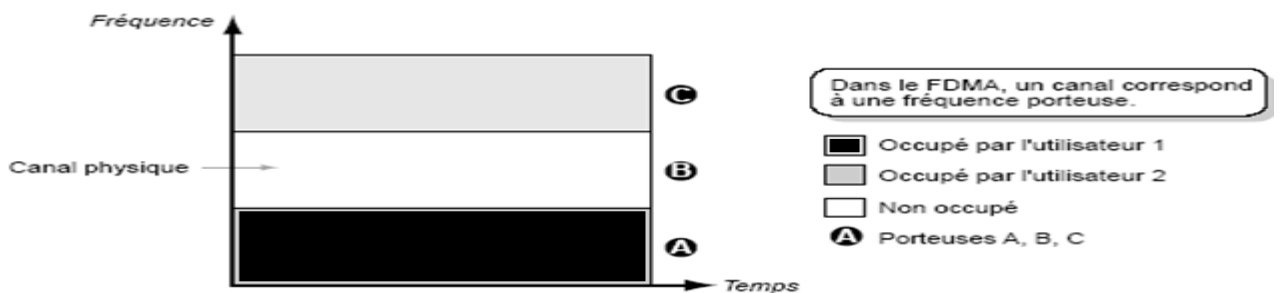


Figure 1.2: Le multiplexage FDMA [WWW11]

➤ Le TDMA (Time Division Multiple Access)

La méthode TDMA (ou accès multiple par division temporelle) présentée dans la figure 1.3, offre la totalité de la bande de fréquences à chaque utilisateur pendant une fraction de temps donnée, dénommée slot (intervalle).

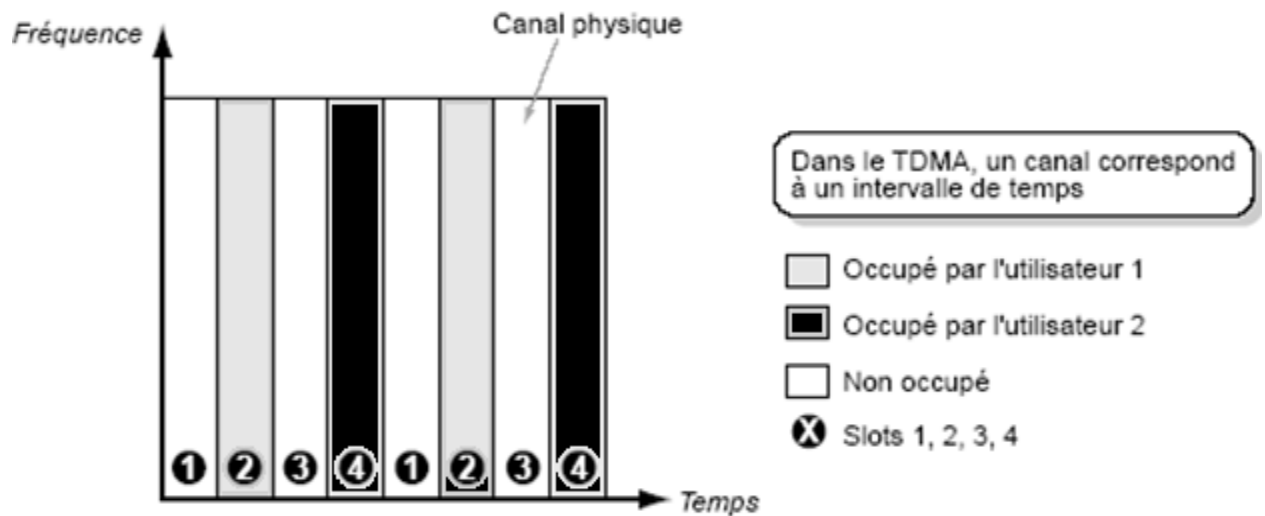


Figure 1.3: Le multiplexage TDMA [WWW11]

➤ Le CDMA (Code Division Multiple Access)

La méthode CDMA attribut à chaque utilisateur un code binaire, ce qui permet un accès multiple par division de codes. Il autorise l'allocation de la totalité de la bande de fréquences, de manière simultanée à tous les utilisateurs d'une même cellule (voir figure 1.4).

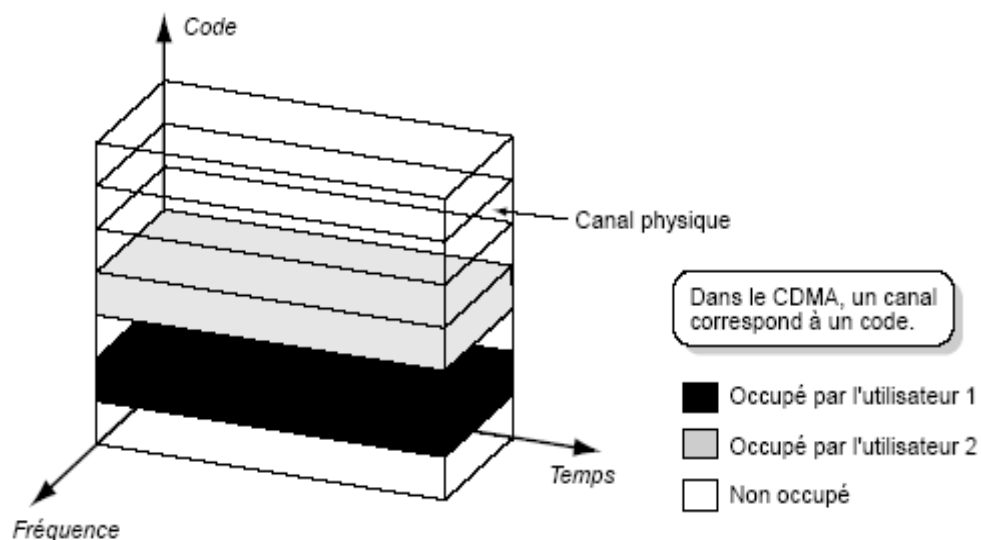


Figure 1.4: Le multiplexage CDMA [WWW11]

➤ **L'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple)**

Dans la technique OFDMA, l'ensemble des sous porteuses d'un symbole OFDM est divisé en sous ensembles de fréquences. Ces derniers peuvent être affectés à différents utilisateurs. L'OFDMA apporte une nouvelle dimension lors de l'allocation des ressources, qui consiste à affecter les différentes fréquences aux utilisateurs pendant un même time (slot) comme le montre la figure 1.5. Durant un même slot, plusieurs utilisateurs peuvent occuper des fréquences différentes et ces mêmes fréquences peuvent être assignées aux mêmes utilisateurs durant les prochains slots en fonction de leurs besoins. Ces fréquences sont espacées par les canaux de garde ce qui annule les interférences entre les utilisateurs ou intra cellule.

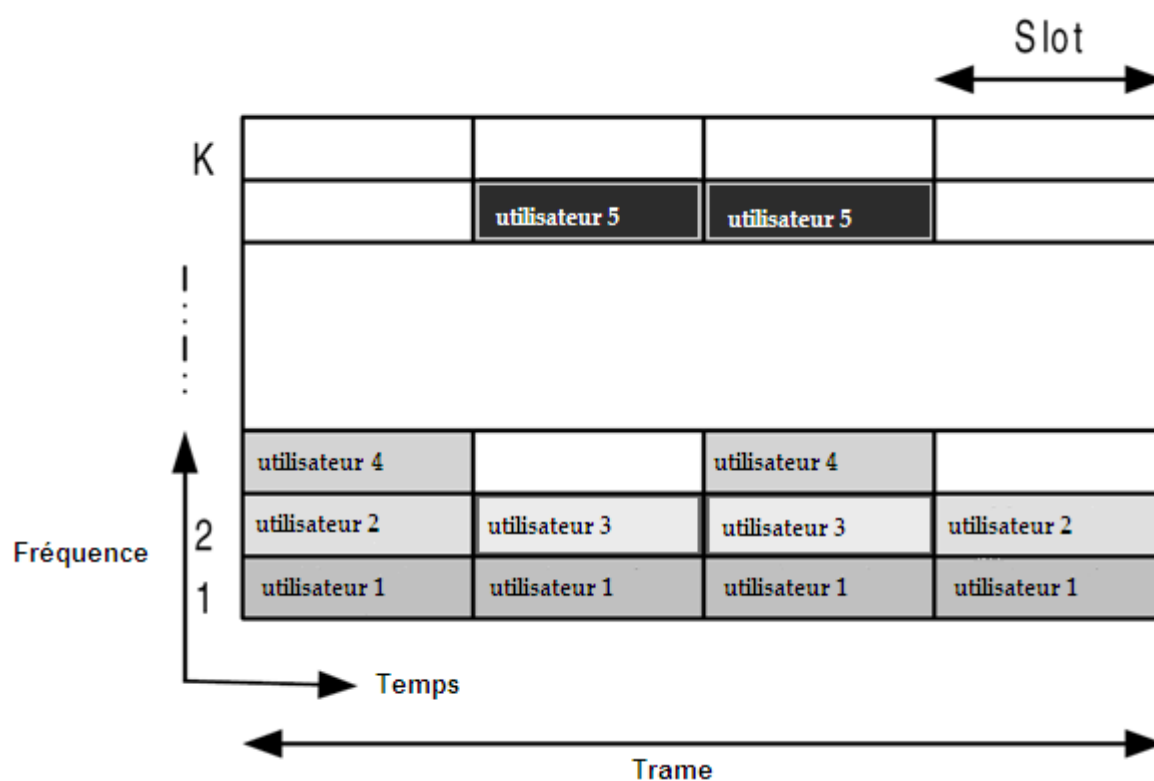


Figure 1.5: Le multiplexage OFDMA [AND 2007]

2.3 Méthodes de distribution des canaux :

Dans un système cellulaire, la bande passante est divisée en un nombre bien déterminé de canaux. Par la suite, ces canaux sont alloués entre les différentes cellules du système. Il existe trois grandes familles de schémas d'allocation de ressources sur les différentes cellules, sachant que l'allocation d'un canal est le produit de l'interaction entre plusieurs paramètres, tels que l'interférence, la distance de réutilisation, etc. Ces trois familles sont: FCA (Fixed Channel Assignment), DCA (Dynamic Channel Assignment), HCA (Hybrid Channel Assignment) [SEN 2003].

➤ **FCA (Fixed Channel Assignment)**

La plupart des systèmes existants fonctionnent avec une assignation fixe. Il s'agit d'une attribution fixe de ressources à toutes les stations de base. Ce schéma a l'avantage de la simplicité et de la rapidité. Cependant, une de ses limites est qu'il ne permet pas de gérer les variations brutales et instantanées du trafic. Cette situation se traduit par un manque de ressources dans les cellules chargées possédant énormément d'utilisateurs, et une grande disponibilité dans les cellules moins chargées.

Suite à cette constatation, les deux variantes suivantes ont été proposées :

- Allocation non-uniforme [SEN 2002] : consiste à attribuer aux cellules des canaux en fonction du trafic qu'elles écoulent. C'est ainsi qu'un plus grand nombre de canaux est alloué aux cellules les plus chargées.
- Emprunt de canaux [SEN 2001] : une cellule ayant épuisé toute sa capacité de trafic, demande à ses voisines des canaux pour pouvoir les attribuer à ses propres appels. Cet emprunt ne peut se faire que s'il ne cause aucune interférence. A la fin de l'utilisation, les canaux sont rendus à la cellule initiale.

➤ **DCA (Dynamic Channel Assignment)**

Toutes les ressources sont concentrées dans un groupe commun (common pool), tandis que les stations de base tentent d'allouer les canaux à la demande des utilisateurs. Lors d'une demande de communication, une cellule choisit un canal du pool commun qui sera restitué à la fin de l'appel. Le choix du canal n'est pas aléatoire, mais repose sur le calcul d'interférences. Dans le cas de disponibilité de plusieurs canaux pour la cellule, plusieurs stratégies de sélection peuvent être appliquées. Par exemple, la stratégie appelée 'First availab' alloue le premier canal disponible satisfaisant la distance de réutilisation.

➤ **HCA (Hybrid Channel Assignment)**

Cette méthode combine les deux méthodes précédentes. Ainsi, une partie des ressources sont allouées directement aux stations de base, le reste étant rassemblé dans un groupe commun, auquel toutes les stations de base peuvent accéder lorsque leur ensemble fixe est complètement alloué. Un des paramètres importants de ce mécanisme est le ratio entre le nombre de canaux fixes et le nombre de canaux dynamiques. Généralement, l'optimum est en fonction de la charge.

2.4 Mécanisme de Handover

Le Handover est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire. Il représente l'ensemble des opérations mises en œuvre permettant à un abonné de poursuivre sa communication sans coupure lorsqu'il change de cellule pendant son déplacement (handoff inter-cellulaire). Le mobile peut également effectuer un handover à l'intérieur de la cellule si le signal devient faible (handoff intra-cellulaire).

En effet, la probabilité d'échec du transfert inter-cellulaire et la probabilité de rejet des nouveaux appels sont deux importants paramètres utilisés pour l'évaluation de performances des réseaux mobiles cellulaires. Ainsi, un des soucis majeurs lors de la conception des réseaux, est la réduction de tels paramètres.

Le déclenchement du handover est lié principalement aux critères suivants, appelés indicateurs de handover: [CHA 2010]

- La puissance du signal reçu : le mobile quitte la zone couverte par une cellule vers une autre. C'est la puissance du signal reçu qui détermine dans ce cas la nécessité du Handover;
- La distance 'station de base_ mobile' : lorsque le mobile s'aperçoit qu'il est loin de la station de base de rattachement, et en recevant un signal plus fort d'une autre, à ce moment le handover se produit pour faire basculer le mobile vers la nouvelle station de base;
- Le Trafic: Ce type de handover se produit lorsque le nombre de mobiles est trop important dans une cellule, alors que des cellules voisines peuvent accueillir de nouveaux mobiles. Le but serait d'avoir une répartition optimale des mobiles dans le réseau.

Une fois le mécanisme de handoff décidé selon les critères cités ci-dessus, la communication est transférée vers un nouveau canal. Ce processus de transfert, nous permet de distinguer les trois types de handover [GAR 2003]:

➤ **Handover dur (Hard handover)** : Se produit lorsque l'ancien canal est libéré avant d'allouer un nouveau canal au niveau de la cellule destination ; Cela induit une coupure durant le transfert. Ce type de handover est complètement géré par le réseau, il s'adapte bien à la technique FCA et il est utilisé dans le réseau GSM. L'avantage de cette procédure est que le mobile ne monopolise qu'un canal à la fois.

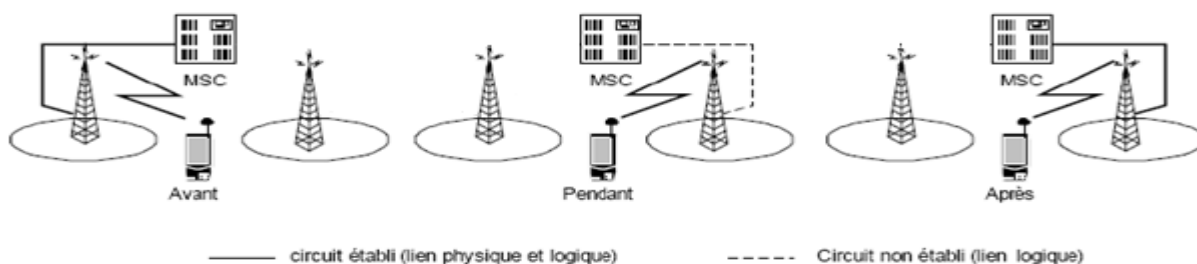


Figure 1.6 : Hard handover

➤ **Seamless Handover** : L'ancien canal est libéré pendant l'allocation du nouveau canal. En conséquence, le mobile transmet sur l'ancien et le nouveau canal en utilisant un partage temporel. Ce type de handover est caractérisé par une probabilité de coupure minimisée et une consommation supérieure de ressources par rapport au handoff dur. Il s'adapte bien à la technique DCA.

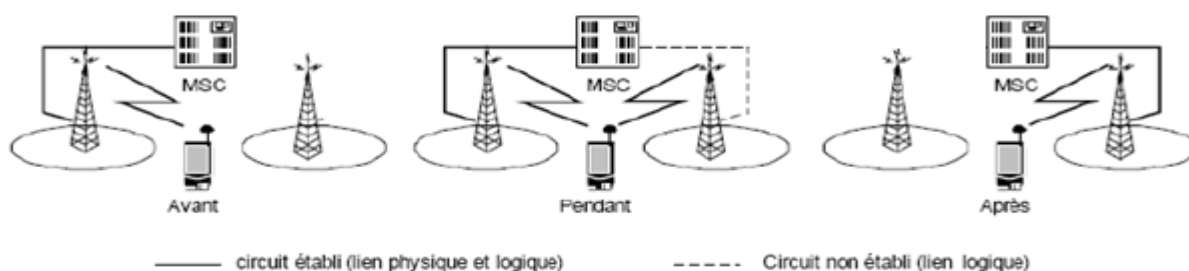


Figure 1.7 : Seamless handover

➤ **Handover doux (Soft handover)** : Pendant le séjour dans la zone de chevauchement, le mobile communique sur les deux (ou plus) stations de base à la fois, on dit qu'il exécute un handoff doux. Ce procédé consomme deux fois plus de ressources, mais le transfert est confortable pour l'utilisateur car il minimise la probabilité de coupure de la communication. Ce type de handover a été introduit dans le système CDMA.

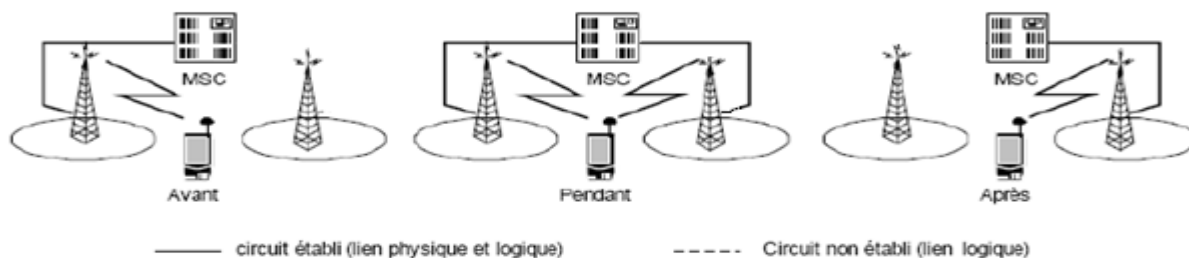


Figure 1.8 : Handover doux

3. Evolution des réseaux mobiles cellulaires

Le GSM est la première génération de téléphone mobile, qui été commercialisée. Par la suite, de nouveaux progrès sollicités par une seconde génération GPRS, suivie par d'autres qui seront détaillées dans ce qui suit.

3.1 GSM (Global System for Mobile Communications)

3.1.1 Présentation

Le GSM est une norme numérique de première génération pour la téléphonie mobile. Elle fut établie en 1982 par le CEPT (Conférence des Administrations Européennes des Postes et Télécommunications). Il est initialement prévu pour transmettre la voix et les données à bas débit (autour de 15 Kbit/s), le tout en mode de circuit. Il combine les deux méthodes FDMA et TDMA pour accéder à la ressource radio.

3.1.2 Architecture d'un réseau GSM

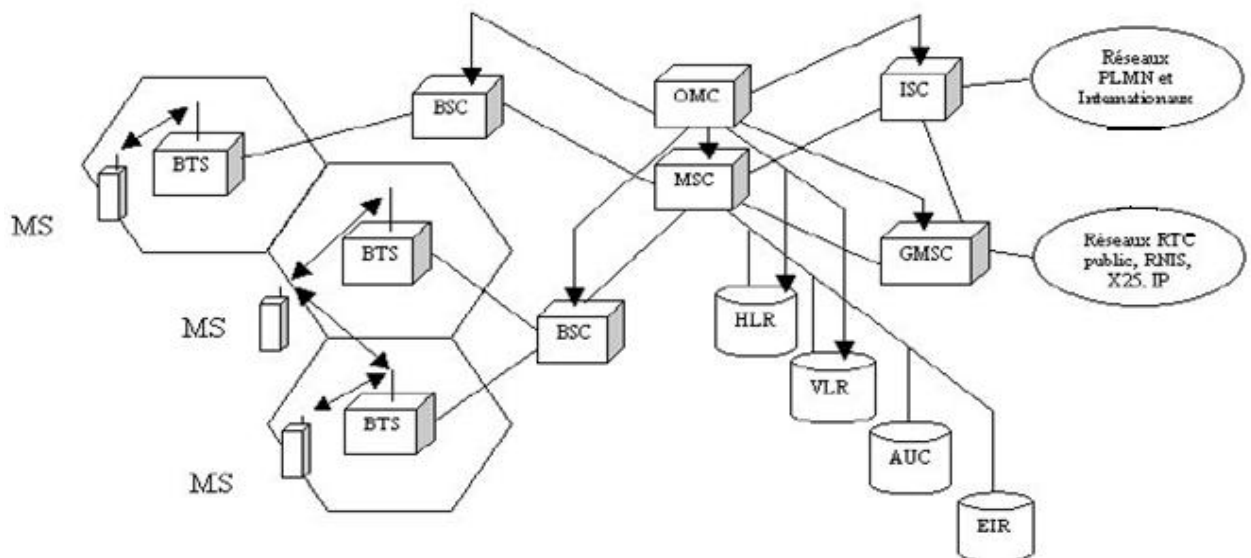


Figure 1.9 : Architecture globale du réseau GSM [CHA 2010]

Le GSM est composé de plusieurs entités (Figure 1.9) qui sont regroupées en trois sous-systèmes: BSS, NSS, OSS [CHA 2010].

A. BSS (Base Station System) : est le sous système radio, appelé aussi réseau d'accès, qui forme la partie du réseau qui gère l'interface radio. Il contient les stations mobiles (MS: Mobile Station), les stations de base (BTS: Base Transceiver Station) et les contrôleurs de stations de base (BSC: Base Station Controller).

➤ **La station mobile MS**

La station mobile est composée d'une part d'un terminal mobile (le téléphone), et d'autre part du module d'identité de l'abonné dite la carte SIM (Subscriber Identity Module). Chaque terminal mobile est identifié par un code unique IMEI (International Mobile Equipment Identity).

➤ **La station de base BTS**

C'est une antenne qui est à la fois émetteur et récepteur qui analyse la qualité des données. Elle couvre une zone délimitée appelée cellule. Cet équipement assure l'interface entre les stations mobiles et les structures fixes spécifiques au GSM, dont le rôle est [GAR 2003]:

- La gestion du multiplexage temporel (une porteuse est divisée en 8 slots) ;
- Des mesures radio permettant de vérifier la qualité du service (mesures transmises directement au BSC) ;
- Des opérations de chiffrement ;
- La gestion de la liaison entre les mobiles et les structures fixes BTS, et la gestion de la liaison avec le BSC.

➤ **Le contrôleur des stations de base BSC**

Le contrôleur des stations de base gère une ou plusieurs stations de base. Il est considéré comme un concentrateur, puisqu'il véhicule les communications provenant des différentes stations de bases. Il commute les données en les dirigeant vers la bonne station de base. D'autre part, il achemine les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance. Les fonctions principales du BSC sont :

- L'allocation des canaux de communication;
- Le traitement des mesures des niveaux d'émission BTS et mobiles;
- La concentration de circuits routés vers le centre de communication (MSC: Mobile Switching Center);
- La gestion des liaisons de communications.

B. NSS (Network Sub System) : est le sous-système réseau aussi appelé réseau cœur, qui assure les fonctions classiques du réseau tel que le routage, l'interconnexion, etc. Il est constitué de MSC (Mobile Switching Centre), VLR (Visitor Location Register) et le HLR (Home Location Register).

➤ **Le centre de commutation mobile MSC (Mobile Switching Center)**

Le centre de commutation mobile MSC est l'élément central du NSS. Il assure la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public. Ses rôles principaux sont :

- L'interconnexion avec le réseau fixe ;
- Le routage après consultation du VLR associé (profil d'abonnement);
- La gestion de la mobilité pendant une communication ;
- Mettre à jour des bases de données VLR et HLR;
- L'interopérabilité entre les réseaux ; il est aussi appelé GMSC (Gateway Mobile Switching Centre).

➤ **L'enregistreur de localisation des visiteurs VLR**

Le VLR s'interface avec le HLR, un MSC, d'autres VLR et l'AUC. Il assure des fonctions de base de données temporaire contenant les informations relatives aux MS présentes dans son secteur de couverture. Dès qu'une MS quitte ce secteur vers un autre, elle sera supprimée de ses informations. Généralement, un VLR est chargé de :

- L'acquisition des informations stockées au niveau du HLR lors de l'arrivée d'un nouvel abonné dans sa zone de couverture ;
- L'authentification du terminal par contrôle du numéro IMEI (International Mobile Equipment Identity);
- L'enregistrement des terminaux de passage.

➤ **L'enregistreur de localisation nominal HLR**

Contrairement au VLR, le HLR est une base de données qui contient tous les terminaux appartenant au réseau. Ainsi, que le VLR où ils sont inscrits. Il assure les fonctions permettant :

- La fourniture, sur demande d'un VLR, des informations relatives à un abonné dont il a la gestion;
- L'acquisition d'informations (sur un abonné) issues d'un VLR, puis la mise à jour de la base de données qu'il contient;
- L'acquisition des informations de chiffrement allouées à chaque abonné par l'AUC.

C. OSS (Operating and Support System): regroupe les sous-systèmes qui assurent des fonctions de sécurisation, de supervision, de maintenance. Ce segment est constitué de L'EIR

(Equipment Identity Register), l'AUC (Authentication Centre) et l'OMC (Operations and Maintenance Center).

➤ **Centre d'authentification AUC**

C'est une base de données associée à un HLR, elle contient une copie de la clé secrète K_i inscrite dans la carte SIM de chaque abonné [CHA 2010]. Le processus d'authentification consiste en la résolution d'un problème sur la base d'un nombre M généré et envoyé aléatoirement au mobile. A partir de ce numéro, l'algorithme A3 (utilisé dans les protocoles de sécurité et de confidentialité de données GSM) qui se trouve à la fois dans les carte SIM et les AUC produit un résultat en fonction de K_i et M , en comparant ces deux résultats par la suite. Ce mécanisme de contrôle vise à protéger le fournisseur de services aussi bien que les abonnés.

➤ **Registre d'identité des équipements (EIR)**

Un EIR sauvegarde toutes les identités des équipements mobiles utilisés dans un réseau GSM. Cette fonctionnalité peut être intégrée dans le HLR. Pour ce faire, chaque mobile est enregistré dans l'une des listes suivantes [DEM 2004]:

- Liste "blanche" : poste utilisable sans restriction ;
- Liste "grise" : poste sous surveillance (traçage d'appels) ;
- Liste "noire" : poste volé ou dont les caractéristiques techniques sont incompatibles, avec la qualité requise dans un réseau GSM (localisation non autorisée).

➤ **Le centre d'exploitation et de maintenance OMC**

Le centre d'exploitation et de maintenance est l'entité de gestion et d'exploitation du réseau. L'entité regroupe la gestion administrative des abonnés et la gestion technique des équipements. La gestion administrative et commerciale du réseau s'intéresse aux abonnés en termes de création, suppression et factorisation. Une bonne partie de la gestion administrative interagit avec la base de données HLR. La gestion commerciale demande aux commutateurs du réseau des statistiques pour connaître les habitudes et les attentes des abonnés et, selon les indications recueillies, la direction commerciale module la tarification pour étaler le trafic dans la journée ou bien développe les services les plus demandés. La gestion technique veille à garantir la disponibilité et la bonne configuration matérielle des équipements du réseau. Ses axes de travail sont la supervision des alarmes émises par les équipements, la suppression des dysfonctionnements, la gestion des versions logicielles. La plupart des tâches de gestion sont

réalisées à distance des équipements du réseau par télé-exploitation à travers un réseau de transfert de données distinct du réseau de télécommunication GSM.

3.1.3 Déroulement d'une communication

Pour établir une communication, le terminal mobile doit se mettre en relation avec une BTS. L'antenne transmet la demande d'appel à son contrôleur. Le contrôleur contacte le commutateur mobile auquel il est rattaché. Celui-ci interroge le serveur de localisation pour déterminer le chemin du destinataire, ensuite le MSC route la communication vers la station de base du destinataire ou vers le réseau étranger si l'appel est destinée à l'extérieur.

Lorsque le téléphone fixe appelle un mobile, le **RTC** (réseau téléphonique commuté) établit une connexion avec le MSC le plus proche pour créer une passerelle entre les deux réseaux (Gateway Mobile Switching Centre). La passerelle **RTC-MSC** interroge le serveur **HLR** pour déterminer la localisation (**VLR**) où le terminal est hébergé. Ensuite, l'appel est dirigé vers le **BSC** correspondant à cette adresse. Ce dernier établit une liaison avec la cellule où se trouve le terminal.

Lorsqu'un client quitte son réseau vers un autre réseau étranger, il est toujours possible d'être contacté avec le même numéro. En arrivant dans le réseau étranger, le terminal se déclare au réseau radio mobile de l'opérateur étranger. Le serveur de localisation étranger (HLR) identifie le mobile en fournissant un numéro de **Roaming** (adresse temporaire).

Quand le numéro de Roaming est attribué, le **HLR** étranger informe le HLR source que son terminal a été pris en charge, à partir de là le **HLR** de l'opérateur d'origine redirige les appels de ce terminal vers le **HLR** étranger.

3.2 De GSM vers GPRS (General Packet for Radio Service)

3.2.1 Présentation

Le succès du GSM est maintenant bien établi et de nombreux indices révèlent que les utilisateurs veulent à court terme des services de données sur les réseaux mobiles. Néanmoins, les services de données GSM pâtissent les contraintes suivantes : un débit limité à 14.4 bit/s, l'usage de la commutation de circuit, l'absence d'interface directe vers les réseaux de données.

Pour vaincre de telles contraintes, l'institut européen de normalisation des télécommunications (ETSI) a apporté un certain nombre d'innovations sur le réseau cœur du GSM, mais aussi sur les terminaux. Ce procédé a donné naissance à la technologie GPRS caractérisée par un débit important allant jusqu'à 171.2 bit/s. Ce qui permet ainsi de proposer

des applications qui n'auront ni à souffrir de problèmes de vitesse de transmission inhérente à GSM, pouvant poser problème dans des contextes à temps réel (comme les applications bancaires ou de paiements), ni à une longueur maximale d'informations de 160 caractères liés aux SMS.

En effet, les applications développées seront, pour une grande partie, au-dessus de TCP/IP, ce qui permet d'avoir des services classiques tels que :

- Accès au Web ;
- Messagerie électronique ;
- Transfert de fichier ;
- Commerce électronique ;
- Services d'information ;
- Météo ;
- Résultats sportifs ;
- Trafic routier.

Remarque

Le transfert de données dans un réseau, est basé sur deux approches de connexion:

- Commutation de circuit : établissement d'un circuit physique entre l'émetteur et le destinataire. Les informations échangées parcourent toujours ce même circuit au sein du réseau durant le temps de la session. Sa simplicité conceptuelle et de mise en œuvre a fait son succès et son emploi dans les premiers réseaux de communication comme le téléphone.
- Commutation de paquet : Cette technique est fondée sur le découpage des données afin d'en accélérer le transfert. Chaque paquet est composé d'un en-tête contenant des informations sur le contenu du paquet ainsi que sur sa destination, permettant ainsi au commutateur d'aiguiller le paquet sur le réseau vers son destinataire.

3.2.2 Architecture du réseau GPRS

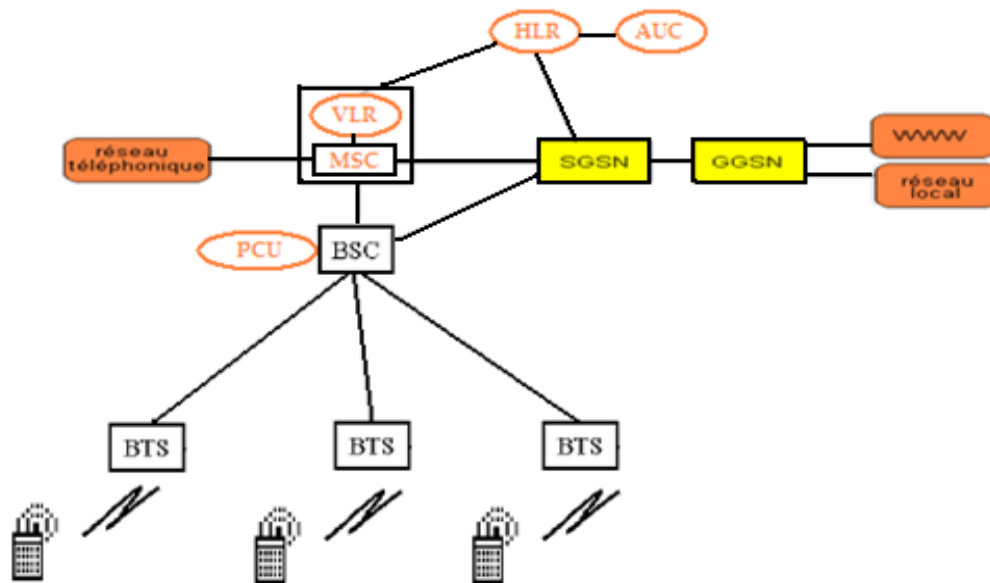


Figure 1.10: Architecture globale du réseau GPRS

Afin d'intégrer GPRS (General Packet Radio Service) dans une architecture GSM existante, Un nouveau type de nœud appelé GSN (GPRS Support Node) a été introduit (voir figure 1.10). Les GSNs sont responsables de la livraison et du routage des paquets de données entre la station mobile et des réseaux de données externes (Packet Data Network).

En réutilisant l'infrastructure GSM, le coût d'introduction de GPRS dans le réseau GSM est principalement relatif à l'extension logicielle des entités GSM. Les principaux matériels rajoutés à l'architecture GSM existante sont l'intégration d'une carte PCU (Packet Control Unit) dans l'entité BSC, la fourniture de nouveaux terminaux GPRS aux usagers, l'introduction des nœuds de commutation de paquets GPRS, à savoir SGSN et GGSN, la mise en place d'un Charging Gateway pour la taxation GPRS et d'OMC-G (Operations and Maintenance Centre -GPRS) pour l'exploitation des équipements de réseau GPRS.

Le rôle de chaque composant rajouté au GSM, est le suivant :

➤ **GGSN (Gateway GPRS Support Node)**

L'entité GGSN joue le rôle d'interface à des réseaux de données externes (e.g., X.25, IP). Elle décapsule des paquets GPRS provenant du SGSN et les envoie au réseau externe correspondant. Egalement, le GGSN permet d'acheminer les paquets provenant des réseaux de données externes vers le SGSN du mobile destinataire.

➤ **SGSN (Service GPRS Support Node)**

L'entité SGSN est chargée de la transmission de données (paquets) entre les mobiles et le réseau GPRS, ses rôles principaux sont:

- L'authentification des stations mobiles GPRS;
- La prise en charge de la gestion de la mobilité des stations mobiles. En effet, une station mobile doit mettre à jour sa localisation à chaque changement de zone de routage;
- Le routage des paquets de données de la station mobile vers le réseau externe, ou du réseau vers la station mobile à travers le GGSN.

➤ PCU (Paquets Controler Unit)

Le PCU est l'entité déployée dans le réseau d'accès (partie radio) du GSM, afin de basculer vers le mode paquets au niveau du contrôleur de stations de base.

3.3 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

3.3.1 Présentation

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) ou réseau mobile de troisième génération est un système de communications mobiles sans fil capable d'être le support, en particulier, de services multimédias novateurs, et de combiner l'utilisation d'éléments terrestres et satellitaires, avec un débit de l'ordre de 384 kbit/s. Donc, il sera possible d'avoir des accès plus rapides à Internet, avec une amélioration de la qualité des communications tendant à celle de la téléphonie fixe. Voici les objectifs assignés à cette génération lors des travaux d'étude et de normalisation en Europe et sur le plan mondial [ZOU 2005]:

- Supporter des services multimédias large bande qui peuvent atteindre un débit de 2 Mbit/s;
- Assurer la convergence entre les réseaux fixes et mobiles;
- Offrir un service de mobilité universelle, dépassant les limitations dues à la multiplicité des systèmes et des réseaux;
- Une couverture sur une très grande étendue géographique.

Architecture du réseau UMTS

Le réseau UMTS se divise en deux domaines : le domaine équipement utilisateur UE (User Equipment) et le domaine infrastructure [ZOU 2005]. Le domaine infrastructure se partage en deux parties : le réseau d'accès (Access Network) et le réseau cœur CN (Core Network). La figure 1.11 présente l'architecture d'un réseau UMTS.

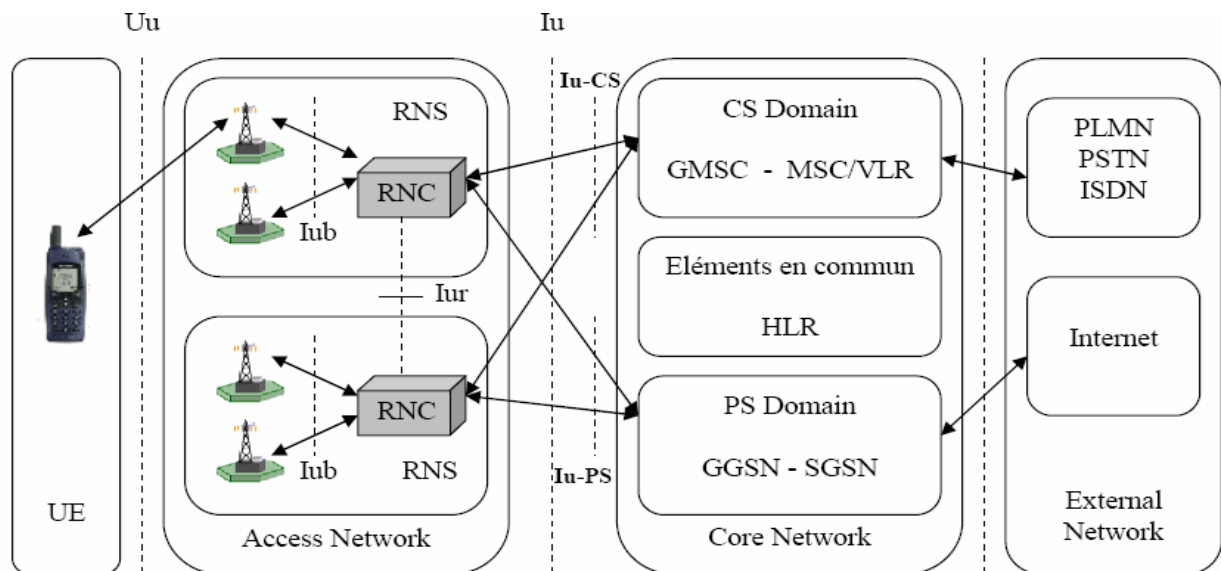


Figure 1.11: Architecture du réseau UMTS [ZOU 2005]

Les éléments illustrés au niveau de cette figure seront détaillés dans ce qui suit.

➤ **L'équipement utilisateur (User Equipment)**

L'UE contient deux parties:

- L'équipement Mobile (Mobile Equipment) : C'est le terminal radio utilisé pour les communications à travers l'interface Uu ;
- L'USIM (UMTS Subscriber Identity Module) : est une carte à puce USIM analogue à la carte SIM.

➤ **Le réseau d'accès [ZOU 2005]**

Le réseau d'accès terrestre de l'UMTS s'appelle UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Il regroupe des fonctions permettant de transmettre des informations (trafic de données et trafic de signalisation) de l'utilisateur vers le réseau cœur. Il se compose des Node B et des RNC (Radio Network Control) qui correspondent respectivement à la BTS et au BSC dans l'architecture GSM.

• **Le RNC**

Il contrôle les ressources radio de l'UTRAN, gère le protocole RRC (Radio Resource Control) définissant les procédures et les messages entre le mobile et l'UTRAN. Il est en liaison avec le réseau cœur pour les transmissions en mode paquet à travers l'interface Iu-PS et en mode circuit à travers l'interface Iu-CS. Le RNC directement relié à un NodeB par l'interface Iub, gère:

- Le contrôle de la charge des différents Node B ;

- Le contrôle d'admission et d'allocation des codes pour les nouveaux liens radio qui s'établissent dans les cellules gérées.

- **Le Node B**

Il s'occupe de la transmission et de la réception du signal radio, de la modulation/démodulation, du codage de canal, l'adaptation du débit de transmission, élargissement/dés-élargissement, du contrôle de la puissance d'émission, et de la synchronisation. L'interface mobile/Node B est une interface Uu.

➤ **Le réseau Cœur (Core Network)**

Le réseau cœur est responsable de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes. Il se décompose en deux domaines : le domaine paquet et le domaine circuit.

- **Le domaine circuit**

Le domaine circuit permet de gérer les services temps réels correspondant aux conversations téléphoniques, à la vidéo-téléphonie et aux applications multimédias. Ces applications nécessitent un temps de transfert réduit. Le débit supporté par ce mode sera de 384 kbit/s. L'infrastructure s'appuie sur un MSC/VLR (Mobile Switching Centre/Visitor Location Register) correspondant au commutateur (MSC) et à la base de données visiteur (VLR), et sur un GMSC (Gateway MSC), commutateur connecté directement au réseau externe.

- **Le domaine paquet**

Le domaine paquet permet de gérer les services non temps réel correspondant à la navigation sur Internet, aux jeux en réseau et aux E-mail. Ces applications sont moins sensibles au temps de transfert et ces données pourront transiter en mode paquet. Le débit supporté pourra atteindre 2 Mbit/s. Le réseau s'appuie sur un SGSN (Serving GPRS Support Node) correspondant au MSC/VLR en mode paquet et sur un GGSN (Gateway GPRS Support Node) correspondant au GMSC en mode paquet. Il commute les données vers le réseau Internet et autres réseaux publics ou privés de transmissions de données.

➤ **Interfaces de l'UMTS**

La chose la plus importante à signaler est que les interfaces UMTS sont des interfaces ouvertes c'est-à-dire que les équipements de différents fournisseurs peuvent être interconnectés s'ils suivent la norme. Ces interfaces sont [BZE 2004]:

- Interface Uu : c'est l'interface radio de l'UMTS. A travers cette interface, l'UE peut accéder au réseau ;
- Interface Iub : elle relie le Node B au RNC ;
- Interface Iu : elle connecte l'UTRAN au réseau cœur. Elle se divise en deux parties l'Iu-CS entre le RNC et le domaine circuit du CN, et l'Iu-PS entre le RNC et le domaine paquet du CN ;
- Interface Iur : c'est l'interface RNC/RNC. Sa mission principale est de gérer l'inter-RNC Soft handover.

➤ **Les modes d'accès**

L'interface radioélectrique entre le mobile et le Node B peut présenter deux types de solutions CDMA [AND 2002].

- Mode W-CDMA en FDD (Frequency Division Duplex)
- Mode TD-CDMA en TDD (Time Division Duplex)

La bande de fréquences réservée à l'UMTS est en plusieurs sous-bandes selon le mode de fonctionnement :

- 1920-1980 MHz pour la voie montante du FDD ;
- 2110-2170 MHz pour la voie descendante du FDD ;
- 1900-1920 MHz et 2010-2025 MHz pour TDD.

En FDD, les voies montantes et descendantes sont affectées à deux bandes de fréquences distinctes, espacées de 190 MHz. En TDD, les voies montantes et descendantes sont multiplexées temporellement sur une même porteuse.

Pour chaque mode de fonctionnement, la bande de fréquence est divisée en canaux radio de 5MHz. Dans la bande de fréquence de 5MHz, le débit utile par canal est égal à 384 kbit/s en W-CDMA et a 144 kbit/s en TD-CDMA.

L'augmentation du débit s'obtient en allouant plusieurs canaux en W-CDMA (un canal correspond à un code), ou une bande de fréquence plus large en TD-CDMA (20 MHz pour un 2Mbit/s).

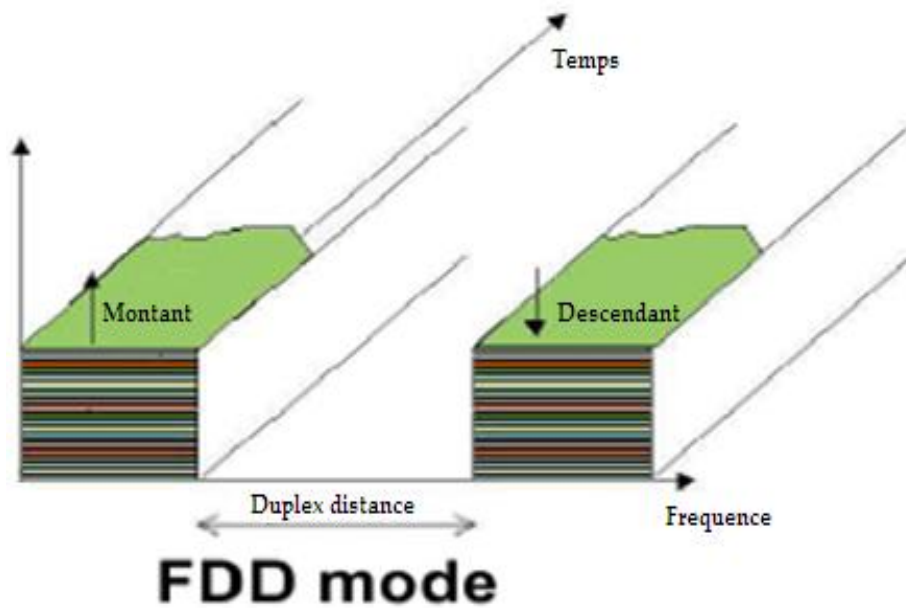


Figure 1.12: Schéma du Mode W-CDMA

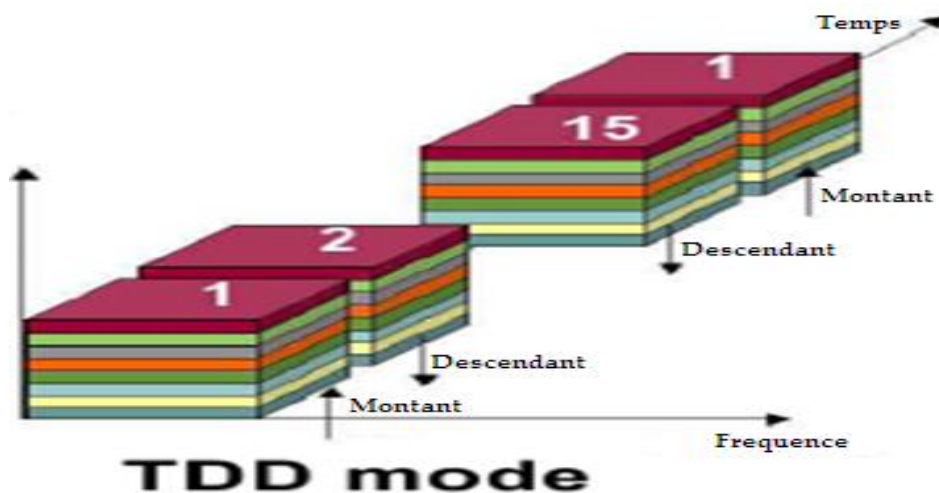


Figure 1.13: Schéma du Mode TD/CDMA

3.4 D'UMTS vers LTE (Long Term Evolution)

3.4.1 Présentation

Le développement rapide des services dans le domaine filaire comme le média streaming (VoIP, IPTV), nécessite l'échange de grandes quantités de données. Par ailleurs, un large nombre d'équipements qui permettent d'accéder à de tels services sont disponibles aux utilisateurs (Ordinateur Portable, Smartphone, etc). L'utilisateur a donc besoin d'utiliser ces services avec la même expérience sur le domaine sans-fil, en particulier sur les réseaux cellulaires.

Pour répondre à ces besoins, LTE a été conçu, elle présente l'évolution la plus récente parmi les normes de la téléphonie mobile, avec les objectifs suivants :

- Offrir un haut débit, un débit descendant de 1G/s en mobilité réduite et un débit descendant de 100Mb/s en mobilité étendue ;
- Haute qualité de service pour les applications multimédias ;
- Tout IP ;
- Interopérabilité avec les réseaux existants (GSM, GPRS, UMTS).

3.4.2 Architecture du LTE

La figure 1.14 présente l'architecture générale d'un réseau LTE, qui se compose d'un réseau d'accès, d'un réseau cœur et d'autres blocs qui permettent au réseau LTE de se connecter avec les réseaux 3GPP existants (GSM, GPRS, EDGE), les réseaux IP, les réseaux téléphoniques commutés (PSTN), et les réseaux non 3GPP (WiFi, Wimax). Dans cette nouvelle infrastructure, Le téléphone portable « dual mode » fournit l'accès au réseau LTE et aussi aux autres différents types.

En comparaison avec l'architecture de l'UMTS et GSM, le réseau LTE a moins de nœuds, afin de réduire le délai et d'augmenter la performance du système [LES 2008].

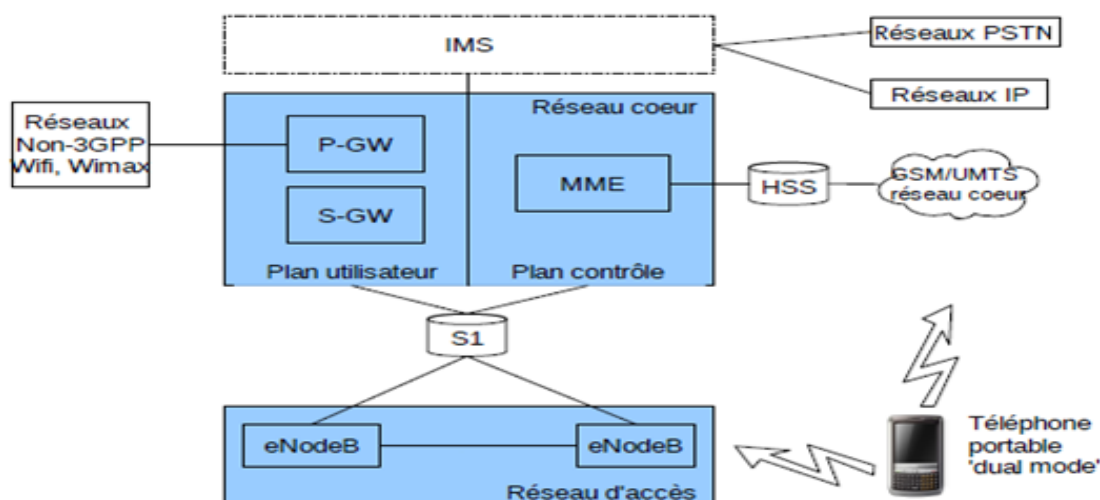


Figure 1.14: Schéma du réseau LTE [LES 2008]

Accès radio LTE

Le réseau d'accès est réduit à l'eNodeB qui joue le rôle du NodeB, et du RNC (Radio Network Control) dans les réseaux UMTS. Cela permet de réduire le délai d'accès et de simplifier la fonction d'opération et de maintenance du réseau.

➤ **Le cœur du LTE SAE (System Architecture Evolution)**

Le cœur du LTE est constitué des éléments suivants :

- **MME (Mobile Management Entity)**

C'est le nœud de contrôle principal de l'accès au réseau LTE. Il gère l'ensemble des procédures (mobilité, authentification, chiffrement) des équipements usagers, pour communiquer avec le HSS.

- **HSS (Home Subscriber Service)**

C'est une base de données qui contient les informations de souscription pour les réseaux GSM, GPRS, UMTS, LTE. Elle remplace la HLR de la deuxième génération.

- **S-GW (Serving Gate way)**

Aussi appelé Ancre 3GPP (3GPP Anchor), il route et transfère localement les paquets de données à l'utilisateur, et permet la connexion entre des réseaux LTE et d'autres réseaux 3GPP.

- **P-GW (Packet Data Network Gate way)**

Aussi appelé ancre SAE (SAE Anchor), il fournit des connexions entre les réseaux 3GPP et non-3GPP. Le P-GW représente une interface entre l'utilisateur LTE et les réseaux IP tels qu'Internet ou IMS (IP MultiMedia Subsystem), architecture fournissant des services multimédias fixes ou mobiles). De plus, elle est responsable de l'allocation des adresses IP, et des politiques d'accès, etc.

En pratique, S-GW et P-GW peuvent être implémentés en un élément unique du réseau.

4. La qualité de services (QoS) dans les réseaux mobiles

Plusieurs indicateurs de performance ont été définis pour les réseaux mobiles cellulaires. Parmi les principaux paramètres, nous citons [CHA 2010]:

- Délai d'établissement de la connexion : correspond au temps qui s'écoule entre la demande de connexion et la confirmation de la connexion ;
- Probabilité d'échec de l'établissement d'une nouvelle connexion : elle représente les demandes de connexion échouées dues à la non disponibilité des ressources ;
- Probabilité d'échec du handover : elle représente la probabilité pour que le transfert inter-cellulaire échoue. Pour que la qualité de service ne soit pas affectée, cette probabilité doit être la plus faible possible ;

- Le Débit de transfert : définit la vitesse à laquelle les paquets passent par le réseau. Il doit être le plus grand possible ;
- Délai de transmission : est le temps que met un paquet pour traverser le réseau de la source à la destination. Il doit être le plus court possible ;
- Taux de perte de paquet : est le nombre de paquet perdus durant une communication. Il doit être aussi minimal que possible.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude sur l'architecture, les composants, et les interfaces de réseaux mobiles cellulaires, ainsi que leur évolution. Dans cet environnement, la QoS est définie par plusieurs paramètres de performance, parmi les plus importants on trouve la probabilité d'échec de la communication et la probabilité d'échec du transfert inter-cellulaire, etc. En effet, la conception d'un réseau de communication est basée fortement sur de tels paramètres.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter le système des files d'attente avec rappel, qui consiste à un formalisme mathématique qui permet de modéliser le fonctionnement des réseaux mobiles cellulaires, et de prédire les performances de tels réseaux lors de la phase de conception.

1. Introduction

Modéliser un système au sens large, consiste à décrire le fonctionnement de ce système par un formalisme mathématique. Ce formalisme peut être vu comme un outil d'aide à la décision, qui nous permet de déduire les performances du système, prédire son comportement, optimiser au mieux ses performances, ... etc.

Les files d'attente avec rappel (FAR) font parti des formalismes les plus convenables pour la modélisation d'un système cellulaire, car cette théorie permet l'étude des phénomènes qui caractérisent de tels systèmes, et plus particulièrement le phénomène de rappel.

Ce modèle a été introduit pour la première fois par Kosten [KOS 1947] puis par Wilkinson [WIL 1968], et par Cohen [COH 1957] dans sa version la plus simple lors de la modélisation du service des abonnés dans une centrale téléphonique. Ensuite, Il a été largement utilisé pour modéliser divers problèmes dans les systèmes téléphoniques, les systèmes informatiques, les systèmes de production et l'aviation à l'atterrissage.

Dans le présent chapitre, nous allons donner une vue générale sur les FAR. Pour cela, nous introduisons d'abord les fondements mathématiques correspondants aux processus stochastiques nécessaires pour la compréhension d'un tel formalisme.

2. Notions de base

2.1 Variable aléatoire

Définition: Variable aléatoire [LEF 2011]

Une variable aléatoire est une fonction à valeurs numériques (réelles) définie sur un espace d'échantillon. Etant donné un espace probabilisé fondamental Ω et une mesure de probabilité p . On appelle variable aléatoire sur cet espace, toute application X de Ω dans \mathbb{R} telle que :

$$X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\omega \rightarrow X(\omega)$$

Exemple: Si l'on considère la constitution d'une fratrie de deux enfants, l'espace fondamental est constitué des évènements élémentaires suivant:

$$\Omega = \{GG, GF, FG, FF\}$$

Les valeurs possibles prises par la variable aléatoire X , « nombre de filles dans la famille »

$$\text{sont : } X(\Omega) = \{0, 1, 2\}$$

Une variable aléatoire peut être discrète ou continu.

Définition: Variables aléatoires discrètes [WWW21]

Une variable aléatoire est dite discrète si elle ne prend que des valeurs discontinues dans un intervalle donné (borné ou non borné). En règle générale, toutes les variables qui résultent d'un dénombrement ou d'une énumération sont de types discrets.

Soit $\{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots\}$ l'ensemble des valeurs possibles de la variable aléatoire discrète X , et p_k est probabilité que X prend la valeur x_k . La fonction p_x possède les propriétés suivantes :

$$(i) P_k \geq 0 \text{ pour tout } k ; (ii) \sum_{k=1}^{\infty} p_k = 1$$

Définition : Variables aléatoires continues [WWW21]:

Une variable aléatoire est dite continue si elle peut prendre toutes les valeurs dans un intervalle donné (borné ou non borné). En règle générale, toutes les variables qui résultent d'une mesure sont de type continu.

$$(i) f_x(x) \geq 0 \text{ pour tout nombre réel } x; (ii) \int_{-\infty}^{+\infty} f_x(x) dx = 1.$$

2.2 Processus aléatoire stochastique

Définition: Processus stochastique [HEC 2003]

Un processus stochastique $\{X_t, t \in T\}$ est une collection des variables aléatoires indexées par un paramètre t et définies sur un même espace de probabilité. La variable X_t représente l'état du processus au temps t , et l'ensemble de toutes les valeurs possibles pour cette variable est appelée l'espace des états du processus et sera noté E . Si cet ensemble E est dénombrable, le processus est appelé une chaîne.

Un processus est à temps continu lorsque l'ensemble T est non dénombrable. Le plus souvent cet ensemble sera alors égal à \mathbb{R}^+ et le processus sera noté $\{X_t, t \geq 0\}$ ou $\{X_t\}_{t \geq 0}$.

Un processus est à temps discret lorsque T est dénombrable. Sauf mention contraire, nous supposons alors que $T = \mathbb{Z}^+$ et le processus sera noté $\{X_n, n=0, 1, 2, \dots\}$ ou $\{X_n\}$

2.3 Chaîne de Markov à temps discret

Définition : Chaîne de Markov à temps discret [GHA 2012.] Une chaîne de Markov à temps discret est un processus stochastique $\{X_n\}_{n \geq 0}$ à temps discret, défini sur un espace d'états S dénombrable et vérifiant la propriété de Markov suivante :

$$P[X_n = i / X_0, \dots, X_{n-1}] = P[X_n = i / X_{n-1}], \text{ pour tout } i \in S \text{ et } \forall n \geq 1.$$

Cette formule signifie, que l'état courant résume, à lui seul, tout l'historique du système susceptible d'influencer son évolution future.

Définition : Une CMTD homogène [GHA 2012]

Une chaîne de Markov à temps discret est dite homogène (dans le temps) si, pour toute paire d'états (i, j) et en tout instant n , $P[X_n = j / X_{n-1} = i] = P[X_{n+k} = j / X_{n+k-1} = i], \forall k > 0$.

Probabilité de transition

Pour une chaîne de Markov homogène $\{X_n\}_{n \geq 0}$ on a

$$P[X_n = j / X_{n-1} = i] = P[X_1 = j / X_0 = i], \forall n \geq 1.$$

On peut donc définir la probabilité de transition (en 1 étape) de i à j comme

$$p_{ij} = P[X_1 = j / X_0 = i]; \forall (i, j) \in E.$$

Cette formule explique, que la probabilité p_{ij} est égale à la probabilité conditionnelle que le système se retrouve dans l'état j à l'étape suivante sachant qu'il se trouve actuellement dans l'état i .

Description d'une CMTD

Si la CMTD possède $s = |E|$ états, elle peut être décrite soit par : [GHA 2012]

- 1- **Un graphe orienté** : dans lequel on associe à chaque état de la chaîne un nœud, et à chaque transition possible entre deux états i et j avec $p_{ij} > 0$, un arc orienté pondéré par la probabilité de transition.
- 2- **Une matrice de transition** : est une matrice carrée $(P = \| p_{ij} \|)$ d'ordre S dont les lignes et les colonnes sont indexées par les éléments de E .

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & p_{12} & \dots & P_{1j} & \dots \\ P_{21} & p_{22} & \dots & P_{2j} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & p_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots \end{pmatrix}$$

Figure 2.1 : La matrice de transition

Propriétés d'une CMTD

• Probabilités de transition en m étapes [WWW22]

La probabilité conditionnelle d'aller de i à j en m étapes exactement est définie par :

$$P_{ij}^{(m)} = [X_m = j / X_0 = i] = P[X_{n+m} = j / X_n = i], \forall n \geq 1$$

Cette probabilité est indépendante de n car le processus est homogène. Elle est appelée 'probabilité de transition en m étapes de i à j '. La matrice $P^{(m)}$ dont l'élément (i, j) est égal à $p_{ij}^{(m)}$, est appelée la matrice de transition en m étapes.

Remarque

On a évidemment

- $p_{ij}^{(1)} = p_{ij}$ et $P^{(1)} = P$ (équivalent à l'instant $n = 1$).
- $P^{(0)} = I$ (équivalent à l'état initial où $n = 0$), c.-à-d.

$$p_{ij}^{(0)} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

• Distribution initiale [GHA 2012]

La distribution des états d'une chaîne de Markov après n transitions est notée $\Pi^{(n)}$. Cette distribution est un vecteur de probabilités définissant la proportion de temps que le système passera dans chaque état après n étapes.

$$\Pi^{(n)} = \Pi^{(n-1)} P, \forall n \geq 1.$$

Où P est la matrice de transition. La distribution initiale est $\Pi^{(0)}$.

Si l'état initial est connu avec certitude et est égal à i , on a simplement $\Pi_i^{(0)} = 1$, et $\Pi_j^{(0)} = 0$ pour tout $i \neq j$.

• Condition de l'existence et calcul de la distribution stationnaire

Une CMTD possède une distribution stationnaire si et seulement si elle vérifie un ensemble de critères, que nous présentons dans ce qui suit :

Définition: L'irréductibilité [GHA 2012]

Une chaîne de Markov à temps discret est dite irréductible, si et seulement si de tout i on peut atteindre tout état j (en un nombre fini d'étapes).

$\forall i, j \in E, \exists m \geq 1$ tel que $P_{ij}^{(m)} \neq 0$, où $P_{ij}^{(m)}$ désigne la probabilité de transition de l'état i à l'état j en m étapes.

Définition: La périodicité [GHA 2012]

La périodicité d'un état j est définie par : $D(j) = \text{PGCD}\{k \geq 1 / p_{ij}^{(k)} > 0\}$. C'est le plus grand commun diviseur des longueurs des circuits allant de j à j . La période de la chaîne de Markov est égale au PGCD de la période de chacun de ses états.

Une CMTD est dite périodique si sa période est supérieure à 1 (et apériodique si sa période est égale à 1)

Définition: Ergodique [GHA 2012]

Une CMTD finie et apériodique et irréductible est dite ergodique.

Distribution stationnaire [GHA 2012]

Si une CMTD est ergodique, il existe toujours une seule distribution des probabilités stationnaires Π qui est indépendante de l'état initiale Π_0 , et qui est solution du système d'équations linéaire suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi P = \Pi \\ \sum_{i \in E} \pi_i = 1 \end{array} \right.$$

2.4 Chaîne de Markov à temps continu

Définition : chaîne de Markov à temps continu [GHA 2012]

Un processus stochastique $\{X(t)\}_{t \geq 0}$ à espace d'état discret (dénombrable finie ou infinie) et à temps continu, est chaîne de Markov à temps continu (CMTC) si et seulement si :

$$P[X(t_n) = j / X(t_{n-1}) = i_{n-1}, X(t_{n-2}) = i_{n-2}, \dots, X(t_0) = i_0] = P[X(t_n) = j / X(t_{n-1}) = i_{n-1}].$$

$$\forall n > 0 \text{ et } t_0 < t_1 < \dots < t_n.$$

En d'autres termes, la probabilité pour que la chaîne soit dans un certain état à l'instant t_n ne dépend donc que de l'état du processus à l'instant t_{n-1} et pas des états dans lesquels il se trouvait aux instants antérieurs $(t_0, t_1, \dots, t_{n-2})$.

Dans ce qui suit, on s'intéresse à une classe particulière dite CMTC homogènes

Définition : CMTC homogènes [GHA 2012]

Une chaîne de Markov à temps continu est dite homogène, si les probabilités $P[X(t_n) = j / X(t_{n-1}) = i]$ ne dépendent pas des instants d'observation t_n et t_{n-1} , mais uniquement de la durée $(t_n - t_{n-1})$ qui sépare les deux observations.

On peut alors définir la probabilité $p_{ij}(t)$ de se trouver en j alors qu'on était en i , avec t instants de temps plus tôt, comme suit :

$$p_{ij}(t) = P[X(s + t) = j / X(s) = i] \quad \forall s \geq 0.$$

A partir de cette formule, nous déduisons qu'une chaîne de Markov à temps continu est caractérisée par :

- Le temps passé dans tout état i de la chaîne est une variable aléatoire distribuée selon une loi exponentielle de taux μ_i ;
- Les transitions d'un état i vers les autres états sont probabilistes.

Remarque

Dans les CMTC, les taux de transition sont considérés au lieu des probabilités de transition d'état. Le temps de transition de l'état i à l'état j est distribué selon une loi exponentielle de taux $\mu_{ij} = \mu_i p_{ij}$, où p_{ij} est la probabilité de se rendre dans l'état j en quittant l'état i . Le temps passé dans l'état i est exponentiel de taux μ_i .

Description d'une CMTC

En pratique, une CMTC peut être décrite soit par un diagramme de transition d'état ou bien par une matrice des taux de transition dite : générateur infinitésimal [GHA 2012]:

1- **Le diagramme de transition** : est un graphe orienté et libellé dont les sommets correspondent aux états de la chaîne de Markov et les arcs sont étiquetés par les taux de la distribution exponentielle associés à la transition d'un état à un autre.

2- **Le générateur infinitésimal** : est une matrice carrée, d'ordre égal au nombre d'états de la chaîne. Un élément q_{ij} désigne le taux de transition μ_{ij} de l'état i vers l'état j si $i \neq j$. Les éléments diagonaux q_{ii} sont choisis, par définition, égaux à l'opposé de la somme des autres éléments de la ligne :

$$q_{ii} = \begin{cases} \mu_{ij} & \text{Si } j \neq i \\ - \sum_{k=1, k \neq i}^n \mu_{ik} & \text{Si } j = i \end{cases}$$

Où : n correspond au nombre d'états de la chaîne de Markov ; μ_{ij} désigne le taux de la distribution associée à la transition de l'état i à l'état j . S'il n'y a pas de transition, l'élément est nul.

Condition de l'existence et calcul d'une distribution stationnaire

Il existe un lien étroit entre les chaînes de Markov à temps continu et leurs analogues à temps discret, et ce lien peut être formalisé par la définition de la CMTD incluse dans la CMTC.

Définition: Chaîne de Markov incluse [GHA 2012]

La CMTD incluse dans la CMTC de générateur infinitésimal Q , dont les termes q_{ij} ($i \neq j$) sont donnés par $q_{ij} = \mu_i p_{ij}$, est une chaîne de Markov à temps discret dont la matrice de transition a pour éléments les p_{ij} .

$$p_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_i} = \mu_{ij} / \sum_{k, k \neq i} \mu_{ik} .$$

- Une CMTC est irréductible si et seulement si la CMTD incluse est irréductible.
- Une CMTC finie et irréductible, est ergodique. Dans ce cas, le vecteur des probabilités stationnaires désigné par Π tel que $\pi_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \pi_i(t)$ existe toujours et il est l'unique solution du système matriciel :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi Q = 0 \\ \sum_{i \in E} \pi_i = 1 \end{array} \right.$$

- Une CMTC admet une distribution stationnaire sur ses états si elle est ergodique.

La résolution de ce système d'équations, nous donnerait les probabilités stationnaires des différents états, ou encore la proportion de temps que le processus passe en régime stationnaire dans chaque état.

2.5 Processus stochastiques markoviens en temps continu

Le processus exponentiel

Le processus exponentiel est généralement, utilisé pour décrire une durée de vie aléatoire d'un phénomène quelconque, comme :

- La durée d'une communication téléphonique ;
- La durée de vie d'une espèce (homme, animal, etc.) ;

- La durée de réparation d'une machine en panne, dans un parc de machines.

Définition : Loi exponentielle [WWW23]

X est une variable aléatoire définissant la durée de vie d'un phénomène. Si l'espérance de vie du phénomène est $E(X)$ et si la durée de vie est sans vieillissement, c'est-à-dire si la durée de vie au-delà de l'instant T est indépendante de l'instant T, alors X a pour densité de probabilité :

$$\begin{cases} f(t) = 0 & \text{Si } t < 0 \\ f(t) = \frac{1}{E(X)} e^{-\frac{t}{E(X)}} & \text{Pour } t \geq 0 \end{cases}$$

On dit que X suit une loi exponentielle de paramètre $\mu = \frac{1}{E(X)}$

Le processus de Poisson [WWW22]

Le processus de Poisson occupe une place privilégiée pour décrire un flux aléatoire d'arrivée comme :

- l'arrivée des clients vers un guichet ;
- l'occurrence d'accidents dans une entreprise ;
- l'apparition de pannes dans un parc de machines ;
- l'arrivée de tâches dans l'unité centrale d'un ordinateur, etc.

Il y a principalement deux variables aléatoires à considérer :

- 1- Le nombre des arrivées $N(t)$ pendant le temps t ; cette variable est un entier positif ou nul.
- 2- Le temps T qui s'écoule entre deux arrivées consécutives ; cette variable est un nombre réel positif ou nul.

Théorème

Un processus de Poisson vérifie les trois conditions suivantes :

- 1- La probabilité qu'il y ait une arrivée dans un intervalle de temps infiniment petit $\xi > 0$, est égale à $\lambda \xi + o(\xi)$, avec λ constant.

2- Le nombre des arrivées pendant un intervalle de temps quelconque t suit une loi de Poisson de moyenne λt , autrement dit :

$$P(N(t) = k) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!}$$

3- Le temps T qui s'écoule entre deux arrivées consécutives obéit à une loi exponentielle de paramètre λ (moyenne $1/\lambda$), autrement dit :

$$P(T > t) = e^{-\lambda t}$$

Processus de naissance et de mort [WWW22]

Nous introduisons dans cette partie une classe de processus stochastiques connus sous le nom de processus de naissance et de mort qui est un cas particulier des chaînes de Markov à temps continu. Ces processus interviennent non seulement lors de la modélisation de systèmes d'attente aux quels nous nous intéresserons dans la suite de ce chapitre, mais encore ils permettent de façon générale de décrire l'évolution temporelle de la taille d'une population d'un type donné.

Définition Processus de naissance et de morte [WWW22]

Un processus de naissance et de mort est un processus de Markov homogène à espace d'états discret $n = 0, 1, 2, \dots, N$ tel que :

$$q_{i, i+1} = \lambda_i, \lambda_i > 0 \text{ (taux de transition de l'état } i \text{ vers l'état } i+1)$$

$$p_{i, i-1} = \mu_i, \mu_i > 0 \text{ (taux de transition de l'état } i \text{ vers l'état } i-1)$$

Les coefficients non négatifs λ_i et μ_i , sont appelés respectivement taux de naissance (ou de croissance) et taux de mort (ou de décroissance). Le générateur infinitésimal et le diagramme de transitions d'un tel processus, sont comme suit :

$$Q = \begin{pmatrix} -\lambda_0 & \lambda_0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mu_1 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \lambda_1 & \cdot & \cdot \\ 0 & \mu_2 & -(\lambda_2 + \mu_2) & \lambda_2 & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}$$

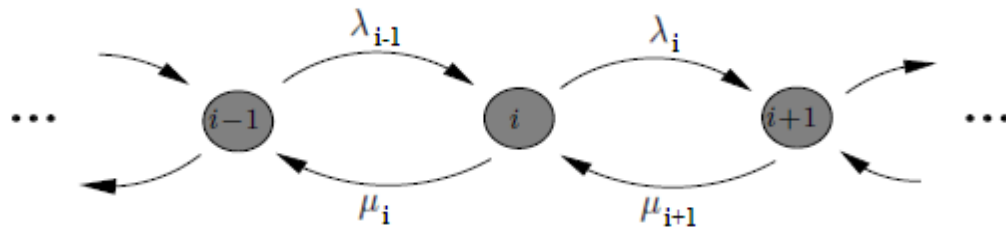


Figure 2.2 : Diagramme de transition du processus de naissance est mort

3. Les files d'attente

Le modèle général décrivant des systèmes avec attente est appelé modèle de file d'attente. Son fonctionnement peut être résumé comme suit : [RUE 1989]

Des clients arrivent à un certain endroit et réclament un certain service. Les instants d'arrivées et les durées de service sont généralement des quantités aléatoires. Si un poste de service est libre, le client qui arrive se dirige immédiatement vers ce poste où il est servi, sinon il prend place dans un espace d'attente dit : buffer (voir figure 2.3).

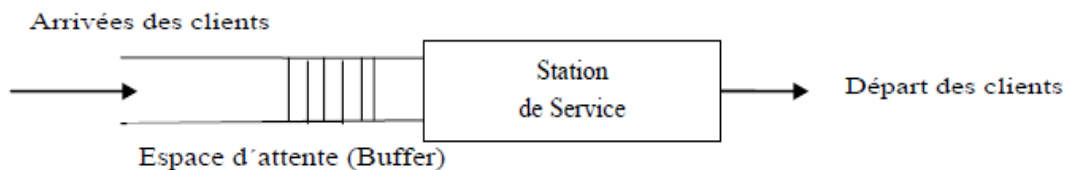


Figure 2.3 : Structure générale d'un système de files d'attente

Le but de l'analyse est de caractériser le degré de performance du système en répondant à des questions du type suivant :

- En moyenne, combien de temps attend un client avant d'être servi ?
- Quel est le nombre moyen de clients dans le système ?
- Quel est le taux d'utilisation moyen des serveurs ?
- etc

Description d'un système de file d'attente

Un système de file d'attente est décrit par **un processus d'arrivée** de clients, **un processus de service** et **une discipline de service d'attente**. Voici les modèles possibles associés à chacun de ces trois points [WWW22]:

Le processus d'arrivée : Nous supposons que les clients arrivent indépendamment les uns des autres. Les durées des inter-arrivées $(X_n)_{n \geq 1}$ sont donc indépendantes. Nous

supposons de plus que ces variables sont de même loi (le processus d'arrivée est un processus de naissance). On distingue essentiellement, quatre processus d'arrivée:

- arrivées à intervalles réguliers: D (déterministe) ;
- arrivées poissonniène : M (Markov);
- arrivées à intervalles suivant une loi d'Erlang d'ordre k: la loi gamma $G(k, \lambda)$;
- arrivées à intervalles suivant une loi générale : G.

Le processus de service : Les durées de services $(Y_n)_{n \geq 1}$ sont des variables positives indépendantes et de même loi. Voici une liste de services possibles et les notations associées :

- Services de durée constante: D (déterministe) ;
- Services de durée suivant une loi exponentielle : M (Markov) ;
- Services de durée suivant une loi d'Erlang : E_k ;
- Services de durée suivant une loi générale : G.

La discipline de service : là aussi différentes policliniques peuvent être appliqués pour la sélection du client en entente à service :

- FIFO : premier arrivée, premier servi ;
- LIFO : dernier arrivée, premier servi ;
- RSS : sélection au hasard d'un client en attente.

Notation d'un système de file d'attente (notation de Kendall) [LAB 2012]

Il existe une nomenclature pour classer les files d'attente. Cette nomenclature est définie de la manière suivante :

Processus d'arrivée / Processus de service / Nombre de serveurs / Capacité maximale de la file d'attente/ Nombre maximal de clients potentiels / Discipline d'accès au service.

4. Les files d'attente avec rappel

Contrairement, aux modèles standards des files d'attente qui considèrent uniquement un seul flux d'arrivées, les modèles de files d'attentes avec rappel (FAR) considèrent un deuxième flux qui est génère par les appels répétés ayant trouvé tous les serveurs occupés ou non disponibles. En effet, ce modèle envisage la possibilité pour un client bloqué de rappeler ultérieurement pour le service, autant de fois que nécessaire, et à des intervalles de temps aléatoires, jusqu'à ce qu'il trouve un serveur libre et que son service puisse commencer (pour les clients persistants) ou bien de rappeler un certain nombre de fois avec possibilité d'abandon (pour les des modèles à clients impatientes).

Description du modèle de file d'attente avec rappel

Un système de file d'attente avec rappel est formé de (voir figure 2.4) :

- Une station de service à c ($c \geq 1$) serveurs parallèles et indépendants. Dans le cas où $c=1$, le modèle est dit mono serveur, mais lorsque le système est composé d'un nombre $c \geq 2$, le modèle est dit multiserveurs.
- Un nombre k de clients alimentant le système et représentant la taille de la source du système. Si le nombre k de clients est fini; le système est dit à source finie (fermé), sinon le système est dit à source infinie (ouvert).
- Un espace théorique d'attente dit orbite qui représente une aire imaginaire de réception des clients bloqués. Il est considéré comme une source des appels répétés.

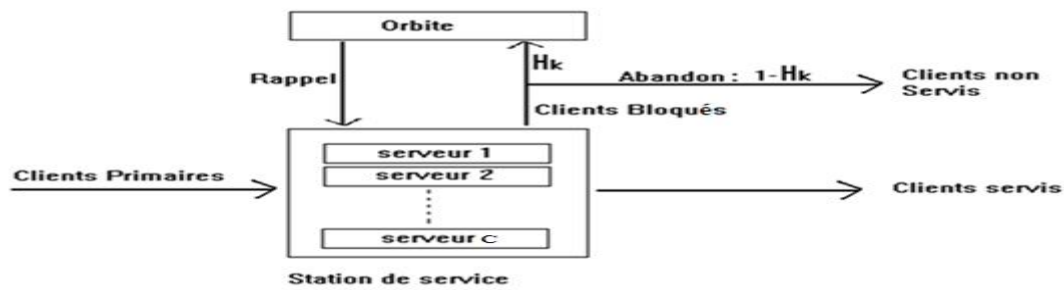


Figure 2.4 : Structure générale des files d'attente avec rappel.

A l'arrivée d'une demande de service d'un client, s'il y a un serveur disponible, le client sera servi immédiatement, et le serveur sera conservé (état occupé) toute la durée du service. A la fin de son service, le client libère le serveur qui devient alors disponible, et le client quitte le système.

Par contre, si tous les serveurs sont occupés, le client bloqué sera obligé d'entrer en orbite, et devient ainsi une source d'appels répétés ; le client en orbite rappellera pour le service à des intervalles de temps aléatoires suivant une loi de probabilité. Deux modèles ont été considérés dans ce cas :

1- Un modèle avec **clients persistants**, où tout client bloqué doit rappeler jusqu'à ce qu'un serveur soit libre. Ceci signifie que tout client bloqué doit rappeler autant de fois que nécessaire jusqu'à ce qu'il soit servi.

2- Un modèle qui considère des **clients impatientes** (non persistants), dans lequel le client après un certain nombre de rappels sans succès, abandonne le service et donc quitte le système définitivement sans être servi.

Notation d'un système de files d'attente avec rappel [YAN 1987]

En se basant sur la notation de Kendall définie pour les modèles de file d'attente, un modèle de file d'attente avec rappel peut être noté comme suit :

Processus d'arrivée / Processus de service / Nombre de serveurs / Capacité maximale du système / Nombre maximal de clients potentiels / Fonction de persévérance 'H'.

Sachant que la fonction de persévérance H est une fonction qui permet de définir le comportement des clients. D'une manière générale, H peut être décrite selon [YAN 1987] par un vecteur $H = (H_0, H_1, H_2 \dots)$ où H_k est la probabilité qu'après la $K^{ième}$ tentative, le client échoue, et rejoint l'orbite, ou il quitte le système avec la probabilité $1 - H_k$.

Si $H_k = 1, \forall n \geq 1$ le système est considéré comme un système sans perte $H = NL$ (no Loss) ou un système avec clients persistants. Et quand $H_k = \theta < 1$, le système est dit un système avec perte géométrique $H = GL$ (Geometric Loss) ou système avec clients impatientes.

Remarque

Lorsque la capacité maximale du système, le nombre maximal de clients potentiels (la source), et la fonction de persévérance H sont omises de la notation, cela signifie que :

- La capacité maximale du système = nombre de serveurs dans le système;
- Le nombre maximal de clients potentiels = ∞ ;
- La fonction de persévérance $H=1$ (système avec client persistants).

Etude de cas : Système de file d'attente avec rappel à source infinie M/M/c

1. Description du modèle

On considère un système de file d'attente avec rappel dans lequel les clients primaires arrivent selon un processus de Poisson de taux λ . L'espace de service se compose de c serveurs identiques. Les temps de services des clients sont indépendants et distribués exponentiellement avec le paramètre μ . Un client qui arrive et trouve tous les serveurs occupés est obligé de quitter l'espace de service et de refaire sa demande après un temps exponentiel de paramètre μ_{rep} . On suppose que les périodes d'inter-arrivées, les temps de services et les taux de rappel sont mutuellement indépendants.

L'état du système peut être décrit par un processus à deux variables $X = \{C(t), N(t), t \geq 0\}$. Sous les conditions vues précédemment, le processus X est une CMTC avec l'espace d'états $E = \{0, 1, 2, \dots, C\} * \mathbb{N}$. Sa matrice de transition $q_{(i,j)(n,m)}$ est définie comme suit : [ART 2002]

Pour $0 \leq i \leq C-1$ on a :

$$Q_{(i,j)(n,m)} = \begin{cases} \lambda, & \text{Si } (n, m) = (i+1, j), \\ \mu * i, & \text{Si } (n, m) = (i-1, j), \\ \mu_{\text{rep}} * j, & \text{Si } (n, m) = (i+1, j-1), \\ - (\lambda + \mu * i + \mu_{\text{rep}} * j), & \text{Si } (n, m) = (i+1, j), \end{cases}$$

Et pour $i = C$ on a :

$$Q_{(C,j)(n,m)} = \begin{cases} \lambda, & \text{Si } (n, m) = (C, j+1), \\ \mu * C, & \text{Si } (n, m) = (C-1, j), \\ \mu_{\text{rep}} * j, & \text{Si } (n, m) = (i+1, j-1), \\ - (\lambda + C * \mu), & \text{Si } (n, m) = (C, j), \end{cases}$$

2. Analyse du modèle

La condition d'ergodicité du processus X peut être exprimé par $\rho = \lambda / (C \mu) < 1$ selon [CHOI 1999]. Notons que cette condition ne dépend pas du taux de rappel. Elle est donc identique à celle de la file $M/M/c$ classique sans rappel. Dans le cas où cette condition est vérifiée, l'état stationnaire sera atteint. Cependant, la distribution stationnaire ne peut pas être traitée de manière analytique et ne peut pas être calculée directement par un algorithme récursif quand le nombre de serveurs est supérieur à 2.

En effet, dans les FARs multiserveurs, le flux des appels répétés et le flux des appels primaires forment un espace hétérogène ce qui cause des difficultés pour l'obtention des résultats analytiques. Des solutions ont été proposées pour des cas particuliers. Cependant, on souligne l'absence de formules explicites pour les principales caractéristiques de performances (distribution stationnaire, probabilité de blocage, longueur moyenne de la file d'attente) quand le nombre de serveurs est supérieur à deux [ART 2002]. Un certain nombre d'articles théoriques intéressants ont été consacrés à la résolution analytique de ce modèle avec un nombre arbitraire de serveurs, où la distribution stationnaire du système est exprimée par des intégrales de contour ou en tant que limites de fractions

continues étendues. Cependant ces approches ne conviennent pas à des implémentations pratiques.

Pour remédier à ce problème les chercheurs se sont orientés vers la proposition de méthodes d'approximations et de modèles tronqués qui peuvent être classés en trois catégories: (i) les approximations, (ii) les modèles tronqués finis et (iii) les modèles tronqués généralisés [ART 2002]. La première catégorie inclut les études où les modèles intraitables sont remplacés par des modèles plus simplifiés. Souvent, l'approximation n'est bonne que dans des cas spéciaux extrêmes (trafic lourd, faible intensité de rappel). Les modèles tronqués finis consistent à remplacer l'espace S infini d'états par un autre espace fini d'états E . Une possibilité simple est obtenue en plaçant une limite à la capacité de l'orbite. A des niveaux élevés de congestion, une troncature finie devient très exigeante en termes de ressources de calcul. Les modèles tronqués généralisés sont plus efficaces. Ils permettent de faire une approximation d'un système infini (qui ne peut pas être résolu directement) par un autre système infini mais calculable. Le fait de faire une approximation du système infini de départ par un autre donne des résultats beaucoup plus précis.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur quelques notions fondamentales concernant les processus stochastiques et les chaînes de Markov qui sont la base de nos modèles. Ensuite, nous avons écrit le modèle des files d'attente et le modèle de files d'attente avec rappel, qui sont fréquemment utilisés pour modéliser le fonctionnement des réseaux mobiles cellulaires, afin de prédire leur comportement, optimiser au mieux leurs indices de performance, etc.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter quelques protocoles ou modèles de contrôle d'admission dans les réseaux mobiles cellulaires, et détailler davantage ceux qui prennent en considération le phénomène de rappel, en se basant sur les files d'attentes avec rappel.

1. Introduction

Les réseaux mobiles cellulaires ont connu ces dernières années une évolution progressive et un développement sans précédent. Cette évolution est due à une variété de services offerts, notamment la communication mobile sans fil "n'importe où et n'importe quand". Contrairement aux réseaux filaires, un des grands challenges pour ce type de réseaux est la mobilité des usagers durant une même communication (changement de cellules). En effet, la disponibilité des ressources radios durant toute la durée de la communication n'est pas nécessairement garantie, et ces utilisateurs peuvent subir une rupture de la communication lors d'un passage d'une cellule à une autre. Cet événement, appelé transfert inter-cellulaire ou "handoff", doit être transparent à l'utilisateur. En effet, du point de vue du client, cette coupure de communication est beaucoup plus désagréable qu'un échec de communication, donc il est parfois préférable de bloquer un nouvel appel, et d'accepter un appel handoff. L'objectif est de garantir un certain niveau de la QoS aux utilisateurs déjà admis.

A cet égard, Il est important d'implanter des mécanismes de contrôle d'admission aux ressources qui permettent de limiter les échecs de transfert inter-cellulaire [SEN 2003]. De nombreuses méthodes sont proposées, elles permettent de favoriser les appels handoff par rapport aux nouveaux appels, on obtient ainsi de bonnes performances en diminuant le blocage des appels en cours. Ces mécanismes peuvent être regroupés en deux classes principales:

- **Mécanismes de contrôle d'admission sans prise en compte du phénomène de rappel**

Les travaux de cette classe visent l'amélioration de la QoS, en proposant des mécanismes qui réduisent le blocage des deux types appels (nouveaux appels, appels handoff), sans prendre en considération les appels répétés des clients.

- **Mécanismes de contrôle d'admission avec prise en compte du rappel**

Souvent, l'élaboration des mécanismes de contrôle d'admission dans les réseaux mobiles cellulaires se base uniquement sur l'hypothèse commune qu'un utilisateur qui n'obtient pas immédiatement un canal quitte le système sans avoir rappelé. Cependant, il a été démontré que l'augmentation du nombre d'utilisateurs qui rappellent, a une forte influence sur le blocage des nouveaux appels et des appels handoff [MAR 2001] et a un impact direct sur les paramètres de performance du réseau. Ainsi, pour des observations réalistes, les modèles avec rappel sont plus adéquats du fait qu'ils prennent en considération le comportement réel des clients.

Pour cette raison, les mécanismes de cette seconde se basent sur des modèles qui admettent les tentatives répétées des clients bloqués. Malheureusement, ces mécanismes ne présentent pas une solution analytique exacte, du fait que les modèles avec rappel notamment le modèle des files d'attente avec rappel n'offrent pas à ce jour aucune solution analytique quand le nombre de serveur est supérieurs à deux. De ce fait, les chercheurs ont recours à des techniques d'approximations et de simulation pour calculer les paramètres de performances. Nous présentons dans ce qui suit une synthèse de ces mécanismes de contrôles d'admission.

2. Mécanismes de contrôle d'admission sans prise en compte du phénomène du rappel

Différents protocoles de contrôle d'admission ont été proposés dans la littérature. Leur but commun est de définir des techniques de réservation des canaux qui permettent d'améliorer la QoS offerte à l'utilisateur tout en diminuant la probabilité de blocage des appels (nouveaux appels et appels handoff).

2.1 Réserveur de canaux gardiens (CG) :

Introduites dans les années 80 [HON 1986], les techniques de réservation de canaux gardiens (souvent nommées Guard Channel Schemes) permettent de réduire la probabilité de coupure des communications en réservant simplement, dans chaque cellule, des canaux à l'usage exclusif d'appels handoff (voir la figure 3.1). Le reste des ressources peut être utilisé pour tous les types d'appels. Dans [SOM 2012], on trouve une extension des techniques CG pour environnement multi-classe de services. En outre que les techniques CG peuvent être utilisées avec FCA (fixed channel allocation) ou DCA (dynamic channel allocation). Dans ce dernier schéma (DCA), les canaux réservés ne sont pas alloués à une cellule particulière mais à toutes les cellules utilisant un même pool commun [KAT 1996]. L'algorithme suivant résume le déroulement de la technique de canaux gardiens (CG) :

Début

/* N : nombre de canaux dans une cellule. N-M : nombre de canaux réservés pour les appels handoff.*/

Si (un nouvel appel) **Alors**

Si (le nombre de canaux occupés < M) **Alors**

 accorder l'appel;

Sinon

 rejeter l'appel;

Si (un appel handoff) **Alors**

Si (le nombre de canaux occupés < N) **Alors**

 accorder l'appel;

Sinon

 rejeter l'appel;

Fin.

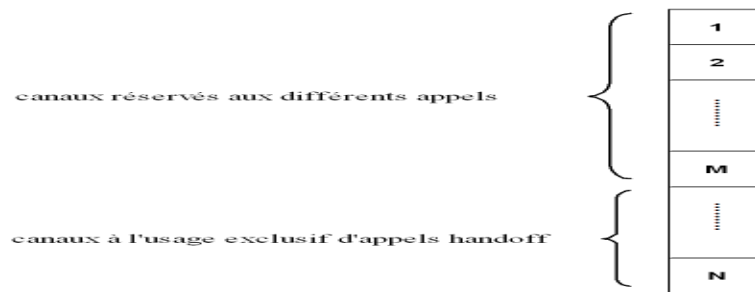


Figure 3.1: Technique de canaux gardiens

Les résultats ont montré que dans ce cas, la probabilité de blocage des nouveaux appels dans une cellule croît avec le nombre de CG réservé aux appels handoff.

2.2 Réserveion de canaux gardiens fractionnés (CGF) :

Suite à l'inconvénient constaté dans la technique de CG, certains chercheurs [RAM 1997] ont proposé les techniques de canaux gardiens fractionnés. De telles techniques minimisent la probabilité de blocage des nouveaux appels et assurent en même temps que la probabilité de coupure de communication ne dépasse pas un seuil prédéfini. Le fonctionnement du mécanisme de CGF est donné par l'algorithme suivant :

Début

```

/*  $\Pi$  est un nombre réel qui appartient à l'intervalle  $[0, 1]$  */
/* Random (0, 1) génère un nombre aléatoire dans l'intervalle  $[0, 1]$  */
/* N : nombre de canaux dans la cellule */
/* M : nombre de canaux réservés aux différents appels ;  $N-(M+1)$  : nombre de canaux réservés
uniquement aux appels handoff */
/* Canal  $N^{\circ} = 'M+1'$  : réservé avec la probabilité ' $\Pi$ ' aux nouveaux appels avec la probabilité 1
aux appels handoff */

```

Si (un nouvel appel) **Alors**

Si (le nombre de canaux occupés < M) **Alors**

accorder l'appel;

Sinon Si (le nombre de canaux occupés == M) et (random(0,1) < Π) **Alors**

accorder l'appel;

Sinon

rejeter l'appel;

Si (un appel handoff) **Alors**

Si (le nombre de canaux occupés < N) **Alors**

accorder l'appel;

Sinon

rejeter l'appel;

Fin.

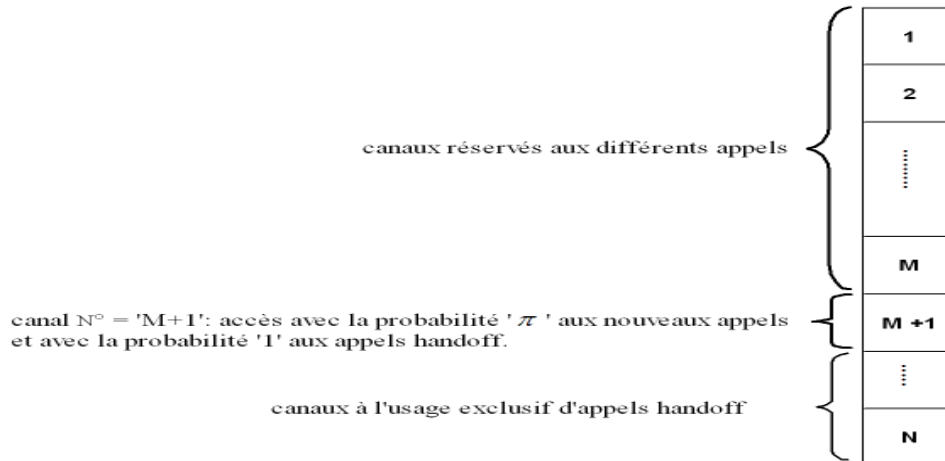


Figure 3.2: Technique de canaux gardiens fractionnés

Sachant que, la valeur de 'I' et le numéro du canal à fractionner, sont déterminés selon l'algorithme suivant : [RAM 1997]

Début

/*pb_H : probabilité de blocage des appels handoff*/

/* **pb_H-fixe** : un seuil réel qui représente la probabilité de blocage tolérée pour les appels handoff, sa valeur est fixée par l'opérateur du réseau*/

/*N : nombre de canaux */

/*I, U, L : réel, et MaxIter, Iter : entier */

/*Résolution = 0.0001 ; /*

1. U = N ; L=0 ; MaxIter =15 ; Iter = 0 ; I= (U+L)/ 2 ;

2. **Si** (pb_H(N,N,0) ≤ **pb_H-fixe**) **Return** N /*pas de canaux gardiens /* ;

3. **Tant que** ((Iter < MaxIter) et (U-L) > Résolution) **Faire**

{**Si** pb_H(N, partie entière de(I), partie décimale de(I)) > **pb_H-fixe**) **Alors**

{ U=I; I= (U+L)/ 2 } ;

Sinon

{ L=I ; I= (U+L)/ 2 } ;

Iter++ }

4. **Return** I /* la partie décimale de I représente la valeur de I, la partie entière représente le numéro du canal à fractionner (M+1 dans notre cas), et (N-I) le nombre de canaux gardiens*/.

Fin.

Dans le même contexte, l'auteur de [ZAN 2004] propose de déterminer le nombre de canaux à réserver dans la cellule par la prédiction. Un tel mécanisme est basé sur le positionnement actuel et l'historique du client comme des entrées pour prédire son mouvement dans le réseau.

L'inconvénient majeur des techniques de réservation des canaux gardiens ou gardiens fractionnés, est évidemment l'augmentation de la probabilité de blocage des nouveaux appels, qui peut être réduite par une mise en attente de ces derniers.

2.3 Mise en attente des nouveaux appels

Dans [ZHA 1991], les auteurs proposent de réserver des canaux pour le handoff et de mettre en attente les nouvelles demandes d'établissement des communications. Les canaux gardiens permettent de réduire le blocage des appels handoff alors que l'attente augmente le trafic offert en réduisant le taux de perte. Les auteurs considèrent qu'il n'y a pas de délai maximal d'attente dans une file d'attente, parce qu'un client est éliminé automatiquement grâce à un 'time-out' interne.

Cette hypothèse est prise en compte dans les calculs ce qui améliore les performances. En effet, les auteurs ne déterminent pas le blocage des nouveaux appels mais le délai d'attente. Les résultats obtenus montrent une augmentation sensible du trafic offert avec une réduction de blocage des appels handoff.

2.4 Mise en attente des appels handoff

La mise en attente d'appels handoff [XHA 2004], permet de réduire la probabilité du transfert inter-cellulaire. Un nouvel appel n'est alors admis que si la file d'attente est vide. Un tel mécanisme est possible grâce au recouvrement des cellules qui permet d'avoir des zones dans lesquelles les mobiles peuvent physiquement communiquer avec deux stations de bases (figure 3.3). La puissance du signal, dans cet intervalle, est entre le seuil d'initialisation du handoff et le seuil de réception de la cellule. Lors du séjour d'un appel dans cet espace, si un canal est disponible dans la cellule destination, le canal de la cellule source est libéré et celui de la nouvelle cellule est attribué. Par contre, si aucune ressource n'est disponible dans la cellule destination, une demande de communication est mise dans une file d'attente. Un appel quitte cette file lorsqu'un canal devient disponible ou lors de sa sortie de la zone de handoff.

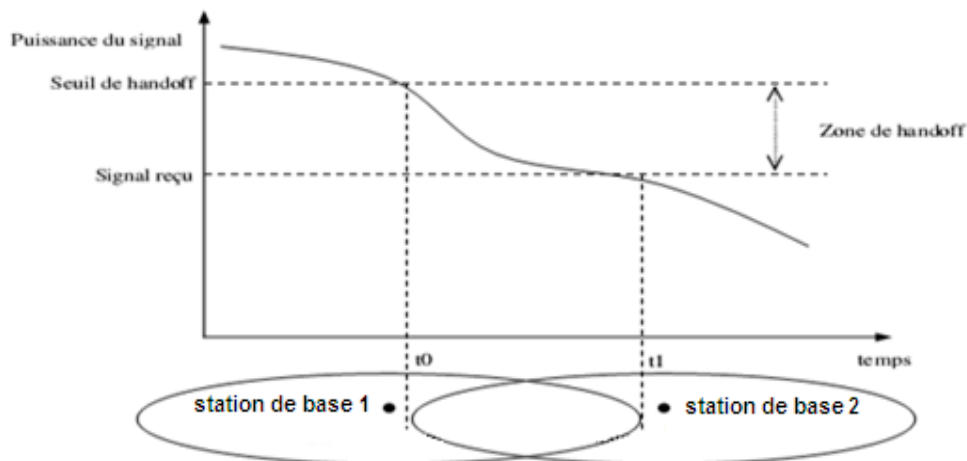


Figure 3.3: Zone de handoff.

Dans [LAN 2011] l'auteur a proposé une réservation dynamique de canaux, en fonction du nombre d'appels handoff dans la file d'attente (figure 3.4). Cette approche a été validée par des résultats qui montrent que la probabilité de blocage d'un appel handoff, la probabilité de blocage d'un nouvel appel, et le délai d'attente des appels handoff ont été réduits significativement.

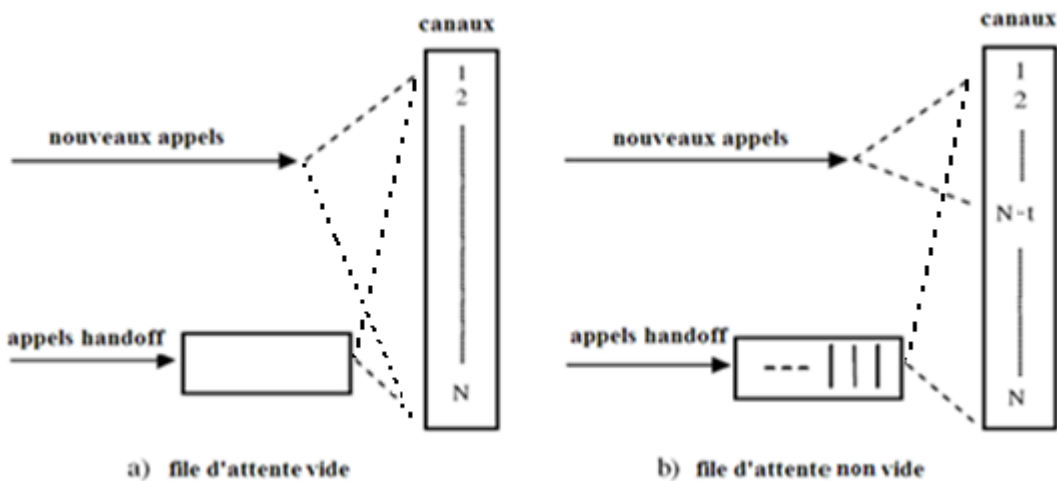


Figure 3.4 : Mécanisme de canaux gardiens dynamique

D'après la figure 3.4, on peut voir que le nombre de canaux accessibles aux deux types d'appels est égal à N quand la file d'attente est vide. Par contre, il sera réduit et égal à $(N-t)$ pour les nouveaux appels dès que la file comprend des appels handoff. Qui auront toujours l'accès aux N canaux.

Cependant, la mise en œuvre de l'attente des appels handoff est délicate. Pour pouvoir l'étudier, il est important de bien estimer les paramètres du trafic tels que le temps de communication, le temps d'attente dans la file d'attente et la vitesse de déplacement.

2.5 Généralisation de la réservation

Le principe de cette approche [NAG 1995] repose sur la notion de Cell-Cluster qui représente un groupe de cellules adjacentes reliées à une seule station de base. Un nouvel appel est accepté si le nombre de communications dans le cluster n'a pas atteint un niveau prédéfini. Cette décision est prise en fonction d'informations globales. L'objectif est de "garantir" aux communications admises dans un cluster une faible probabilité de coupure. L'inconvénient de cette approche est la difficulté de déterminer le seuil d'accepter/rejeter des nouveaux appels. En effet, une surestimation de ce dernier cause forcément une augmentation de la probabilité de blocage d'un nouvel appel.

2.6 Recouvrement des cellules

La représentation hexagonale disjointe des cellules est uniquement utilisée dans le cadre d'études théoriques. Dans la réalité, les cellules se recouvrent les unes et les autres. Ce recouvrement peut permettre à une partie des mobiles se trouvant sur un site, de pouvoir communiquer sur les sites voisins. Les auteurs de [TAI 1997] exploitent cette caractéristique et proposent un mécanisme qui réduit les blocages sans trop perdre en terme de trafic offert. Le principe de fonctionnement de cette approche est, quand un mobile ne trouve pas de canal dans sa cellule, il en cherche un autre dans une des cellules voisines.

L'inconvénient majeur de cette proposition est qu'elle risque de générer beaucoup de signalisation dans les réseaux.

2.7 Réservation par apprentissage

L'apprentissage automatique (machine Learning), un des champs d'étude de l'intelligence artificielle, est la discipline scientifique concernée par le développement, l'analyse et l'implémentation de méthodes automatisables qui permettent à une machine (au sens large) d'évoluer grâce à un processus d'apprentissage, et ainsi de remplir des tâches qu'il est difficile ou impossible de remplir par des moyens algorithmiques plus classiques.

Dans les réseaux mobiles, le trafic des appels (nouveaux, handoff) est inconnu au préalable et peut varier dans le temps, donc il est impossible de trouver une relation de base entre

les différents paramètres (taux d'arrivée, nombre de canaux gardiens, etc). Suite à cette constatation, dans [HAM 2002] l'auteur a fait appel à l'apprentissage, en proposant un algorithme basé sur un automate d'apprentissage qui permet de déterminer instantanément le nombre de canaux gardiens. Ce nombre assure que le blocage des appels handoff ne dépasse pas un certain seuil prédéterminé. L'objectif est de maintenir un certain niveau de la qualité de service prédéfini, quelque soit la variation du trafic des appels.

L'inconvénient de l'apprentissage, est qu'il nécessite une masse importante d'informations.

2.8 Restructuration des cellules

Pour diminuer le blocage des appels handoff, le réseau est structuré en cellules de tailles hétérogènes (réseaux cellulaires hiérarchiques), qui ont donné naissance à deux grandes classes dites : macro-cellules et micro-cellules, où une macro-cellule recouvre une zone plus large que celle de la micro-cellule. Dans cette nouvelle architecture, la vitesse de l'utilisateur est un critère de sélection. En effet, un client ayant une grande vitesse passe par les macro-cellules, et celui avec une vitesse inférieure passe par les microcellules. Les auteurs de [AJM 1999] se basent sur cette restructuration et proposent un mécanisme de réservation qui permet de réduire le blocage des appels handoff. L'inconvénient de cette approche est le critère de sélection (la vitesse de l'utilisateur) qui peut varier d'un instant à l'autre.

2.9 Subdivision de canaux

La subdivision de canaux est une nouvelle technologie qui permet de subdiviser un canal déjà occupé, en deux sous-canaux. L'auteur de [XIA 2009] a exploité cette technique et a proposé un mécanisme de réservation qui permet de réduire le blocage des appels handoff. L'inconvénient de cette approche, est la dégradation de la qualité de communication au moment de la subdivision du canal.

3. Mécanismes de contrôle d'admission avec prise en compte du phénomène de rappel

Vu l'impact négatif des appels répétés sur les performances des réseaux, quelques chercheurs se sont intéressés à la proposition des mécanismes de contrôle d'admission qui prennent en considération ce flux, en plus des nouveaux appels ordinaires et des appels handoff.

3.1 Réserve de canaux avec prise en compte du rappel.

L'auteur de [TRA 1997] est le premier qui a proposé un mécanisme de contrôle avec la prise en compte du phénomène de rappel. Dans cet article [TRA 1997] il a considéré un réseau de

cellules homogènes, où chaque cellule est servie par une seule station de base équipée de N canaux. Les canaux sont partagés entre les différents appels (nouvel appel, handoff, appel répété) selon la technique de réservation illustrée dans la figure 3.5. Ceci nous permettrons par la suite d'obtenir les paramètres de performances globaux du système à partir de l'étude d'une seule cellule.

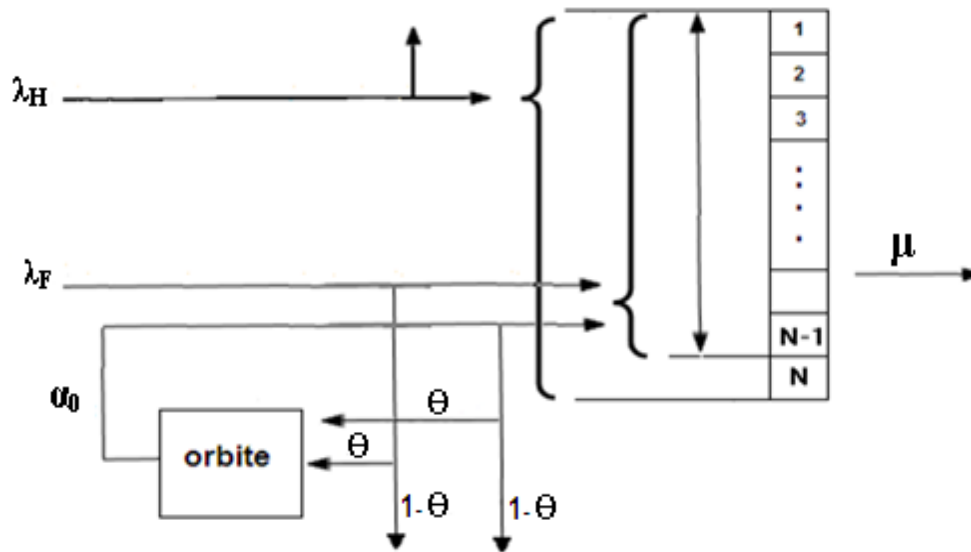


Figure 3.5 : Mécanisme de réservation avec prise en compte du rappel

Description du mécanisme :

Selon ce mécanisme, les nouveaux appels et les appels handoff arrivent suivant une distribution poissonnienne de taux λ_F et λ_H respectivement. Quand un nouvel appel arrive et trouve l'un des $(N-1)$ canaux libres, il sera servi et quittera le système. Dans le cas où les $(N-1)$ canaux sont occupés il quittera le système avec la probabilité ' $1-\theta$ ' (θ : fonction de persévérance) ou entrera dans l'orbite avec la probabilité ' θ '.

Les appels bloqués dans l'orbite rappelleront plus tard pour le service suivant une distribution exponentielle de taux α_0 , et ils seront traités de la même manière que les nouveaux appels.

Les appels handoff ont l'accès total aux (N) canaux. Si un appel handoff arrive et trouve un canal libre il sera servi, sinon il sera perdu dans le cas où tous les (N) canaux sont occupés. La

durée moyenne de la communication des trois types d'appels est modélisée par une distribution exponentielle de taux μ .

Formulation du mécanisme sous forme de CMTC :

Le fonctionnement de la cellule, est décrit à l'aide du processus $X = \{C(t), N(t), t > 0\}$ où $C(t)$ est le nombre de canaux occupés, et $N(t)$ est le nombre d'appels en orbite à n instant 't'. Ainsi, le processus X est une chaîne de Markov irréductible à temps continu avec l'espace d'états $E = \{1, 2, \dots, N\} * \{1, 2, \dots, Q\}$ (voir la figure 3.6), où N correspond au nombre total de canaux de la station de base de la cellule et Q correspond à la taille maximale de l'orbite.

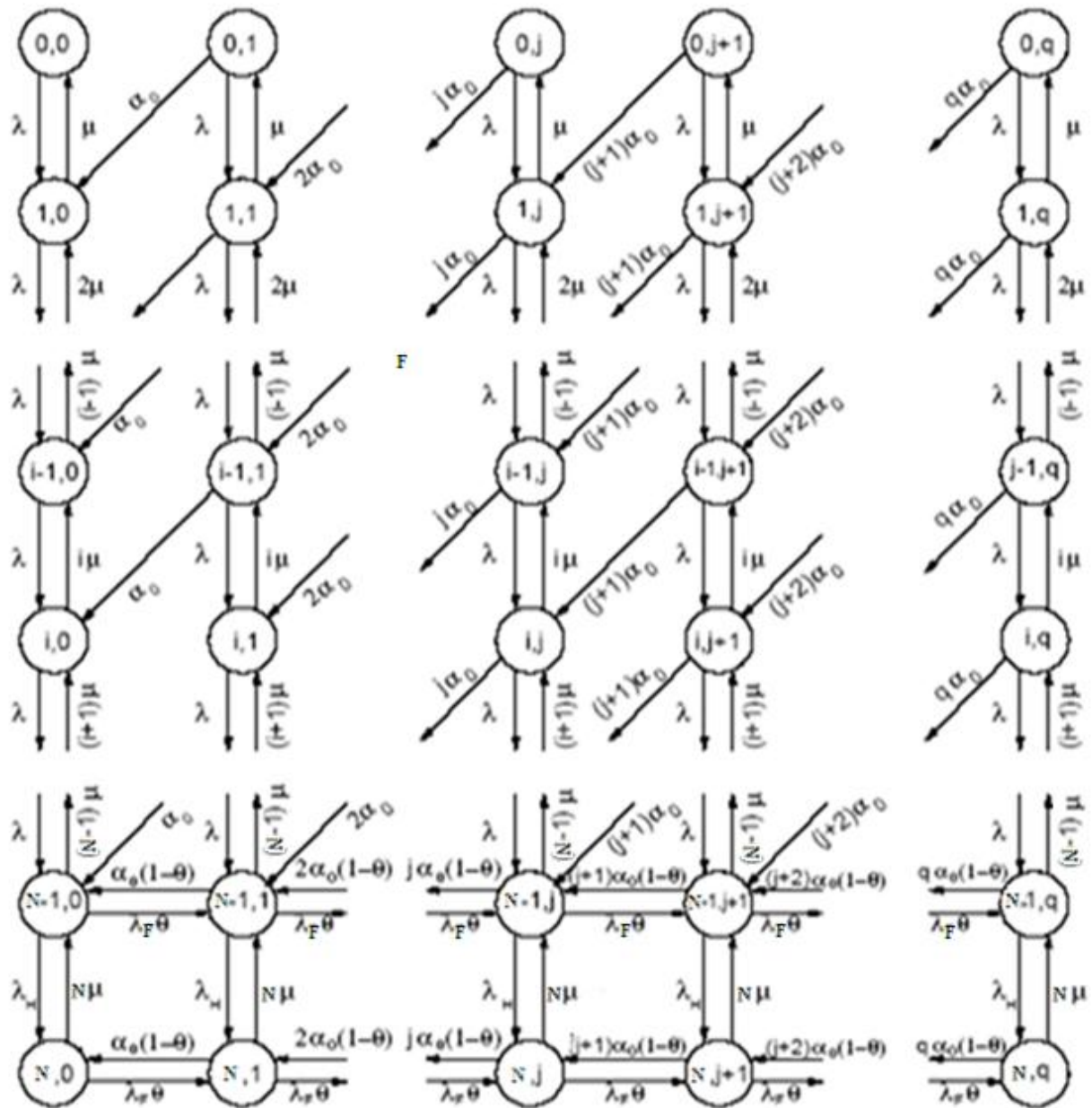


Figure 3.6: La CMTC décrivant le fonctionnement de la cellule

Le tableau ci-dessous résume les différentes transitions du système :

Transition d'état	Taux de transition d'état	Evénement
$E(i, j) \rightarrow E(i+1, j)$	$\lambda = \lambda_F + \lambda_H, 0 \leq i < N, 0 \leq j \leq Q$	arrivée d'un nouvel appel ou d'un appel handoff
$E(i, j+1) \rightarrow E(i+1, j)$	$(j+1) * \alpha_0, 0 \leq i < N, 0 \leq j < Q$	arrivée d'un appel répété
$E(i, j) \rightarrow E(i-1, j)$	$i * \mu, 0 < i \leq N, 0 \leq j \leq Q$	terminaison d'un appel
$E(N, j) \rightarrow E(N, j-1)$	$j * \alpha_0 * (1 - \theta), 1 \leq j \leq Q$	un appel répété est perdu
$E(i, j) \rightarrow E(i+1, j-1)$	$j * \alpha_0, 0 \leq i \leq N-1, 1 \leq j \leq Q$	arrivée d'un appel répété
$E(i, j) \rightarrow E(i, j+1)$	$\lambda_F * \theta, N-1 \leq i \leq N, 0 \leq j < Q.$	un nouvel appel est entré dans l'orbite
$E(N-1, j) \rightarrow E(N, j)$	$\lambda_H, 0 \leq j \leq Q.$	arrivée d'un appel handoff et attribution du canal gardien

En outre, l'auteur a proposé une méthode récursive pour calculer les probabilités à l'état stationnaire, cette méthode a fait l'objet d'une amélioration dans [DO 2010].

Résultat

Les résultats montrent que le phénomène de rappel fait augmenter la probabilité de blocage des deux types (handoff et nouvel appel). Cependant avec la technique de réservation de canaux gardiens le blocage des appels handoff est réduit.

Critique

L'auteur montre que le phénomène de rappel a augmenté le blocage des appels (handoff et nouveaux appels), et propose le mécanisme de réservation comme une solution permettant de diminuer uniquement le blocage des appels handoff. Cependant, il néglige le blocage des nouveaux appels.

3.2 Réserve avec prise en compte du rappel des différents types d'appels

Contrairement, à l'approche définie précédemment et dans laquelle seuls les nouveaux appels sont concernés par les rappels, le travail présenté dans [MAR 2001] porte sur un

mécanisme de réservation de canaux, en considérant le rappel des différents appels bloqués (nouveaux appels et appels handoff).

Dans cette article, on s'intéresse à un modèle où :

- Le temps d'arrivée des nouveaux appels suit une loi poissonnienne de taux λ_F ;
- Le temps d'arrivée des appels handoff suit une loi poissonnienne de taux λ_H ;
- La durée de service suit une loi exponentielle de taux μ_t ;
- Le temps de rappel (des nouveaux appels) suit une distribution exponentielle de taux α_0 ;
- Le temps de rappel (appels handoff) suit une distribution exponentielle de taux α_1 ;
- La cellule est équipée de N canaux.

Description du mécanisme:

Ce mécanisme peut être vu comme une amélioration de celui proposé dans la section précédente, dans lequel l'auteur a rajouté les points suivants :

- Quand un appel handoff est bloqué, il entrera dans l'orbite associé aux appels handoff pour d'éventuelles tentatives.
- Le taux de service total μ_t ($\mu_t = \mu_r + \mu_s$) est obtenu par l'addition du taux moyen de la communication dans la cellule (μ_s) avec le taux moyen de résidence de l'appel dans la cellule (μ_r) qui décrit le temps moyen entre deux appels handoff successifs. Une telle modélisation concerne aussi bien les appels servis dans la cellule courante (μ_s), que les appels transférés vers une cellule voisine (μ_r).
- Un nouvel appel ou appel handoff bloqué rappelle au moins une fois.

Nous prenons en considération ces trois points, le mécanisme de contrôle est modifié, comme le montre la figure suivante :

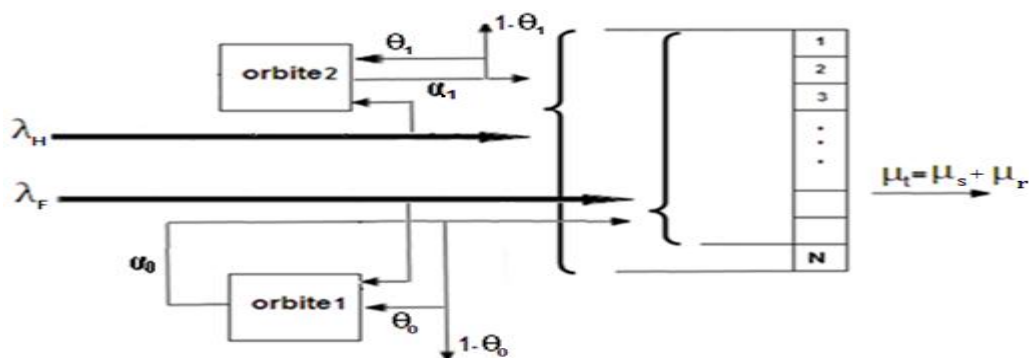


Figure 3.7: Mécanisme de réservation avec prise en compte du rappel des différents d'appels

Formulation du mécanisme sous forme de CMTC :

Pour réduire le nombre d'états de la CMTD décrivant le fonctionnement de la cellule, l'auteur a proposé une approximation qui consiste à décrire l'état du système par un vecteur $E = (i, b_n, b_H)$ où :

- i : le nombre d'appels actifs dans la cellule $0 \leq i \leq N$ (où N est le nombre de canaux dans la cellule) ;
- b_n : une variable logique de l'ensemble $\{0, 1\}$ qui indique la présence des nouveaux appels bloqués dans l'orbite associé. Ainsi, $b_n = '1'$ s'il y a au moins un appel dans l'orbite, et $b_n = '0'$ sinon ;
- b_H : une variable logique de l'ensemble $\{0, 1\}$ qui indique la présence des appels handoff bloqués dans l'orbite associé. Ainsi, $b_H = '1'$ s'il y a au moins un appel handoff dans l'orbite, et $b_H = '0'$ sinon.

Selon cette approximation, on ne tient compte que de l'indication globale sur l'existence (ou non) d'appels dans leur orbite. Par contre, les autres informations telles que le nombre moyen d'appels sont négligées. Cependant, cette négligence a obligé les auteurs de [MAR 2001] à définir une approximation pour décrire deux aspects :

- Les séquences de tentatives générées par les nouveaux appels bloqués ;
- Les séquences de tentatives générées par les appels handoff bloqués ;
- Les instants dans lesquelles l'orbite des nouveaux appels devient vide (la remise à '0' de b_n) ;
- Les instants dans lesquelles l'orbite des appels handoff devient vide (la remise à '0' de b_H).

Les séquences de tentatives générées par les nouveaux appels bloqués ont été approximées par un processus de Poisson de taux $\alpha_0 * N_n$ (respectivement $\alpha_1 * N_h$ pour les appels handoff bloqués) où N_n représente le nombre moyen d'appels dans l'orbite1 et N_h représente le nombre moyen d'appels handoff dans l'orbite2.

En appliquant cette approximation, on obtient un mécanisme d'admission décrit par une CMTC avec un nombre d'états réduit à $4*(N+1)$, représenté dans la figure 3.8.

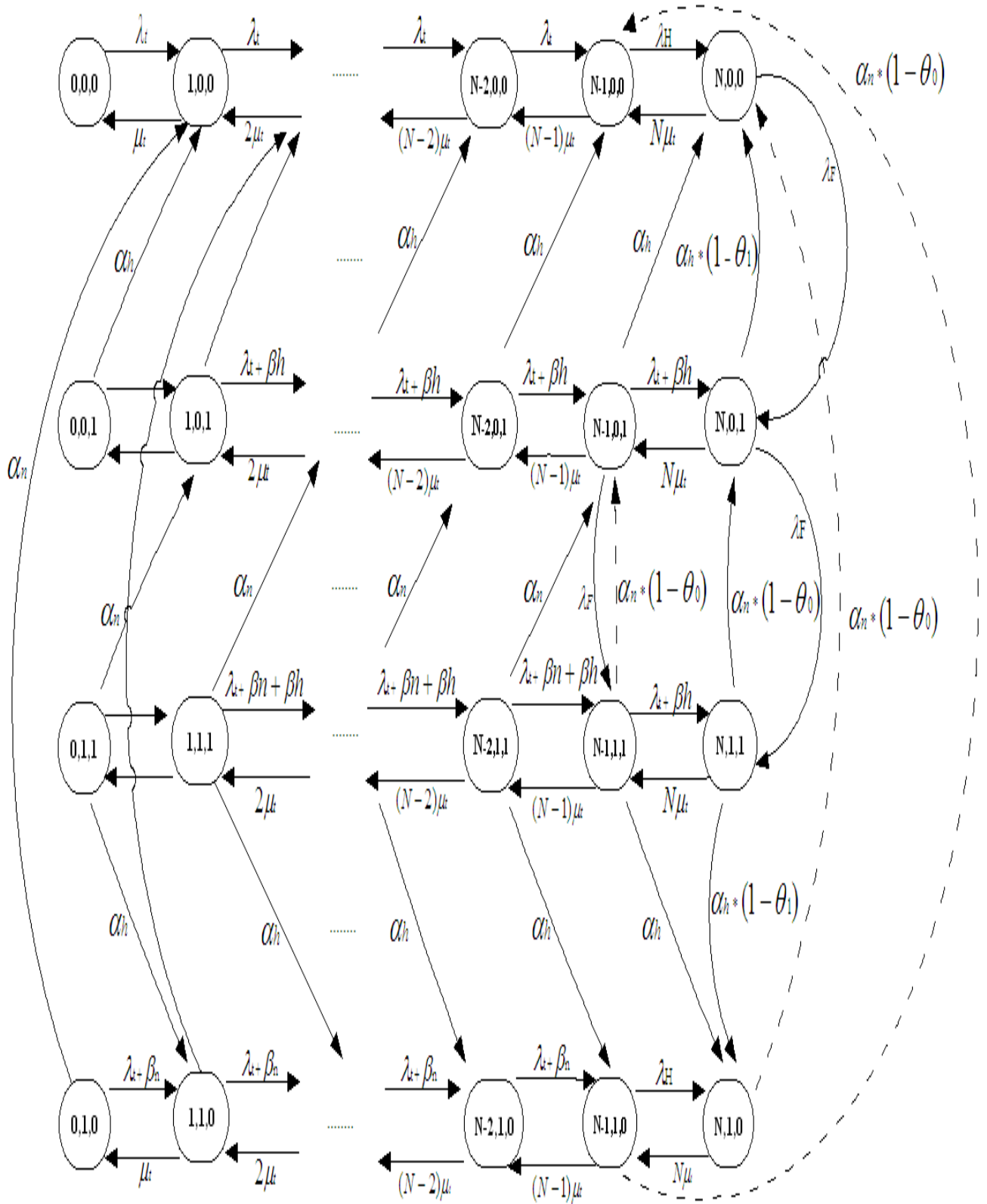


Figure 3.8 : La CMTA approximative

Les différentes transitions entre les états du système sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Transition d'état	Taux de transition d'état	Evénement
$E(i-1, 0, 0) \rightarrow E(i, 0, 0)$	$\lambda_t = \lambda_H + \lambda_F, 1 \leq i < N - 1$	arrivée d'un nouvel appel, ou d'un appel handoff
$E(N-1, 0, 0) \rightarrow E(N, 0, 0)$	λ_H	arrivée d'un appel handoff
$E(i, b_n, b_H) \rightarrow E(i-1, b_n, b_H)$	$(i+1) * \mu_t, 1 \leq i \leq N$	un appel est servi, ou transféré vers une cellule adjacente
$E(i, 0, b_H) \rightarrow E(i+1, 1, b_H)$	$\alpha_n, 0 \leq i \leq N - 2$	arrivée d'un appel répété de l'orbite1
$E(i, b_n, 0) \rightarrow E(i+1, b_n, 1)$	$\alpha_h, 0 \leq i \leq N - 1$	arrivée d'un appel répété de l'orbite2
$E(i, 0, 1) \rightarrow E(i+1, 0, 1)$	$\lambda_t + \beta_h, 0 \leq i < N$	arrivée d'un : - nouvel appel, ou - nouvel appel handoff, ou - appel répété de l'orbite2
$E(i, 1, 0) \rightarrow E(i+1, 1, 0)$	$\lambda_t + \beta_n, 0 \leq i < N$	arrivée d'un : - nouvel appel, ou - nouvel appel handoff, ou - appel répété de l'orbite1
$E(i, 1, 1) \rightarrow E(i+1, 1, 1)$	$\lambda_t + \beta_n + \beta_h, 0 \leq i \leq N-2$	arrivée d'un : - nouvel appel, ou - nouvel appel handoff, ou - appel répété de l'orbite2, ou - appel répété de l'orbite1
$E(i, b_n, b_H) \rightarrow E(i+1, b_n, b_H)$	$\lambda_H + \beta_h, i \in \{N-2, N-1\}$	arrivée d'un : - appel handoff, ou - appel répété de l'orbite2
$E(i, 1, b_H) \rightarrow E(i, 0, b_H)$	$\alpha_n * (1 - \theta_0), i \in \{N-1, N\}$	un appel répété de l'orbite1 est perdu (θ_0 : fonction de persévérance)
$E(N, b_n, 1) \rightarrow E(N, b_n, 0)$	$\alpha_h * (1 - \theta_1)$	un appel répété de l'orbite2 est perdu (θ_1 : fonction de persévérance)

Les transitions pondérées par α_n (resp α_h pour les appels handoff) signifient que l'orbite1 sera vidé après l'attribution d'un canal à l'appel répété. Par contre, les transitions pondérées par β_n (resp β_h pour les appels handoff) signifient l'orbite1 ne sera vidé qu'après l'attribution d'un canal. Les valeurs de ces paramètres sont données par les formules suivantes [MAR 2001]:

$$- \alpha_n = (1 - P_n) * N_n * \alpha_0$$

$$- \alpha_h = (1 - P_h) * N_h * \alpha_1.$$

$$- \beta_n = P_n * N_n * \alpha_0$$

$$- \beta_h = P_h * N_h * \alpha_1.$$

- P_n est la probabilité qu'un nouvel appel entre dans l'orbite1 et qu'il le trouve non vide. Ainsi que P_h est la probabilité que les appels handoff entrent dans l'orbite2 et qu'il le trouve non vide.

$$P_n = \frac{E(N,1,0) + E(N,1,1)}{E(N,1,0) + E(N,1,1) + E(N,0,0) + E(N,0,1)}$$

$$P_h = \frac{E(N,0,1) + E(N,1,1)}{E(N,0,0) + E(N,1,1) + E(N,0,1) + E(N,1,0)}$$

- N_n : le nombre moyen de nouveaux appels dans l'orbite1, $N_n = P_n / (1 - P_n)$.

- N_h : le nombre moyen d'appels handoff dans l'orbite2, $N_h = P_h / (1 - P_h)$.

Pour déterminer les valeurs approximatives des paramètres N_n , N_h , P_n et P_h , l'auteur a fait appel à une procédure itérative définie comme suit:

1. Initialiser les paramètres N_n , N_h , P_n et P_h par des valeurs nulles ;
2. Calculer la probabilité d'états stationnaires ;
3. Calculer à nouveau les paramètres N_n , N_h , P_n et P_h (en utilisant les formules précédentes) ;
4. Calculer la différence entre les nouvelles valeurs de ces paramètres et celles obtenues ; dans l'itération précédente.
5. Si l'écart est inférieur à un seuil donné, arrêter le calcul, sinon aller à l'étape 2.

Résultat

Ce travail présente un mécanisme approximatif basé sur la réservation, qui permet d'obtenir les paramètres de performances avec un taux de calcul réduit par rapport à celui du mécanisme précédent.

Critique

Ce modèle donne l'accès des appels handoff bloqués au canal gardien, ce qui est contradictoire avec le principe de réservation.

3.3 Mise en attente des appels handoff avec prise en compte du rappel

Afin de bénéficier des avantages des deux approches [XHA 2004] et [RAM 1997] et garantir une fiable probabilité de coupure aux appels handoff, l'auteur de [JOS 2005] a élaboré un mécanisme de contrôle d'admission (figure 3.9) qui combine les techniques de la mise en attente des appels handoff, du rappel des nouveaux appels bloqués et de la réservation de canaux fractionnés issus respectivement des approches suscités.

Description du mécanisme

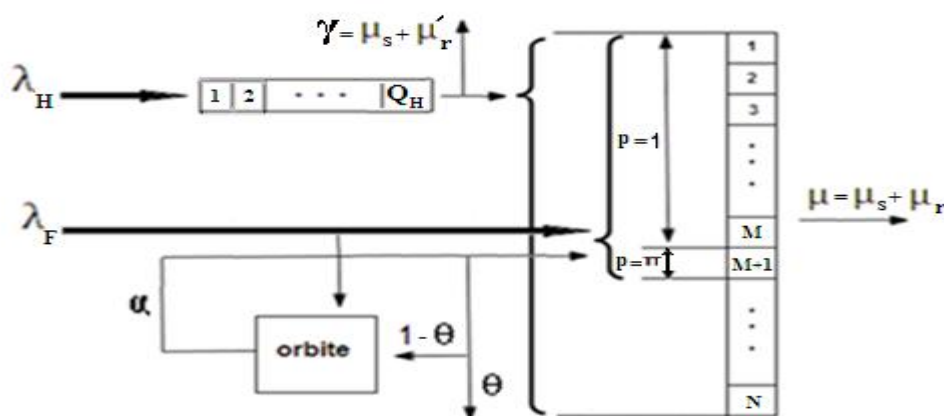


Figure 3.9: Mécanisme de mise en attente des appels handoff avec prise en compte du rappel

La cellule est équipée de N canaux de communications qui sont partagés entre les différents types appels (nouvel appel, appel handoff, appel répété) selon la technique de canaux fractionnés. L'algorithme suivant résume ce principe de fonctionnement:

Début

/* Random (0, 1) génère un nombre aléatoire dans l'intervalle [0, 1] */

/* Π est un nombre réel appartenant à l'intervalle [0, 1], */

/* N : nombre de canaux dans la cellule */

/* M : nombre de canaux réservés aux différents types d'appels ; $N - (M + 1)$: nombre de canaux réservés uniquement aux appels handoff */

/*Canal N°= 'M+1' : réservé avec la probabilité 'Π' aux nouveaux appels et aux appels répétés et avec la probabilité '1' aux appels handoff */

Si (un nouvel appel) ou (appel répété) **Alors**

Si (le nombre de canaux occupés < M) **Alors**

accorder l'appel;

Sinon Si (le nombre de canaux occupés == M) et (random(0,1) < Π) **Alors**

accorder l'appel;

Sinon

rejeter l'appel;

Si (un appel handoff) **Alors**

Si (le nombre de canaux occupés < N) **Alors**

accorder l'appel;

Sinon

rejeter l'appel.

Fin.

Le trafic offert dans la cellule est composé de deux flux d'arrivées différents qui suivent la loi de Poisson. Le premier flux avec un taux λ_F représente les appels initialisés dans la cellule, et le deuxième flux avec un taux λ_H représente les appels handoff provenant des cellules adjacentes. La valeur λ_H est déterminée par un calcul récursif en supposant que dans l'état d'équilibre les appels entrants sont égaux aux appels sortants, comme est synthétisé dans l'algorithme suivant [MAR 1999] :

1. Choisir une valeur arbitraire initiale pour λ_H ;
2. Calculer les probabilités d'états stationnaires;
3. Calculer le nombre moyen $E(N)$ d'appels en service;
4. Calculer à nouveau la valeur de λ_H par la formule suivante :

$$\lambda_H = E(N) * \mu_r \quad (\mu_r \text{ est le taux moyen de résidence dans la cellule})$$

5. Si $|\lambda_H \text{ nouvel} - \lambda_H \text{ ancienne}| \leq$ à un certain seuil prédéfini, arrêter l'exécution. Sinon, aller à l'étape 2.

La durée moyenne de la communication et le temps moyen de résidence d'un appel dans une cellule suivent une distribution exponentielle avec des taux μ_s , μ_r respectivement, à partir desquels on déduit le taux moyen d'occupation du canal ($\mu = \mu_r + \mu_s$).

Quand un nouvel appel arrive et trouve un canal libre (selon la technique de CGF), il sera servi. Dans le cas où les canaux sont occupés, le nouvel appel sera bloqué et entrera dans l'orbite. Cette approche suppose que le client rappelle au moins une fois.

De la même manière, quand un appel répété arrive (suivant une loi exponentielle de taux α) et trouve un canal libre (selon la technique de CGF), il sera servi et quittera le système. Dans le cas contraire (canaux occupés), l'appel répété entrera dans l'orbite avec la probabilité $1-\theta$ (θ : fonction de persévérance) ou il quittera le système définitivement avec la probabilité θ .

Quand un appel handoff arrive et trouve l'un des N canaux libre, il sera servi puis quittera le système. Dans le cas contraire (N canaux occupés), l'appel handoff est mis dans une file d'attente. La technique de la mise en attente des appels handoff repose sur l'hypothèse que le processus d'allocation de canaux peut être retardé pendant le séjour de ces derniers dans la zone de chevauchement. Ce processus de retardement est modélisé par une distribution exponentielle de taux μ'_r .

Le temps moyen d'attente d'un appel handoff dans la file d'attente suit une loi exponentielle de taux $\gamma = \mu'_r + \mu_s$. En effet, lors du séjour d'un appel handoff dans la zone de chevauchement, un de ces trois événements pourrait se produire : 1) l'appel handoff est servi par l'ancienne cellule (μ_s) ; 2) l'appel handoff est perdu après l'expiration du délai de retardement (μ'_r) ; 3) un canal dans la cellule de destination (μ_r) est attribué à l'appel handoff.

Formulation du mécanisme sous forme de CMTC :

Le fonctionnement de la cellule en question est modélisé par un processus prés-naissance-mort (QBD) [NEU 81] avec un espace d'états $\{1,2, \dots, i \dots N+Q_H\} * \{1,2,\dots, j \dots Q\}$. Ce processus forme une CMTC à deux dimensions $X(i, j)$ (voir figure 3.10) dont :

- i : le nombre de canaux occupés, plus le nombre d'appels handoff dans la file d'attente associée ($0 \leq i \leq (N+Q_H)$) ;
- j : le nombre d'appels dans l'orbite ($0 \leq j \leq Q$) .

D'autre part, pour réduire le nombre d'états et diminuer le taux de calcul, l'auteur a proposé une approximation qui consiste à regrouper les états $(i, Q), (i, Q+1), \dots, (i, \infty)$ en un seul état (i, Q) , et les transitions sortantes de ce dernier sont approximé en fonction de deux paramètres Q_m et P , dont les valeurs sont définies selon l'hypothèse suivante:

- Q_m : le nombre moyen d'appels dans l'orbite quand $j \geq Q$, dont la valeur est donnée par la formule suivante :

$$Q_m = \frac{\lambda_f[(1-\Pi)[E(M,Q)+E(M,Q-1)] + \sum_{i=M+1}^{N+Q_H} [E(M,Q)+E(M,Q-1)]}{\alpha[\sum_{i=0}^{M-1} E(i,Q) + (1-\Pi)\theta E(M,Q) + \Pi E(M,Q) + \theta \sum_{i=M+1}^{N+Q_H} E(M,Q)]}$$

- P : la probabilité que le nombre moyen d'appels répétés dans l'orbite soit supérieur ou égal à 'Q' après l'attribution d'un canal à un appel répété. Sa valeur est donnée par la formule suivante :

$$P = \frac{(1-\Pi)E(M,Q) + \sum_{i=M+1}^{N+Q_H} E(M,Q)}{(1-\Pi)[E(M,Q)+E(M,Q-1)] + \sum_{i=M+1}^{N+Q_H} [E(M,Q)+E(M,Q-1)]}$$

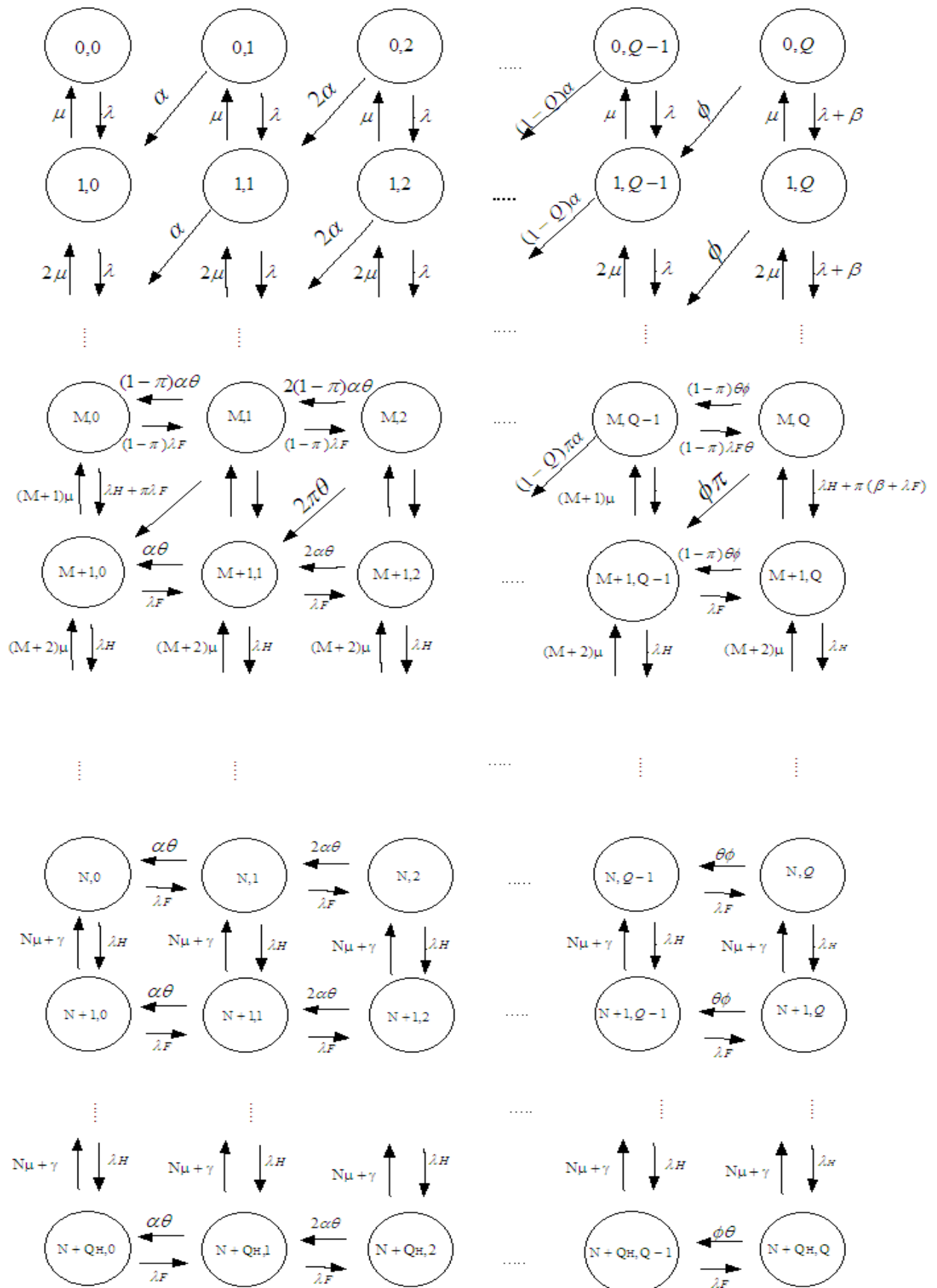


Figure 3.10: La CMTC décrivant le fonctionnement de la cellule

Le tableau ci-dessous résume les transitions entre les différents états du système :

Transition d'état	Taux de transition d'état	Evénement
$E(i, j) \rightarrow E(i+1, j)$	$\lambda = \lambda_F + \lambda_H, 0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq Q-1.$	arrivée d'un nouvel appel ou d'un appel handoff
$E(i+1, j) \rightarrow E(i, j)$	$(i+1) * \mu, 0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq Q-1.$	un appel est terminé ou transféré vers une cellule adjacente ($\mu = \mu_s + \mu_r$)
$E(i, j) \rightarrow E(i+1, j-1)$	$j * \alpha, 0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq Q-1.$	arrivée d'un appel répété
$E(i, Q) \rightarrow E(i+1, Q-1)$	$\phi, 0 \leq i \leq m-1, j = Q.$	arrivée d'un appel répété $\phi = Q_m * \alpha * (1 - P)$
$E(i, Q) \rightarrow E(i+1, Q)$	$\lambda + \beta, 0 \leq i \leq m-1, j = Q.$	arrivée d'un appel handoff ou d'un nouvel appel, ou d'un appel répété $\beta = Q_m * \alpha * P$
$E(M, j) \rightarrow E(M+1, j)$	$(\pi * \lambda_F) + \lambda_H, i = m, 0 \leq j \leq Q-1.$	arrivée d'un appel handoff ou d'un nouvel appel (l'accès au canal $N^o = m+1$ est avec la probabilité ' π ' selon la technique de CGF).
$E(M, j) \rightarrow E(M+1, j-1)$	$\pi * j * \alpha, 1 \leq j < Q.$	arrivée d'un appel répété
$E(M, j) \rightarrow E(M, j+1)$	$(1 - \pi) * \lambda_F, 0 \leq j < Q.$	un nouvel appel entre dans l'orbite
$E(M, j) \rightarrow E(M, j-1)$	$j * \alpha * (1 - \pi) * \theta, 1 \leq j \leq Q-1.$	un appel répété est perdu
$E(M+1, j) \rightarrow E(M+1, j-1)$	$j * \alpha * \theta, 1 \leq j \leq Q-1.$	un appel répété est perdu
$E(i, j) \rightarrow E(i+1, j)$	$\lambda_H, M+1 \leq i \leq (N+Q_H) - 1, 0 \leq j \leq Q.$	arrivée d'un appel handoff
$E(i+1, j) \rightarrow E(i, j)$	$N * \mu + \gamma, M+1 < i \leq (N+Q_H) - 1, 0 \leq j \leq Q.$	un appel est terminé ou transféré vers une cellule adjacente, ou servi par l'ancienne cellule dans la zone de chevauchement, ou il est perdu
$E(i, j) \rightarrow E(i, j+1)$	$\lambda_F, M+1 \leq i \leq (N+Q_H) - 1, 0 \leq j \leq Q-1.$	un nouvel appel est entré dans l'orbite
$E(i, j) \rightarrow E(i, j-1)$	$j * \alpha * \theta, M+1 \leq i \leq (N+Q_H) - 1, 0 \leq j \leq Q-1.$	un appel répété est perdu

A noter que :

- Q est la valeur à partir de laquelle la CMTC est tronquée ;
- Les transitions pondérées par ϕ ($\phi = Q_m * \alpha * (1 - P)$) pour $j = 'Q'$, signifient qu'après l'attribution d'un canal à un appel répété, le nombre moyen des appels répétés dans l'orbite est inférieur à Q ;
- Les transitions pondérées par β ($\beta = Q_m * \alpha * P$) pour $j = 'Q'$, signifient qu'après l'attribution d'un canal à un appel répété, le nombre moyen des appels répétés dans l'orbite est supérieur ou égal à Q ;
- Les transitions pondérées par $N * \mu + \gamma$ signifient que :
 - Un appel (handoff, nouvel, appel répété) est servi avec le taux $C * \mu$ où $\mu = \mu_r + \mu_s$, ce qui explique que la communication est finie (μ_s) ou transférée vers une cellule adjacente (μ_r) ;
 - Ou qu'un appel handoff de la file d'attente (zone de chevauchement) est servi avec le taux γ où $\gamma = \mu_s + \mu'_r$, ce qui explique que l'appel handoff est servi par l'ancienne cellule (μ_s) ou bien que le délai d'attente est expiré et l'appel handoff est perdu (μ'_r).

Pour obtenir les probabilités à l'état stationnaire le même l'auteur a développé un algorithme récursif. Cet algorithme a été amélioré par [DO 2011] en termes de taux de calcul.

Résultat

Cette approche présente un mécanisme de contrôle, qui assure que le blocage d'appels handoff ne dépasse pas un niveau prédéterminé. L'objectif est de garantir aux communications admises une probabilité de coupure fiable.

Critique

Le blocage des nouveaux appels et des appels répétés croît avec l'augmentation du trafic offert dans la cellule, et qui reste toujours incontrôlable.

3.4 Réserve avec rappel d'appels ordinaires et rappel automatique d'appels handoff

Le mécanisme proposé dans [JOS 2007] est une extension du mécanisme précédent présenté par le même auteur et dans lequel il a introduit le phénomène de rappel automatique des appels handoff, Un tel phénomène caractérise les réseaux mobiles cellulaires modernes. La

différence entre le rappel des appels ordinaires (la reconstitution des clients patients) et le rappel automatique des appels handoff est que le premier est généré par un comportement aléatoire dû à l'être humain, et le deuxième est un phénomène déterministe généré par les appels handoff (composants matériels).

En conséquent, l'auteur a modélisé les deux phénomènes avec deux orbites séparés, comme est schématisé dans la figure suivante :

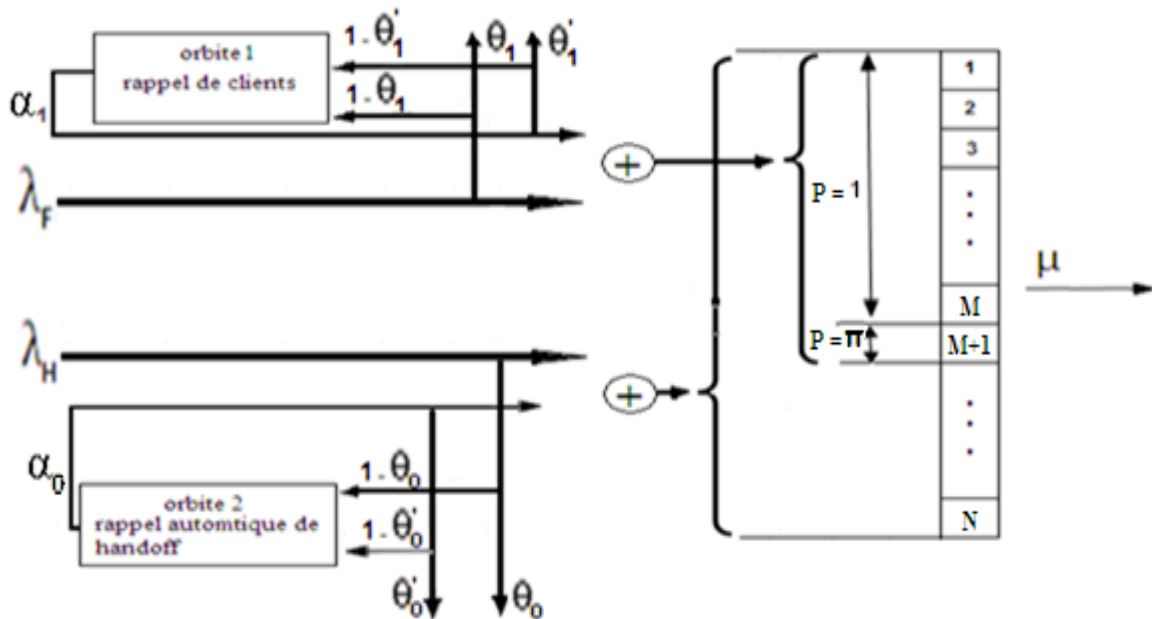


Figure 3.11: Réserve avec rappel des appels ordinaires et rappel automatique des appels handoff

Formulation du mécanisme sous forme de CMTC

Le fonctionnement de la cellule du système en question, est décrit par une CMTC à trois dimensions (k, m, s), où k est le nombre de canaux occupés, m le nombre de clients dans l'orbite1, et s le nombre des appels handoff dans l'orbite2.

Pour diminuer le nombre d'états de la CMTC, l'auteur a fait appel à une autre méthode d'approximation, qui est une généralisation du modèle approximatif proposé dans [JOS 2004].

Résultat et critique

Les résultats montrent que les deux phénomènes (rappel de clients, rappel automatique de handover) ont des impacts considérables dans les réseaux mobiles cellulaires.

Le phénomène de rappel automatique de handover est favorisé par la réservation de CGF, contrairement au rappel classique des nouveaux appels.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu de différents mécanismes de contrôle d'admission, qui ont été proposés dans la littérature. Ces mécanismes favorisent les appels handoff par les techniques de réservation de canaux, de mise en attente des appels handoff... etc. Cependant, de telles solutions ne tiennent pas compte du trafic qui peut exister dans une cellule, et peuvent ainsi augmenter le blocage de nouvelles communications. D'autre part, les résultats obtenus par les mécanismes qui prennent en considération le phénomène de rappel, montrent que ce dernier accroît énormément le blocage de nouvelles communications.

Suite à cette constatation, nous proposons dans ce qui suit, de réserver un canal à courte durée pour favoriser les communications de courte durée (Exemple : SOS ou appel d'urgence). Cette solution repose sur le comportement du client, pour accepter/refuser d'établir une communication sur un canal à courte durée. De cette manière, on donne la priorité au « short-job-first » dans notre solution, ce qui permet de diminuer le blocage des nouvelles communications, ainsi que le nombre de tentatives répétées par appel.

Le prochain chapitre sera dédié à la modélisation et à la conception de la solution proposée ainsi que l'analyse des résultats obtenus.

1. Introduction

Nous avons vu dans le chapitre précédent que les mécanismes de contrôle d'admission présentés suggèrent une réservation d'un nombre de canaux pour les appels handoff par cellule, ce qui garantit une faible probabilité de coupure aux communications déjà établies. Cependant, cette uniformité ne tient pas compte du trafic qui peut exister dans une cellule, et qui engendre à la fois une augmentation du blocage des nouvelles communications, une perte du trafic offert et l'incrémentation du nombre d'appels répétés dans la cellule.

Pour remédier -à ce problème, nous avons proposé une solution qui consiste à réserver un canal dans la cellule pour favoriser les communications de courte durée, en leur accordant une priorité selon le principe du « short-job-first », tout en dépendant du comportement humain.

Afin de tester les performances de cette solution, il sera question dans le présent chapitre, de modéliser le fonctionnement de deux cellules avec la prise en compte du phénomène de rappel, en se basant sur le modèle des files d'attente avec rappel (FAR). La première cellule utilise un canal de courte durée (CCD) et la deuxième sans canal de courte durée. Nous proposons par la suite des formules de calcul des indices de performance, qui feront l'objet de la comparaison.

Finalement, les résultats de la comparaison des performances des deux cellules nous permettront de bien évaluer cette nouvelle solution proposée.

2. Objectifs attendus

La solution proposée qui consiste à réserver dans chaque station de base un canal pour les communications de courte durée, vise à améliorer la QoS dans les réseaux mobiles cellulaires, par l'optimisation de chacun des quatre indices de performance suivants :

1. Diminuer le nombre de tentatives répétées.
2. Diminuer la probabilité de blocage d'un nouvel appel.
3. Diminuer la perte du trafic offert dans la cellule.
4. Exploiter d'avantage les canaux de la cellule.

3. Hypothèses de la modélisation

1. Nous considérons un réseau où chaque cellule, est équipée d'une station de base unique qui comprend N canaux.

2. Les cellules sont supposées être homogènes, ce qui nous permettra par la suite d'obtenir les paramètres de performances globaux à partir de l'étude d'une seule cellule.
3. On ne tient compte que d'une seule classe de trafic spécifique aux appels téléphoniques, qui comprend aussi bien les appels ordinaires que les appels handoff.
4. En cas d'occupation des (N-1) canaux dans la cellule, on suppose que le système est doté d'un module qui propose à l'appelant d'utiliser le nième canal, qui est un canal de courte durée (CCD). Si l'appelant accepte d'établir la communication sur ce canal pour un délai prédéfini, le canal sera alloué à l'utilisateur et ce module terminera systématiquement cette communication après l'expiration du délai. L'objectif est de céder le canal à courte durée pour d'autres clients.
5. Si un client est entrain de communiquer sur le CCD et en même temps un canal ordinaire vient d'être libéré, le système enlève la contrainte du temps sur la communication de ce client.
6. Contrairement aux appels ordinaires (nouveaux appels), le CCD est attribué aux appels handoff sans aucune condition sur le délai.
7. On suppose que le trafic (appels ordinaires, appels handoff) dans la cellule, est très important. A cet effet, on considère une source infinie de clients dans notre modèle.

4. Modélisation du fonctionnement de la cellule

Nous présentons dans ce qui suit la modélisation du fonctionnement de deux cellules, avec prise en compte du phénomène de rappel des abonnés. La première cellule utilise un canal de courte durée (CCD) et la seconde est une cellule dont tous les canaux sont homogènes (sans CCD).

4.1 Solution proposée: Cas d'une cellule avec canaux homogènes et un CCD

Description du modèle

Nous nous concentrons sur une simple cellule avec N canaux de communications dont un est un canal réservé aux appels de courte durée. Ce canal est attribué aux clients acceptant une communication pour une durée prédéfinie et limitée. Après l'expiration de cette durée, la communication est systématiquement terminée. Dans le cas où le CCD est attribué à un appel handoff, aucune contrainte sur la durée n'est appliquée.

On suppose l'existence de deux flux d'arrivées différents qui suivent une distribution poissonniène. Le premier a taux λ_n représentant les nouveaux appels initialisés dans la cellule, et

le deuxième de taux λ_h représentant les appels handoff provenant des cellules adjacentes (voir figure 4.1). Vu l'hétérogénéité des flux d'arrivées, le taux d'arrivée est défini par λ où $\lambda = \lambda_n + \lambda_h$.

Quand un nouvel appel arrive et trouve un canal libre (parmi les $N-1$ canaux), il sera servi et quittera le système. Le temps moyen de service suit une loi exponentielle de taux μ . Dans le cas où les $(N-1)$ canaux sont occupés, le système propose au client associé à l'appel d'utiliser le CCD. A cet effet, nous avons introduit une nouvelle fonction Ω dite fonction d'acceptation, qui modélise le comportement du client lorsqu'il accepte ou refuse la proposition. Le client acceptant d'utiliser le CCD sera servi, et le temps de service est distribué exponentiellement de taux δ (avec $\delta \gg \mu$). Ensuite, le client quittera le système. Par contre, un client refusant la communication de courte durée, entrera dans l'orbite associé au rappel avec la probabilité $(1-\Omega)$, en supposant que le client rappelle au moins une fois suivant notre modèle.

Un client de l'orbite rappelle par la suite après un temps moyen de rappel qui suit une distribution exponentielle de taux μ_{ret} . De la même manière, quand un client rappelle et trouve l'un des $(N-1)$ canaux libres, il sera servi et quittera le système. Par contre, si les $(N-1)$ canaux sont occupés, le système lui propose d'établir la communication sur le CCD. Selon le comportement du client, les cas suivants peuvent se produire :

- a- le client accepte d'utiliser le CCD avec la probabilité Ω ;
- b- b il refuse et quitte le système avec la probabilité $(1-\Omega) * (1-\theta)$;
- c- c il rejoint l'orbite avec la probabilité $(1-\Omega) * \theta$.

Sachant que θ est la fonction de persévérance [TRA 1997] qui modélise le comportement du client persistant qui ne trouve pas de canal disponible.

Quand un appel handoff arrive et trouve un canal libre parmi les N canaux (le canal CCD compris), il sera servi et il quittera le système. Notons que le temps de service est exponentiel de taux μ quel que soit le canal alloué. Par contre, dans le cas où tous les canaux sont occupés, l'appel est perdu, ce qui correspond à une coupure de la communication. En d'autres termes, dans notre modèle l'orbite comprend uniquement les nouveaux appels. Ainsi, le rappel ne concerne pas les appels handoff. La figure 4.1 schématise le fonctionnement d'une telle cellule.

Remarque

- Notre modèle prend en charge le cas de clients impatientes. Si on suppose que tous les clients sont persistants, il suffit d'appliquer notre modèle avec $\theta = 1$.

- Si tous les appelants refusent de communiquer sur le CCD, il suffit d'appliquer notre modèle avec $\Omega = 0$. Dans ce cas, le CCD sera utilisé uniquement par les appels handoff, ainsi il jouera le rôle d'un canal gardien.

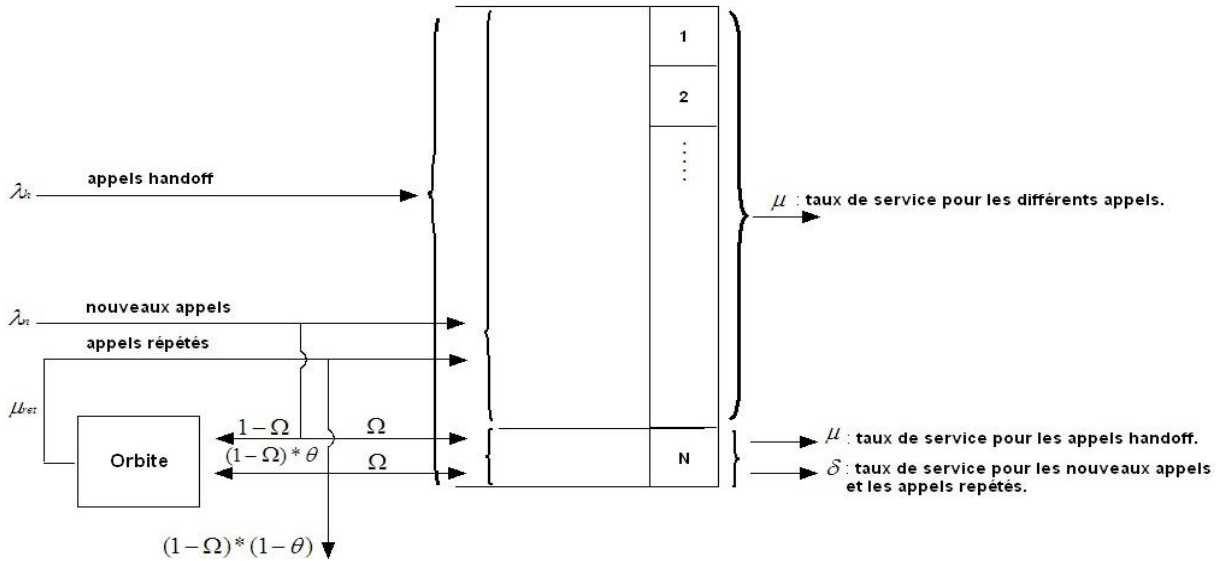


Figure 4.1 : Modèle de file d'attente avec rappel, canaux homogènes et un CCD

Processus stochastique sous-jacent

Le fonctionnement de la cellule est modélisé à l'aide du processus $X = \{C(t), N(t), K(t), t \geq 0\}$, où : $C(t)$ est le nombre de canaux occupés ; $N(t)$ est le nombre des appels bloqués en orbite ; $K(t)$ est l'état du n ème canal. Sous ces conditions, le processus X est une CMTC (voir figure 4.2) à trois dimensions avec l'espace d'états $E = \{1, 2, \dots, N\} * \{1, 2, \dots, Q\} * \{0, 1, 2\}$ et dont chaque état (i, j, k) est décrit comme suit :

- i : le nombre de canaux homogènes occupés avec $0 \leq i < N$.
- j : le nombre d'appels bloqués en orbite avec $0 \leq j \leq Q$, où Q est la taille maximale de l'orbite.
- k : la variable qui représente l'état du n ème canal ;

$$k = \begin{cases} 0, & \text{si le canal est libre ;} \\ 1, & \text{si le canal est attribué à un nouveau appel pour une courte durée ;} \\ 2, & \text{si le canal est attribué à un appel handoff pour une durée quelconque.} \end{cases}$$

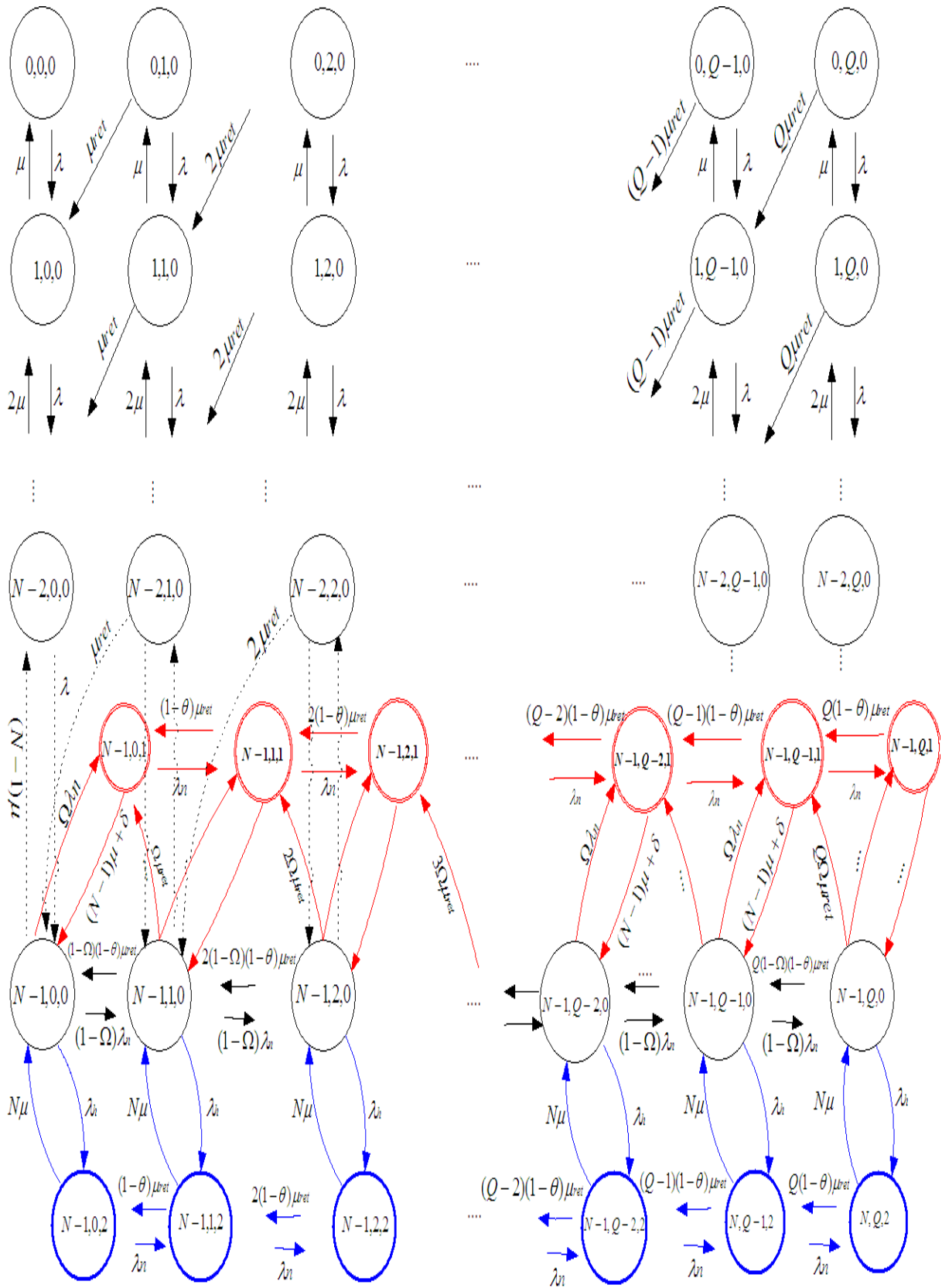


Figure 4.2: La CMTC décrivant le fonctionnement d'une cellule avec un CCD

Le tableau suivant résume les taux de transition entre les différents états du système ainsi que les événements associés :

Transition d'état	Taux de transition d'état	Evénement
$E(i, j, 0) \rightarrow E(i+1, j, 0)$	$\lambda = \lambda_n + \lambda_h, 0 \leq i < N-1, 0 \leq j \leq Q.$	arrivée d'un nouvel appel, ou d'un appel handoff
$E(i, j+1, 0) \rightarrow E(i+1, j, 0)$	$(j+1) * \mu_{ret}, 0 \leq i < N-2, 0 \leq j < Q.$	arrivée d'un rappel.
$E(i, j, 0) \rightarrow E(i-1, j, 0)$	$i * \mu, 0 < i \leq N-1, 0 \leq j \leq Q.$	fin de service d'un appel
$E(N-1, j, 0) \rightarrow E(N-1, j-1, 0)$	$j * \mu_{ret} (1 - \Omega) * (1 - \theta), 0 < j \leq Q.$	un rappel est perdu après avoir refusé d'utiliser le CCD
$E(N-1, j, 0) \rightarrow E(N-1, j+1, 0)$	$(1 - \Omega) * \lambda_n, 0 \leq j < Q.$	un nouvel appel entre dans l'orbite, après avoir refusé d'utiliser le CCD
$E(N-1, j, 0) \rightarrow E(N-1, j, 1)$	$\Omega * \lambda_n, 0 \leq j \leq Q.$	l'attribution du nième canal à un nouvel appel pour une courte durée
$E(N-1, j, 0) \rightarrow E(N-1, j-1, 1)$	$(j+1) * \Omega * \mu_{ret}, 0 < j \leq Q.$	l'attribution du nième canal à un rappel pour une courte durée
$E(N-1, j, 0) \rightarrow E(N-1, j, 2)$	$\lambda_h, 0 \leq j \leq Q.$	l'attribution du nième canal à un appel handoff (aucune condition sur la durée d'occupation)
$E(N, j, 2) \rightarrow E(N-1, j, 0)$	$N * \mu, 0 \leq j \leq Q.$	fin de service d'un appel
$E(N-1, j, 1) \rightarrow E(N-1, j, 0)$	$(N-1) * \mu + \delta, 0 \leq j \leq Q.$	fin de service d'une : - communication ordinaire, ou - communication à courte durée.
$E(N-1, j, 2) \rightarrow E(N-1, j+1, 2)$	$\lambda_n, 0 \leq j < Q.$	un nouvel appel entre en orbite
$E(N-1, j, 2) \rightarrow E(N-1, j-1, 2)$	$j * \mu_{ret} * (1 - \theta), 0 < j \leq Q.$	abandon d'un rappel (un rappel est perdu)
$E(N-1, j, 1) \rightarrow E(N-1, j+1, 1)$	$\lambda_n, 0 \leq j < Q.$	un nouvel appel entre en orbite.
$E(N-1, j, 1) \rightarrow E(N-1, j-1, 1)$	$j * \mu_{ret} * (1 - \theta), 0 < j \leq Q.$	abandon d'un rappel (rappel perdu).

4.2 Cas d'une cellule avec canaux homogènes sans CCD

Description du modèle

De la même façon que la cellule précédente, on considère l'existence de deux flux d'arrivées différents ($\lambda = \lambda_h + \lambda_n$) qui suivent une distribution poissonnienne, le premier avec un taux λ_n représentant les appels initiés dans cette cellule, et le deuxième λ_h représentant les appels handoff provenant des cellules adjacentes (figure 4.3).

Quand un nouvel appel arrive et trouve un canal libre parmi les N canaux, il sera servi puis quittera le système. Le temps moyen de service suit une loi exponentielle de taux μ . Dans le cas où tous les canaux sont occupés, l'appel sera bloqué et rejoindra l'orbite. On suppose comme hypothèse le fait que le client rappelle au moins une fois.

Un appel de l'orbite rappelle par la suite après un temps aléatoire qui suit une distribution exponentielle de taux μ_{ret} . Lorsqu'un rappel arrive et trouve un canal libre, il sera servi et quittera le système. En cas d'occupation des canaux, le rappel entrera dans l'orbite une autre fois avec la probabilité θ ou bien quittera le système avec la probabilité $1 - \theta$, ce qui correspond à un abandon.

Les sessions handoff seront traitées de la même manière que celles de la cellule précédente. En d'autres termes, quand un appel handoff arrive et trouve un canal libre parmi les N canaux, il sera servi et quittera le système. Le temps de service correspondant est exponentiel de taux μ . Par contre, dans le cas où tous les canaux sont occupés, l'appel est perdu, ce qui correspond à une coupure de la communication.

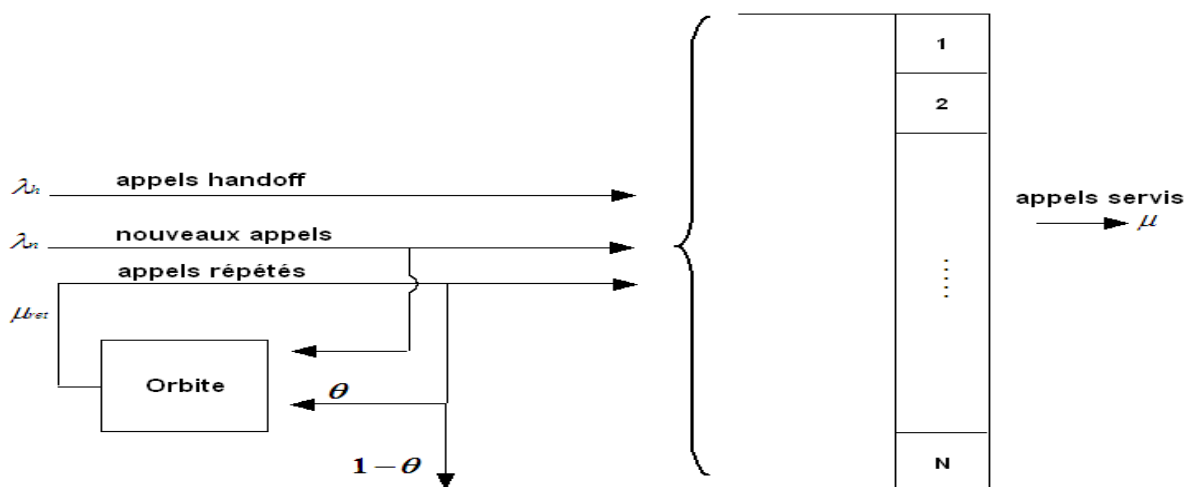


Figure 4.3 : Modèle de file d'attente avec rappel et canaux homogènes sans CCD

Processus stochastique sous-jacent

Le fonctionnement de la cellule est décrit à l'aide du processus $X=\{C(t), N(t), t \geq 0\}$, où $C(t)$ est le nombre de canaux occupés ; $N(t)$ est le nombre d'appels bloqués en orbite. Sous ces conditions, le processus X est une CMTC (voir figure 4.4) à deux dimensions avec l'espace d'états $E=\{1,2,\dots,N\} * \{1,2, \dots,Q\}$, où chaque état (i, j) est décrit comme suit:

- i : le nombre de canaux occupés avec $0 \leq i \leq N$.
- j : le nombre d'appels bloqués en orbite avec $0 \leq j \leq Q$, où Q est la taille maximale de l'orbite.

Le tableau suivant résume les taux de transition entre les différents états du système ainsi que les événements associés :

Transition d'état	Taux de transition d'état	Evénement
$E(i, j) \rightarrow E(i+1, j)$	$\lambda = \lambda_n + \lambda_h, 0 \leq i \leq N-1, 0 \leq j \leq Q.$	arrivée d'un nouvel appel ou d'un appel handoff
$E(i, j) \rightarrow E(i+1, j-1)$	$j * \mu_{ret}, 0 \leq i \leq N-1, 1 \leq j \leq Q.$	arrivée d'un rappel
$E(i, j) \rightarrow E(i-1, j)$	$i * \mu, 0 < i \leq N, 0 \leq j \leq Q.$	fin de service d'un appel
$E(N, j) \rightarrow E(N, j+1)$	$\lambda_n, 0 \leq j < Q.$	un nouvel appel entre en orbite.
$E(N, j) \rightarrow E(N, j-1)$	$j * \mu_{ret} * (1 - \theta), 1 \leq j \leq Q.$	abandon d'un rappel (rappel est perdu).

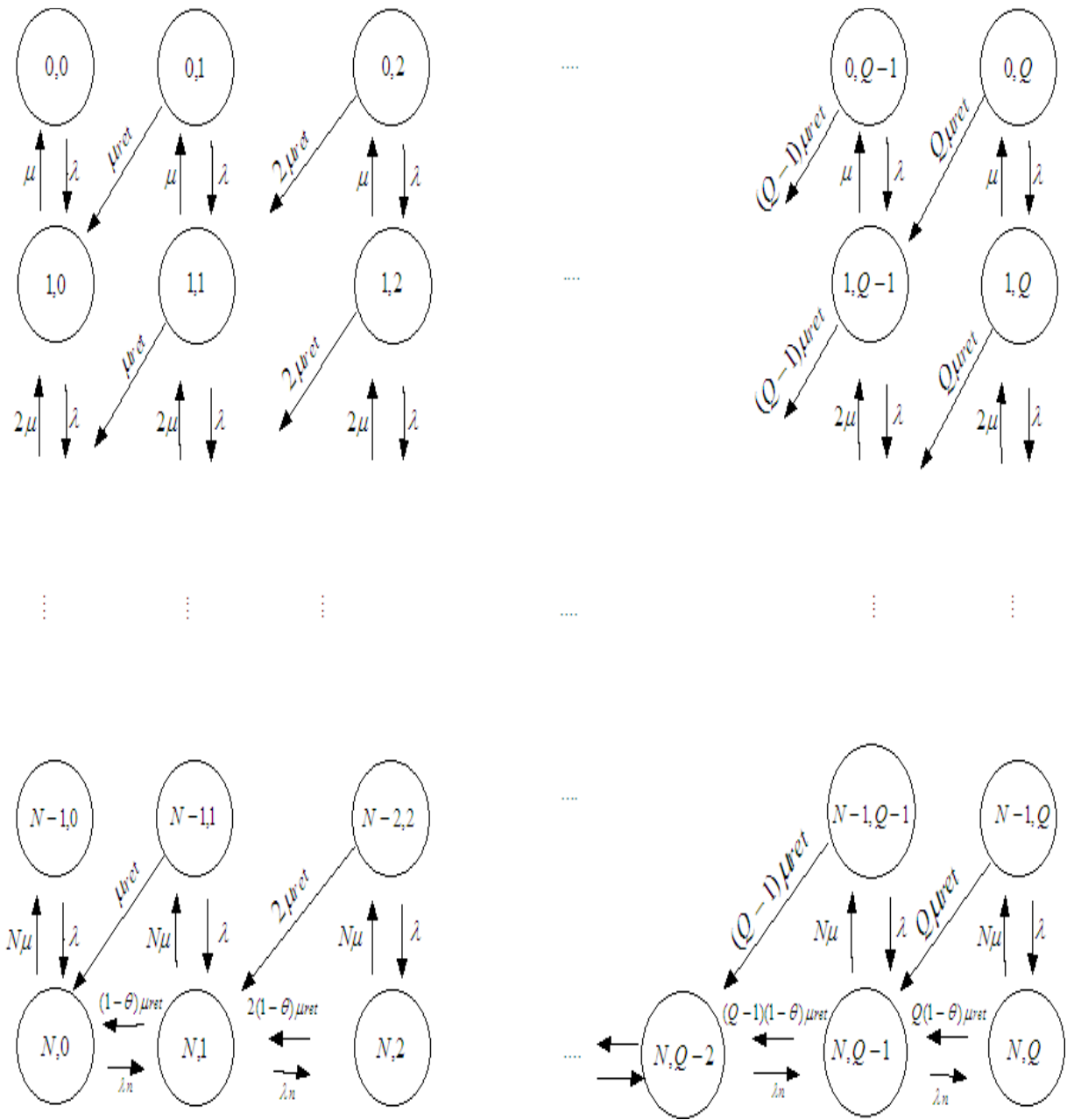


Figure 4.4: La CMTC décrivant le fonctionnement d'une cellule sans CCD

5. Calcul des probabilités à l'état stationnaire

Nous remarquons que les deux CMTC sont finies et irréductibles. Par conséquent ergodiques, ce qui assure l'existence du régime stationnaire et l'unicité du vecteur des probabilités à l'état d'équilibre.

Pour évaluer les différents paramètres de performance, objet de la comparaison des deux approches, il faut tout d'abord calculer les probabilités à l'état stationnaire du système (le vecteur

X) par la résolution du système d'équations : $Q \cdot X = 0$, avec la condition de normalisation $\sum_i x_i = 1$, où Q est la matrice des taux de transition (le générateur infinitésimal).

Pour ce faire, nous avons utilisé l'outil Matlab (version 7.10) développé par la société 'The MathWorks'. Il consiste en un langage interprété, simple et très efficace, optimisé pour le traitement des matrices, et dans lequel la matrice est traitée comme une simple variable. Il permet aussi de visualiser les données (sous forme de graphiques 2D ou 3D) et de réaliser des interfaces graphiques conviviales. L'intérêt du Matlab tient, d'une part, à sa simplicité d'utilisation, la déclaration implicite des variables utilisées et d'autre part, à sa richesse fonctionnelle arithmétique matricielle et aux nombreuses fonctions de haut niveau dans de nombreux domaines (analyse numérique, graphique, ...).

Dans notre cas, pour obtenir les probabilités à l'état stationnaire, le logiciel contient une fonction prédéfinie qui permet la résolution de l'équation matricielle $Q \cdot X = 0$ avec $\sum_i x_i = 1$.

6. Paramètres de performance

Après avoir développé les chaînes de Markov modélisant les deux approches, ainsi que la méthode de calcul des probabilités à l'état stationnaire, nous passons à la formulation des principaux paramètres de performance, sur lesquels nous nous baserons pour la comparaison des deux mécanismes de contrôle avec et sans CCD. Dans ce qui suit, nous exprimons ces paramètres pour les deux types de cellules étudiées, en fonction des probabilités à l'état stationnaire.

➤ La probabilité de blocage d'un appel handoff (PBH)

- Cellule avec CCD

$$PBH = \sum_{j=0}^Q [(X(N-1, j, 1) + X(N-1, j, 2))].$$

- Cellule sans CCD

$$PBH = \sum_{i=0}^Q X(N, i).$$

➤ La probabilité de blocage d'un nouvel appel (PBN)

- Cellule avec CCD

$$PBN = \sum_{i=0}^Q [(X(N-1, i, 1) + X(N-1, i, 2) + (1 - \Omega)X(N-1, i, 0))].$$

- Cellule sans CCD

$$PBN = \sum_{i=0}^Q X(N, i).$$

➤ **Le nombre moyen de canaux occupés (NMO)**

- Cellule avec CCD

$$NMO = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^Q [(i X(i, j, 0))] + N \sum_{j=0}^Q (X(N-1, j, 1) + X(N-1, j, 2)).$$

- Cellule sans CCD

$$NMO = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^Q i X(i, j).$$

➤ **La probabilité qu'un appel quitte le système sans être servi (PQS)**

- Cellule avec CCD

$$PQS = (1-\theta) \sum_{i=0}^Q [(1-\Omega)X(N-1, i, 0) + X(N-1, i, 1) + X(N-1, i, 2)].$$

- Cellule sans CCD

$$PQS = (1-\theta) \sum_{i=0}^Q X(N, i).$$

➤ **Le nombre moyen de tentatives par appel η**

Pour calculer le nombre moyen de tentatives par appel (η), nous allons tout d'abord calculer le trafic global sur les canaux, qui est composé du trafic des nouveaux appels, plus celui des appels répétés (voir la figure 4.5) [TRA 1997].

1- Le trafic des nouveaux appels (λ_F), est la somme du trafic des nouveaux appels admis avec le trafic des nouveaux appels bloqués.

- Cellule avec CCD

$$\lambda_F = \lambda_n [\sum_{i=0}^{N-2} \sum_{j=0}^Q (X(i, j, 0)) + \Omega \sum_{j=0}^Q X(N-1, j, 0) + (1-\Omega) \sum_{j=0}^{Q-1} X(N-1, j, 0) + \sum_{j=0}^{Q-1} X(N-1, j, 1) + \sum_{j=0}^{Q-1} X(N-1, j, 2)].$$

- Cellule sans CCD

$$\lambda_F = \lambda_n [\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^Q X(i, j) + \sum_{j=0}^{Q-1} X(N, j)].$$

2- Le trafic des appels répétés (λ_R), est la somme du trafic des appels répétés admis, du trafic des appels répétés bloqués qui quittent le système sans être servis, et du trafic des appels répétés qui entrent dans l'orbite.

- Cellule avec CCD

$$\lambda_R = \mu_{ret} [\sum_{i=0}^{N-2} \sum_{j=0}^Q j X(i, j, 0) + \Omega \sum_{j=0}^Q j X(N-1, j, 0) + \theta \sum_{j=0}^Q j (((1-\Omega) X(N-1, j, 0)) + X(N-1, j, 1) + X(N-1, j, 2)) + (1-\theta) \sum_{j=0}^Q j (((1-\Omega) X(N-1, j, 0)) + X(N-1, j, 1) + X(N-1, j, 2))].$$

- Cellule sans CCD

$$\lambda_R = \mu_{ret} [\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^Q j X(i, j) + \sum_{j=0}^Q i X(N, j)].$$

Finalement, on peut déduire le nombre moyen de tentatives par appel (η) pour les deux cellules, qui est donné par la formule suivante:

$$\eta = \frac{\lambda_R + \lambda_F}{\lambda_F} = 1 + (\lambda_R / \lambda_F).$$

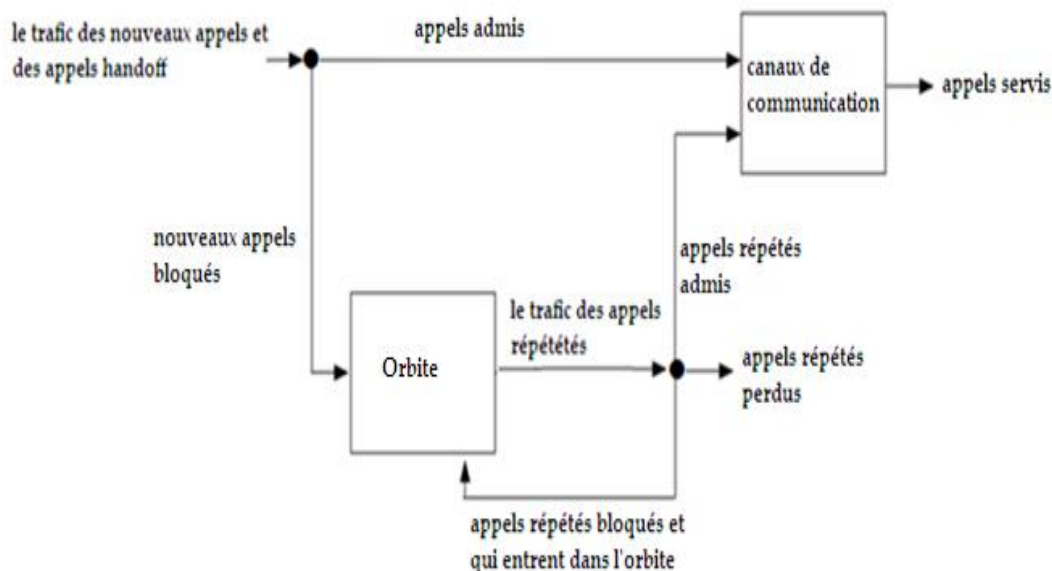


Figure 4.5: Le trafic global offert dans la cellule

7. Analyse expérimentale

Cette section est consacrée aux expériences numériques. Le but est d'étudier l'influence de la technique proposée (CCD) sur les paramètres de performance suscités. Pour ce faire, nous varions l'intensité du trafic offert $\rho = \lambda / N * \mu$ pour les deux cellules (avec $\lambda_h = \lambda_n / 24$) dans l'intervalle $[0.5 - 5.37]$, et nous gardons les autres valeurs constantes, comme la durée moyenne d'une communication $1/\mu = 120$ sec, la durée moyenne d'une communication de courte durée $1/\delta = 22$ sec, l'intervalle de temps moyen entre deux rappels successifs $1/\mu_{ret} = 6$ sec, le nombre de canaux dans chaque cellule $N=14$, la probabilité de rappeler $\theta = 0.5$ (fonction de persévérance), la probabilité qu'un client accepte de communiquer sur le CCD $\Omega = 0.8$.

En outre, les deux chaînes markoviennes obtenues sont tronquées à une taille $Q = 100$. Cette valeur est considérée suffisamment grande pour pouvoir négliger les états correspondants à une orbite de taille supérieure à cette valeur. Les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations, sont donnés dans ce qui suit.

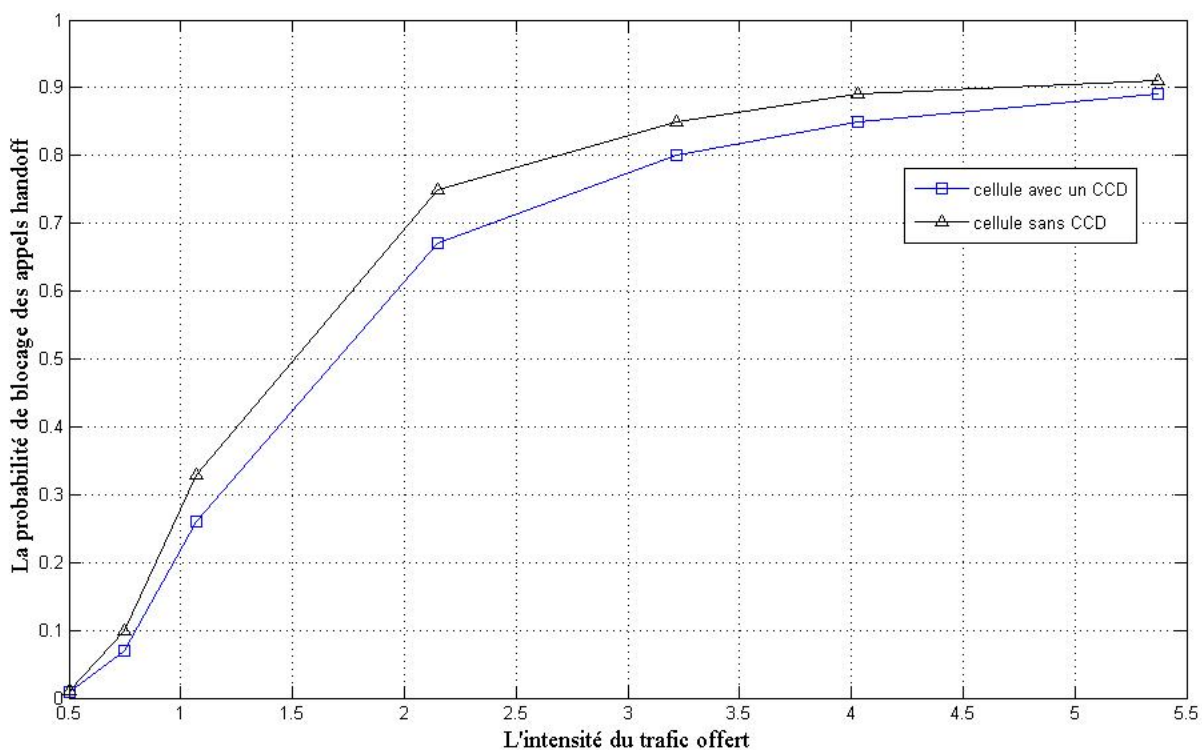


Figure 4.6: Probabilité de blocage des appels handoff en fonction du trafic offert dans la cellule

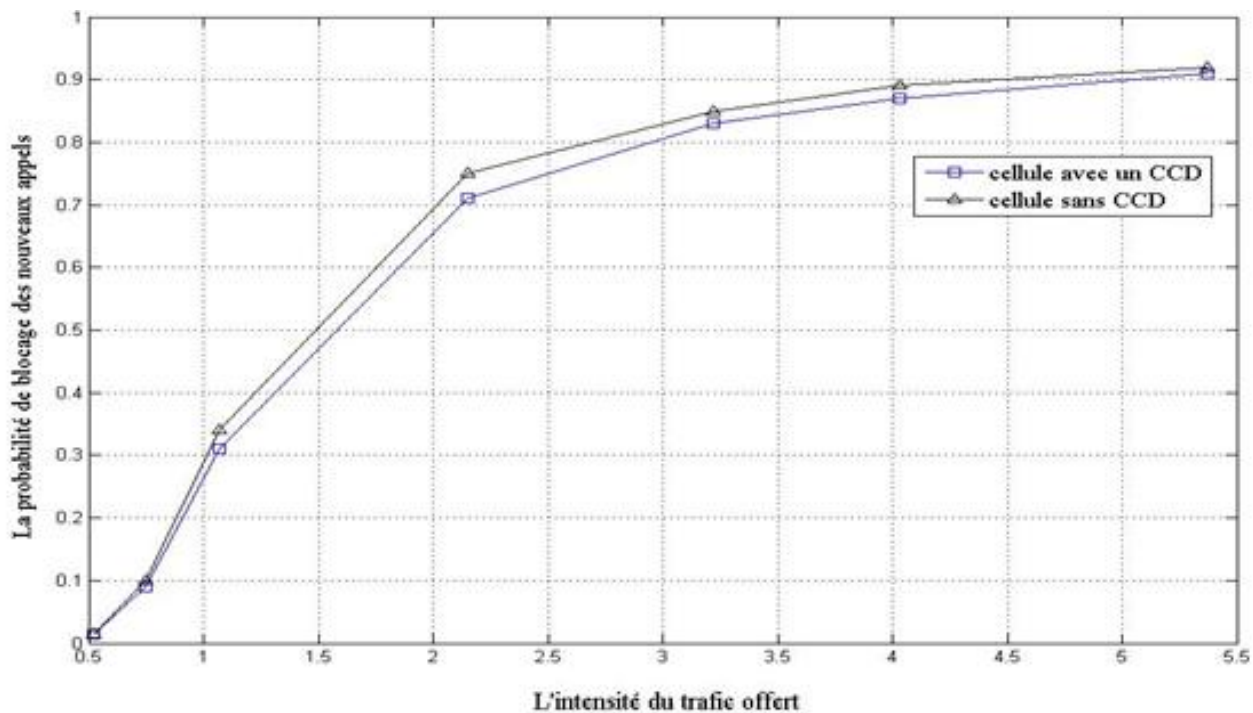


Figure 4.7: Probabilité de blocage des nouveaux appels en fonction du trafic offert dans la cellule

Chaque figure ci-dessus (Figure 4.6 et Figure 4.7), présente deux courbes où chacune correspond aux variations de la probabilité de blocage d'un nouvel appel (resp appel handoff) en fonction des variations du trafic offert, qui est composé du trafic des appels initiés dans la cellule (nouveaux appels, appels répétés), et du trafic des appels provenant des cellules adjacentes (appels handoff).

Nous constatons très clairement que la probabilité de blocage d'un appel handoff et d'un nouvel appel, sont très sensible au trafic offert dans la cellule. En comparant les deux techniques de contrôle d'admission, on peut constater que l'utilisation d'un CCD permet de diminuer la probabilité de blocage des deux types d'appels. Ce qui nous permet de confirmer l'amélioration apportée dans la cellule dotée d'un CCD, en termes de la qualité de service.

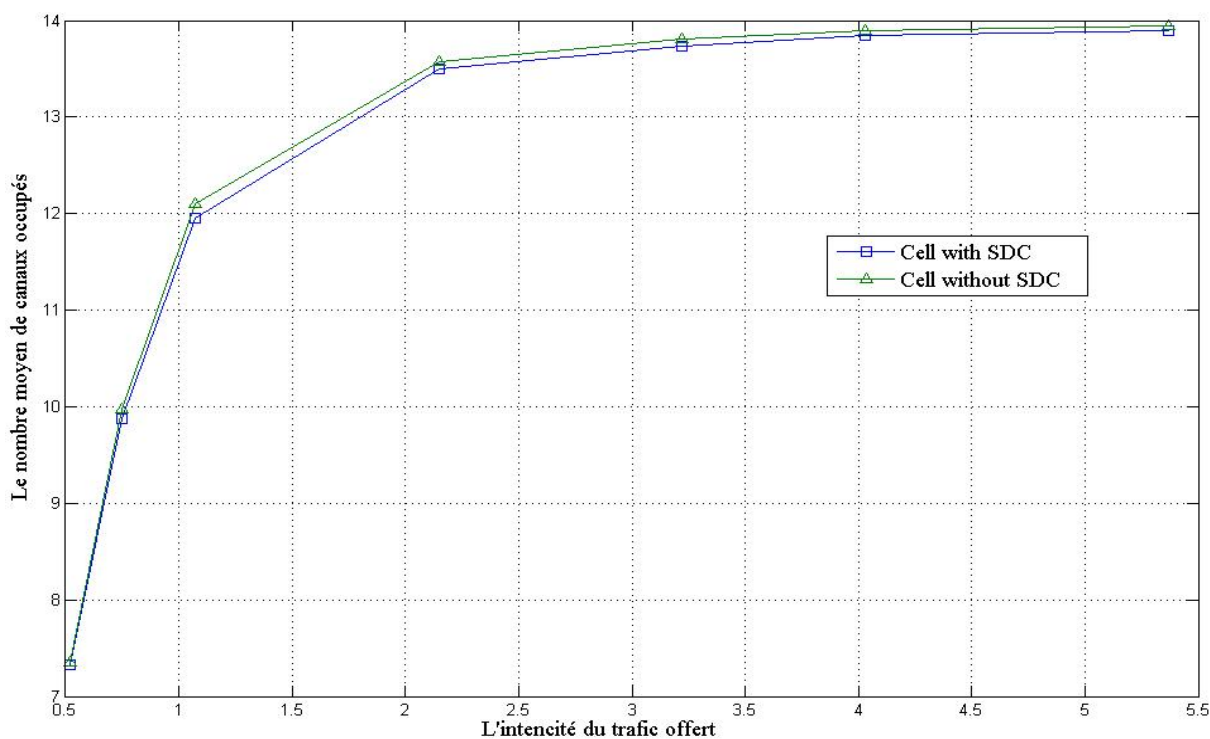


Figure 4.8: Nombre moyen de canaux occupés en fonction du trafic

La figure 4.8, présente le nombre de canaux occupés en variant le trafic offert dans chaque cellule. De la même manière que le paramètre précédent, ce nombre converge vers le nombre total de canaux quand la charge du trafic est considérable dans la cellule.

D'autre part, et contrairement à ce qui a été prédit, nous remarquons que la technique du CCD décroît légèrement le nombre de canaux occupés par rapport au modèle de contrôle d'admission ordinaire (cellule sans CCD). Cette décroissance qui est liée qui fortement aux moments où le canal est non occupé, est due aux clients qui refusent de l'utiliser.

En conséquence, on peut déduire que la technique du CCD influe sur l'exploitation maximale des canaux, ce qui diminue les revenus d'un réseau utilisant une telle technique.

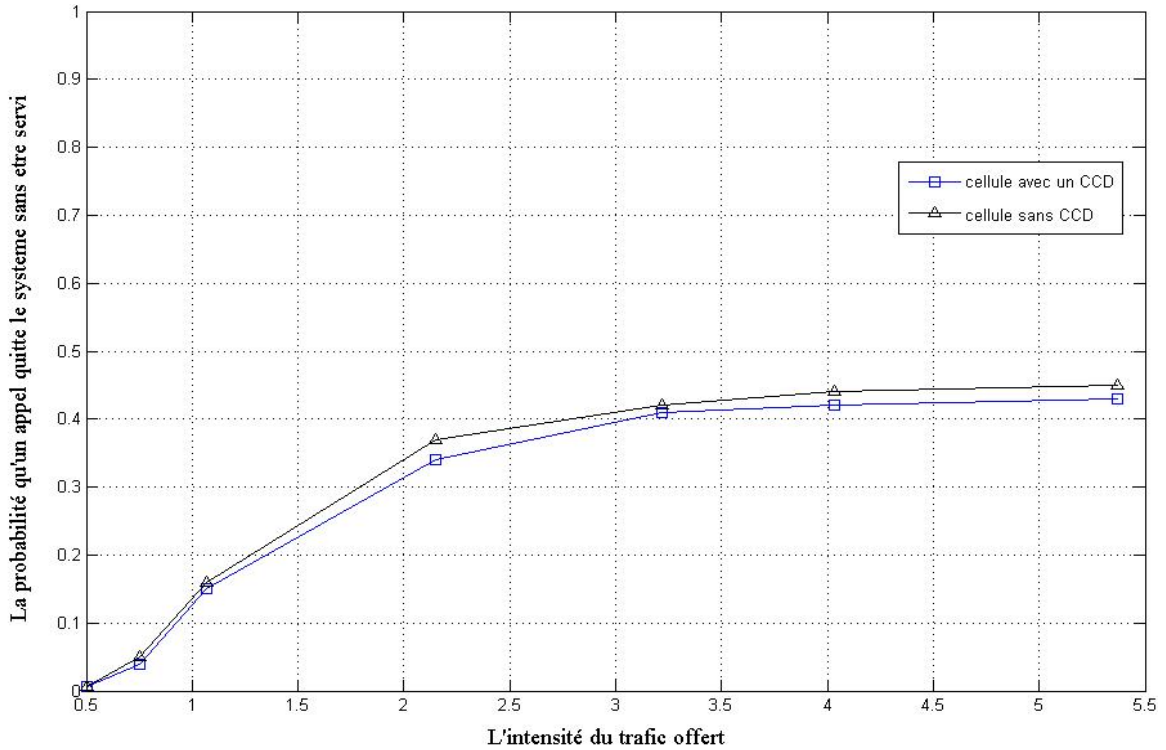


Figure 4.9: Probabilité qu'un appel quitte le système sans être servi en fonction du trafic offert

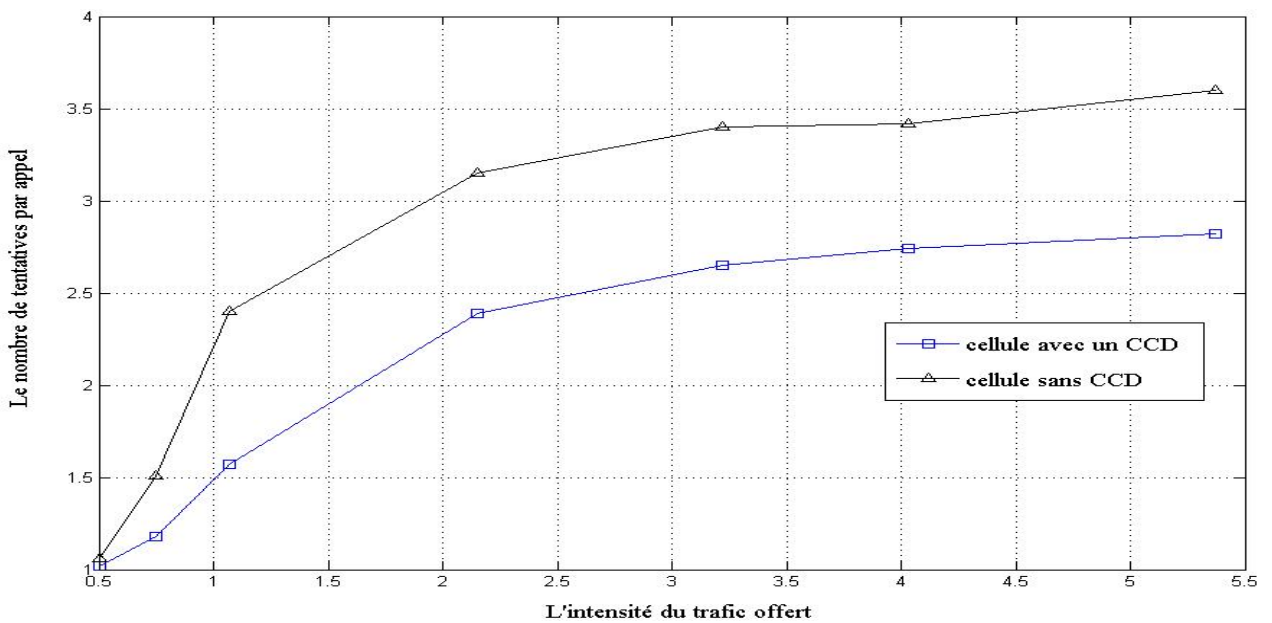


Figure 4.10: Nombre moyen de tentatives par appel en fonction du trafic offert

Les figures 4.9 et 4.10, illustrent respectivement la probabilité qu'un appel quitte le système sans être servi, et le nombre moyen des tentatives par appel en fonction de l'intensité du trafic offert. En comparant les courbes obtenues, on déduit qu'une cellule dotée d'un CCD est plus performante que celle sans CCD.

Afin de montrer l'effet du comportement des clients (accepter/refuser le CCD) sur les paramètres de performance aux quels nous nous intéressons, nous allons procéder à une autre étude, qui consiste à considérer une faible probabilité $\Omega = 0.2$ qu'un client accepte de communiquer sur le CCD au lieu de 0.8, tout en gardant les mêmes valeurs pour les autres paramètres. Cette nouvelle valeur ($\Omega = 0.2$) modélise le cas où les appelants acceptent rarement d'établir une communication sur le CCD. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures ci-dessous.

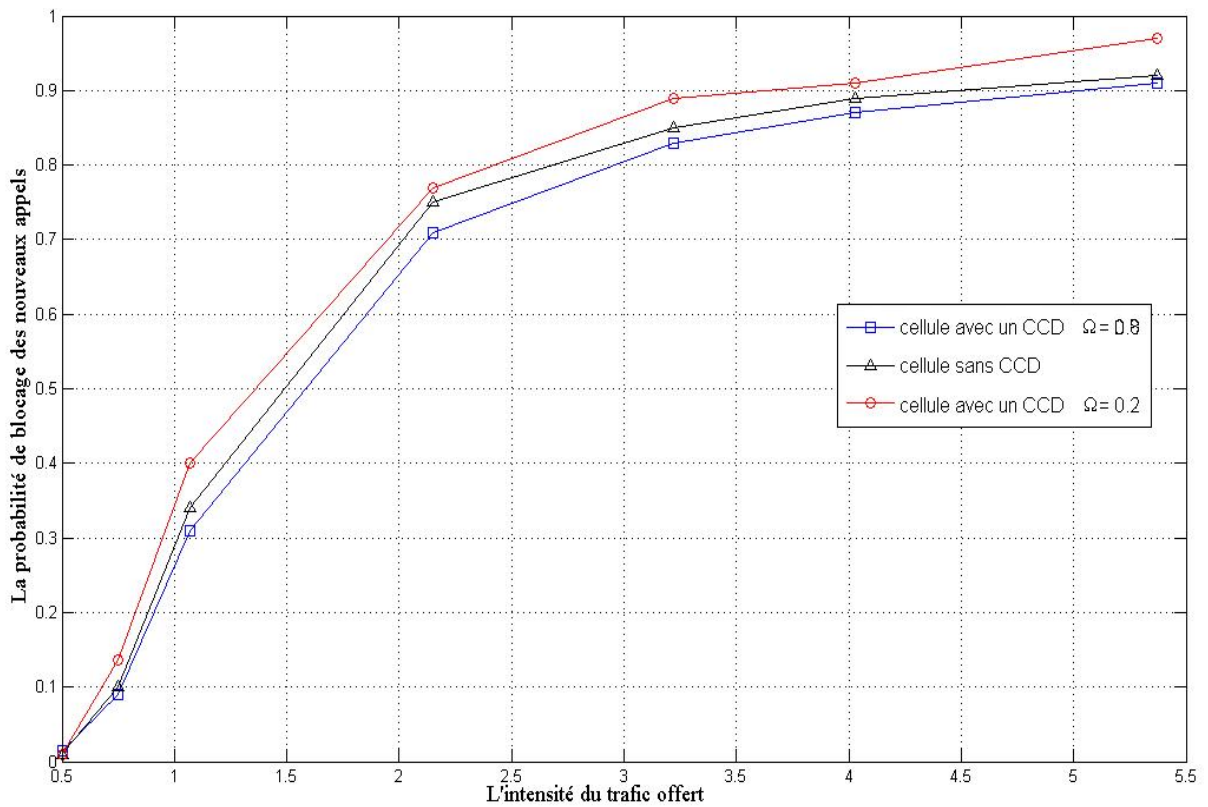


Figure 4.11 : Probabilité de blocage des nouveaux appels en fonction du trafic offert

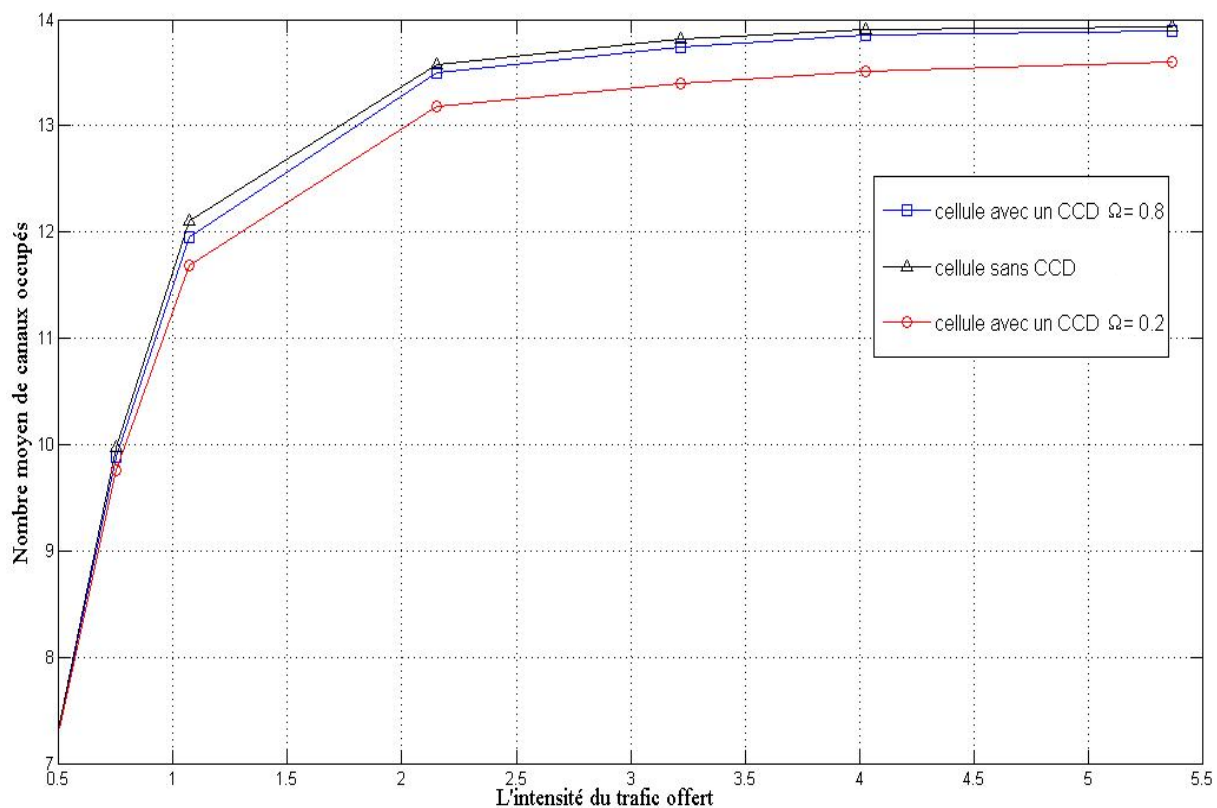


Figure 4.12: Nombre moyen de canaux occupés en fonction du trafic offert

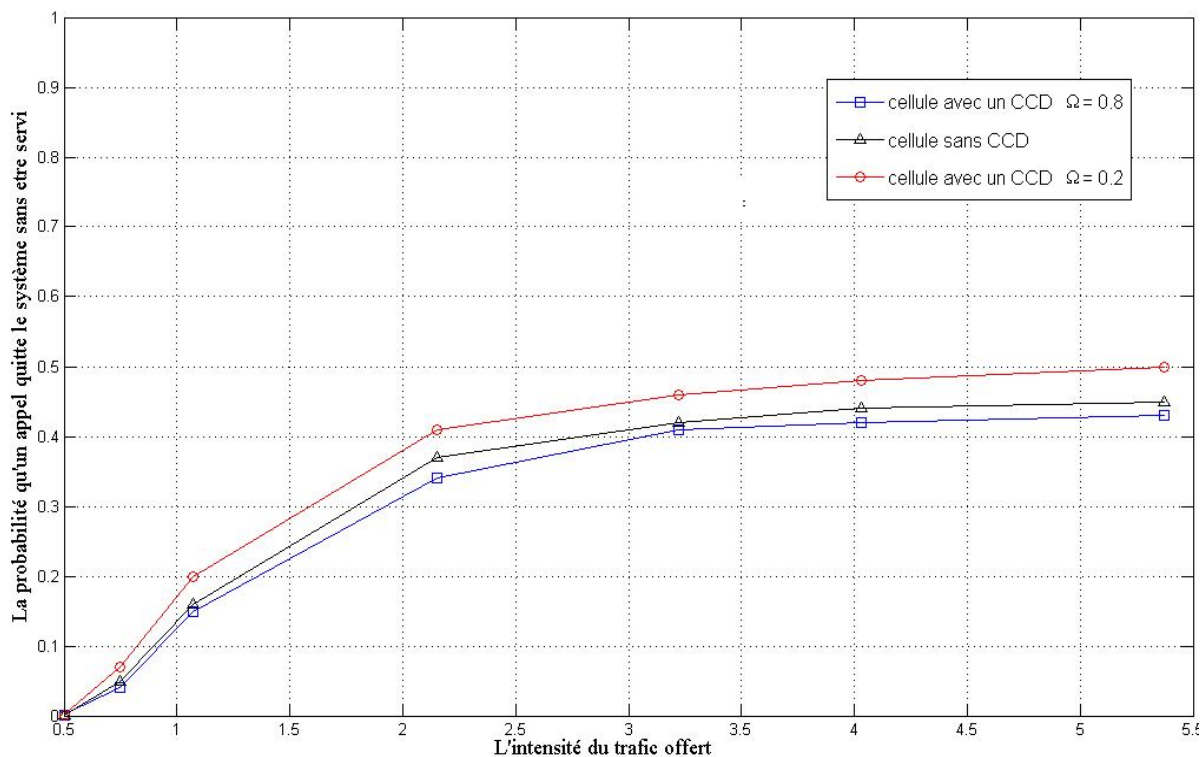


Figure 4.13: Probabilité qu'un appel quitte le système sans être servi en fonction du trafic offert

En diminuant la probabilité qu'un client accepte d'établir la communication sur le CCD ($\Omega = 0.2$), nous remarquons une augmentation de la probabilité de blocage des nouveaux appels et celle qu'un appel quitte le système sans être servi. Par contre, le nombre moyen de canaux occupés a diminué. En conséquence, la QoS de service dans une cellule avec CCD est dégradée par rapport à une cellule sans CCD. Cette décroissance est due essentiellement à la non utilisation du CCD par les appelants qui ne souhaitent pas communiquer durant une courte durée.

En résumé, les résultats obtenus montrent que l'approche proposée peut avoir un double effet sur la qualité de service dans les réseaux mobiles cellulaires, ce qui dépend du comportement des clients. En effet, si la grande majorité des appelants acceptent de communiquer sur le CCD, ceci va diminuer le rappel et la probabilité de blocage des nouveaux appels...etc. En revanche, s'ils optent pour une communication ordinaire, le CCD ne sera plus utilisé et reste inexploitable ce qui provoquera une dégradation de la QoS.

Ce double effet sur la QoS, dû à l'utilisation/non utilisation du CCD par la majorité des appelants, nous conduit à réfléchir à la nécessité d'étudier préalablement les différents paramètres (le taux d'arrivée, le taux du rappel, fonction de persévérance, fonction d'acceptation, nombre de CCD, la courte durée adéquate). Une telle étude va nous permettre de mieux prédire la QoS dans un réseau équipé avec des CCD.

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu la modélisation et l'évaluation des performances de deux cellules avec deux différents mécanismes de contrôle d'admission des appels. La première cellule emploie des canaux homogènes dont l'un est consacré aux communications de courte durée ci qui correspond à notre propre contribution, tandis que la seconde utilise des canaux homogènes.

Ensuite, nous avons effectués une analyse et une comparaison des résultats obtenus des deux cellules. La performance a été comparé en termes de : (1) la probabilité de blocage des appels handoff, (2) la probabilité de blocage des nouveaux appels, (3) le nombre moyen de canaux occupés, (4) la probabilité qu'un appelant quitte le système sans être servi et, (5) le nombre moyen de tentatives par appel.

Les résultats montrent que la QoS de l'approche proposée dépendra du comportement des appelants. En effet, si un nombre important d'appelants acceptent d'établir une communication sur le CCD, la qualité de service s'améliore (diminution de la probabilité de blocage des nouveaux appels...etc.), et vice-versa. Cependant, l'inconvénient de notre proposition est la

diminution du nombre moyen de canaux occupés, qui s'accroît quand les appelants acceptent rarement d'effectuer des appels de courte durée.

Conclusion générale et perspectives

Les réseaux cellulaires ont été conçus pour offrir une variété de services, notamment les appels téléphoniques. Cependant, la disponibilité des ressources radios durant toute la durée de l'appel n'est pas nécessairement garantie, et les utilisateurs mobiles peuvent ainsi subir une coupure de la communication lors du passage d'une cellule à une autre adjacente. Partant du fait que la coupure d'un appel en cours (appel handoff) est généralement moins désirée que l'échec d'un nouvel appel, les mécanismes de contrôle d'admission d'appels sont fortement nécessaires. En effet, un contrôle d'admission d'appel efficace est exigé pour remédier à cette limitation du nombre de ressources radio disponibles sur l'interface radio des réseaux mobiles cellulaires.

Dans ce mémoire, nous avons élaboré un état de l'art pour présenter les différents mécanismes de contrôle d'admission d'appels, que nous avons classifiés en deux catégories; la première considère uniquement deux flux dans la cellule (le flux des nouveaux appels et celui des appels handoff); la deuxième catégorie rajoute un troisième flux généré par les appels répétés des utilisateurs bloqués (phénomène de rappel).

Comme contribution dans ce domaine, nous avons proposé un nouveau mécanisme de contrôle d'admission, qui consiste à réserver un canal de courte durée (CCD), pour favoriser les courtes communications particulièrement dans le cas où le trafic est important, et ce afin d'augmenter le nombre de clients servis d'une part, et de diminuer d'autre part, le blocage des appels de la cellule.

Pour évaluer l'amélioration apportée par ce nouveau mécanisme, nous avons comparé les performances de deux cellules ; la première cellule est équipée d'un canal de courte durée (CCD) ; et la seconde est une cellule à canaux homogènes (sans canal de courte durée), tout en prenant en compte le phénomène de rappel dans notre étude. La comparaison était basée sur les indices de performance à savoir : a) la probabilité de blocage des appels handoff ;b) la probabilité de blocage des nouvelles communications initiées dans la cellule ; c) le nombre moyen de canaux occupés; d) le nombre moyen de tentatives par appel ;e) et la probabilité de quitter le système sans être servi.

Les résultats obtenus montrent que la QoS de l'approche proposée dépendra du comportement des appelants. En effet, si un nombre important d'appelants acceptent d'établir une communication sur le CCD, on observe une diminution de la probabilité de blocage des nouveaux appels, une décroissance du nombre moyen de tentatives par appel, une diminution de la

probabilité de quitter le système sans être servi. Cependant, dans le cas contraire (minorité d'appelants), les indices suscités augmentent significativement.

Suite à cette constatation, nous concluons que notre approche est à double effet, elle peut améliorer ou dégrader la QoS, et ce en fonction du nombre d'appelants acceptants d'établir une courte communication. Cependant, l'inconvénient majeur de notre proposition est la diminution du nombre moyen de canaux occupés qui s'accroît quand les appelants acceptent rarement d'effectuer des appels de courte durée. Ceci peut se répercuter sur le revenu d'un réseau utilisant ce mécanisme.

A l'issue de ce constat du double effet que porte le choix de la majorité des appelants sur la QoS, nous pouvons dégager une piste de recherche visant l'étude de la corrélation entre la QoS (le blocage de nouveaux appels, le blocage des appels handoff, etc.) et les différents paramètres du système, tels que le taux d'arrivée des différents appels, le nombre d'appelants acceptant d'établir une courte communication, la durée moyen de la courte communication, le nombre de CCD à réserver, et ce afin d'optimiser l'emploi de l'approche proposée.

BIBLIOGRAPHIE

[CHA 2010]: L. CHAMEK « localisation des Mobiles par une Stratégie de Prédiction». Thèse de Magister, département informatique, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, 2010.

[AND 2007]: J.G. ANDREWS « Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking ». ISBN: 0132225522, Prentice Hall PTR, 2007.

[SEN 2003]: M.S. SENOUCI « Application de Techniques D'apprentissage dans les Réseaux Mobiles ». Thèse de Doctorat, U.F.R. de Sciences, Université de Pierre et Marie Curie – Paris 6, 2003.

[SEN 2002]: Y. M. GHAMRI-DOUDANE, M.S. SENOUCI et G. PUJOLLE « Contrôle des Réseaux AD-HOC à base de politiques », CFIP'2002, Montréal, Canada, 2002.

[SEN 2001]: M.S. SENOUCI, A. L. BEYLOT, G.PUJOLLE « A dynamic Q-learning-based call admission control for multimedia cellular networks », IEEE Int Conf on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN'2001), PP. 37-43, Recife, Brazil, 2001.

[GAR 2003]: M. GARAH « Minimisation de la probabilité d'échec du handover dans les Réseaux Mobiles cellulaires », Thèse de Doctorat, Département d'Electronique, Université El hadj Lekhdar Batna, 2003.

[DEM 2004]: C. DEMOULIN, M. VAN DROOGENBROECK « principes de base du fonctionnement du réseau GSM », revue de L'AIM, PP. 3-18, N° 4, Belgique, 2004.

[ZOU 2005]: M.R. ZOUARI « Dimensionnement et planification d'un Réseau d'accès UMTS », PFE d'ingéniorat, SUP COM Tunisie, 2005.

[BZE 2004]: M. BZEOUICH « Etude des mécanismes de Handover Inter Systèmes (GSM/UMTS) », PFE d'ingéniorat, SUP COM Tunisie, 2004.

[AND 2002]: P. ANDRE « Architecture des réseaux de télécommunications », ISBN 2 7462 0561 0, LA Voisir, Paris, 2002.

[LES 2008]: P.LESCUYER and T. LUCIDARME « Evolved Packet System: The LTE and SAE evolution of 3G UMTS", John Wiley & Son, 2008.

[KOS 1947]: L.KOSTEN « Stochastic Theory of Service Systems ».Program Press, Oxford, 1947.

[WIL 1968]: R.I.WILKINSON and R.Radnik « Customers Retrials in toll circuit operation». IEEE Int Conf On Communication, 1968.

[LEF 2011] : M.LEFEBFRE « Probabilités Statistiques et Applications ». Canada, Presses Internationales Polytechnique, ISBN 978 2 553 01554 0, P. 541, 2011

[HEC 2003] : J.HECHE et M. Liebling, Dominique de Warra « Recherche Opérationnelle pour Ingénieurs II ». Presses polytechniques romandes, Enseignement des Mathématiques. ISBN 2 88074 459 8, P. 407, 2003.

[GHA 2012] : N.GHARBI « Chaine de Markov ». Support de cours, Module MEPS pour Master " Réseaux et systèmes distribués ", USTHB, 2012.

[RUE 1989] : A.RUEGG « Processus stochastiques avec applications aux phénomènes d'attente et fiabilité ». Suisse, presses polytechniques romandes, Méthodes mathématiques pour l'ingénieur. ISBN 2 88074 168 8, P. 150,1989.

[YAN 1987]: T. YANG and J.G.C Templton « A Survey on retrial queues » Queuing system, 1987, 201-233 p.

[ART 2002]: J.R.ARTALEJO and G.FALIN « Standard and Retrial Queuing Systems», a comparative analysis, P. 101-129, 2002,

[CHOI 1999]: B.D CHOI and Y.CHANG « MAP/MAP/M/C Retrial Queue with the Retrial Group of Finite Capacity and Geometric Loss ». Department of Mathematics, Korea University, 1999.

[LAB 2012]: L. LABANE et M.A BENDABI « Influence des Canaux Gardiens sur la QoS des Réseaux Mobiles Cellulaires ». PFE pour l'obtention du diplôme Master, USTHB, 2012.

[HONG 1986]: D. Hong and S. Rappaport, "Traffic modeling and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized Handoffs procedure" IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 35, pp. 77–92, Aug. 1986.

[SOM 2012]: S.R SOMAGARI and H.K PATI, "An Analytical model for adaptive multi-guard channel scheme for multi-class traffic in cellular networks with reduced handoff drop probabilities", 2nd intentional conference on communication, computing and security [ICCCS], 2012.

[KAT 1996]: I. KATZELA, M. NAGHSHINED « Channel assignement schemes for cellular mobile telecommunications systems », IEEE Personal Communications Magazine, Juin 1996.

[RAM 1997]: R. RAMJEE, R. NAGARAJAN and D. OWSLEY « On optimal call admission control in cellular networks », wireless network journal (WINET), vol.3, no. 1, PP. 29-41, 1997.

[ZAN 2004]: R. ZANDER and J. KARLSSON « Predictive and adaptive resource reservation (PARR) for Cellular Networks », International Journal of Wireless Information Networks, Vol. 11, No. 3, July 2004.

[ZHA 1991]: M.ZHANG and T.S. YUM « The nonuniform compact pattern allocation algorithm for cellular mobile systems », IEEE Trans. Vehicular Technology, vol.40, pp. 387-391, 1991.

[XHA 2004]: E XHAFa and O.K. TONGUZ « Dynamic priority queuing of Handover calls in wireless networks: An analytical framework », IEEE J.Sel. Areas in Commun, vol.22, no. 5, pp. 904-916, Jun 2004.

[LAN 2011]: LAN WANG, GEYON MIN, DEMETRES D. KOUVATSOS and XIANGXIAG ZUO « Modelling and analysis of a dynamic guard channel handover scheme with heterogeneous call arrival processes», Springer Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, Next Generation Internet, LNCS 5233, PP. 665–681, 2011.

[NAG 1995]: M. NAGHSHINEH, O. SCHWARTZ « Distributed call admission control in mobile/wireless networks », PIMRS, Proceedings of personal indoor and mobile radio communications, 1995.

[TAI 1997]: C. TAI-PO, S. RAPPAPORT « Overlapping coverage with reuse partitioning in cellular communications systems », IEEE Transactions on Vehicular Technology, 46(1), PP. 41-51, Février 1997.

[HAM 2002]: HAMID BEIGY and MOHAMMADREZA MEYBODI « A learning automata based dynamic guard channel scheme », Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002, EurAsia-ICT 2002, LNCS 2510, PP. 643–650, 2002.

[AJM 1999]: M. AJMONE MARSAN, M. MEO and M. SERENO « GSPN analysis of dual-band mobile telephony networks », the 8th International workshop on Petri nets and performance models, Zaragoza, 1999.

[XIA 2009]: W. XIAOLONG, MIN HE, FEI WANG, J. ZHENG, E. REGENTOVA, G. HAO « Performance Analysis of Sub-Rating for Handoff Calls in HCN », SciRes, I. J. Communications, Network and System Sciences, 2009.

[TRA 1997] : P. TRAN-GIA and M. MANDJES « Modeling of customer retrial phenomenon in cellular mobile networks », IEEE journal of Selected Areas in communication, vol.15, no. 8, PP. 1406-1414, Oct 1997.

[MAR 2001]: M.A MARSAN, G.D CAROLIS, E. LEONARDI, R. LO CIGNO and M.MEO, « Efficient estimation of call blocking probabilities in cellular mobile telephony networks with customer retrials », IEEE J.Sel Areas commun, 19, (2), PP. 332-346. 2001.

[MAR 1999]: M.A MARSAN, G.D CAROLIS, E. LEONARDI, R. LO CIGNO and M.MEO, « How many cells should be considered to accurately predict the performance of cellular networks », wireless'99, Munich, Germany, Oct 6-8, 1999.

[JOS 2005]: JOSE.M GIMENEZ-GUSMAN, M.J DOMENECH-BENLLOCH, J. MARTINAZ-BAUSET, VICENT PLA and VICENTE CASARES-GINER « Analysis of handover procedure with queuing, retrials and impatient customers », the 04th international proceeding, HET-NET, performance modeling and evaluation of heterogeneous network, Ilkley, United Kingdom, July 2005.

[JOS 2007]: JOSE.M GIMENEZ-GUSMAN, M.J DOMENECH-BENLLOCH, J. MARTINAZ-BAUSET, VICENT PLA and VICENTE CASARES-GINER « Analysis of network with user retrials and automatic handover retrials », the 7th international conference of the next generation tele-traffic and wired/wireless advanced networking, lecture notes in computer science, vol.4712, PP. 210- 222, 2007.

[DO 2010]: T.V Do, “new computational algorithm for retrial queues to cellular mobile systems with guard channels”, Computers, Industrial Engineering. vol. 59, PP. 865-872, 2010.

[DO 2011]: T.V Do, “Solution for a retrial queuing problem in cellular networks with the fractional guard channel policy”, Mathematical and Computer Modeling, vol. 53, no 11, p. 2059-2066, 2011.

WEBOGRAPHIE

[WWW11]: cours sur « Les réseaux mobiles et sans fil » [en ligne]. Disponible sur < <http://fr.scribd.com/doc/61131795/Mobile>>. Décembre 2012.

[WWW21]: cours sur « les variables aléatoires » [en ligne]. Disponible sur < <http://www.doc-etudiant.fr/Gestion/Finance/Cours-Les-chaines-de-markov-119507.html>>. Consulter le 20 Mars 2013.

[WWW22]: cours sur « les chaînes de Markov » [en ligne]. Disponible sur < www-timc.imag.fr/Olivier.Francois/processus.pdf>. Consulter le 20 Mars 2013.

[WWW23]: définition de La loi exponentielle [en ligne]. Disponible sur < http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_exponentielle>. Consulter le 20 Mars 2013.