

Chapitre I

Généralité sur les réseaux cellulaires

Introduction :

Au cours des dernières décennies, de plus en plus d'applications de télécommunication sont convertis vers le concept sans fil. Ce changement a commencé au début des années 80 quand les premiers systèmes cellulaires analogiques commerciaux (systèmes cellulaires de première génération (1 G)) ont été lancés : Advanced mobile phone service (AMPS) aux USA en 1979 et le Nordic Mobile Téléphone (NMT) dans les pays scandinaves de 1982-1986 [4]. Une des limitations des systèmes 1G était la puissance de consommation élevée par la station mobile (MS). En plus, ces systèmes ont été conçus seulement pour des services vocaux et ont eu seulement un nombre restreint d'utilisateurs. La percée commerciale dans les télécommunications cellulaires est réalisée avec l'introduction des premiers systèmes cellulaires numériques (2G : GSM : Groupe spécial Mobil) au début des années 90. L'introduction des téléphones portables a changé le mode de vie des gens et a soulevé de nouvelles demandes de services de transmission de données à grande vitesse. Au lieu du vieux concept «Travailler au bureau», les gens, maintenant, veulent être atteint et travailler indépendamment de leur localisation physique. Quoique GSM supporte aussi des services «données» à vitesse réduit, les services vocaux sont restés le but principal du GSM. Par conséquent, de nouveaux systèmes mobiles ont du être développés pour satisfaire la demande de meilleurs services de donnée. Ce sont, pour l'instant, Enhanced data for Global Evolution (EDGE) [5] , le General pack et Radio service (GPRS) et les systèmes 3G tels que (DS-CDMA) et CDMA 2000 [6]. GPRS et EDGE fonctionnent à l'intérieur de la bande GSM, alors que les systèmes 3G sont de nouveaux systèmes complets avec un concept différent de GSM. Dans les systèmes 1G et 2G, toute la largeur de bande de fréquence utilisée a été divisée en plusieurs petits canaux, et à un moment donné, chaque canal pourrait seulement être employé par quelques utilisateur. Dans les systèmes 3G, tous les utilisateurs partagent la même largeur de bande. Afin distinguer les différents utilisateurs, chaque utilisateur a un code de propagation unique dans une cellule.

I.1 Les réseaux mobiles

Les réseaux mobiles sont des réseaux sans fil dans lesquels au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaisons filaires. Grâce à ce type de réseau, un utilisateur (abonné) a la possibilité de rester connecté au réseau tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on parle de « mobilité ». [7] Ces réseaux sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques et utilisent l'interface radio comme support de transmission.

I.1.1 Classification des réseaux mobiles

On peut classer les réseaux mobiles selon plusieurs critères. A titre d'exemple on peut les classer selon leurs modes de connexion ou l'étendu géographique couvert par ces réseaux. On distingue deux types de réseaux en se basant sur leurs topologies :

A- L'architecture à infrastructure :

Dans cette architecture, des stations de base gèrent toutes les communications des mobiles. Ces différentes stations de base sont interconnectées entre elles formant ainsi le réseau et permettant la communication entre elles. Parmi ces réseaux on peut citer le réseau GSM, UMTS, ...etc.

B- L'architecture Ad-Hoc [8]

Est une architecture autonome créée par l'association temporaire des nœuds. Ces derniers jouent à la fois le rôle de client et de routeur du réseau. Il n'y a pas de hiérarchie préalable, tous les terminaux sont considérés comme égaux.

Les réseaux mobiles sont aussi distingués par leurs étendus géographique. Parmi eux nous citons les réseaux WLAN, WMAN, WPAN.

I.1.2 Le concept cellulaire :

Le principe du système cellulaire est de diviser le territoire en petites zones appelées cellules (figure I.1) et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Chaque cellule est constituée d'une station de base (reliée au Réseau Téléphonique Commuté RTC) à laquelle on associe un certain nombre de fréquences. Elle assure le rôle d'un intermédiaire entre l'infrastructure fixe du réseau et les utilisateurs mobiles situés à l'intérieur de la cellule. Ainsi, une cellule peut être définie comme étant l'étendu

géographique couvert par une station de Base [9].

L'utilisation du concept cellulaire a pour intérêt de permettre la réutilisation des ressources radio (fréquences). Le principe de réutilisation de fréquences consiste à allouer la même gamme de fréquence à des cellules suffisamment distante 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. La figure I.1 montre un exemple d'un tel motif.

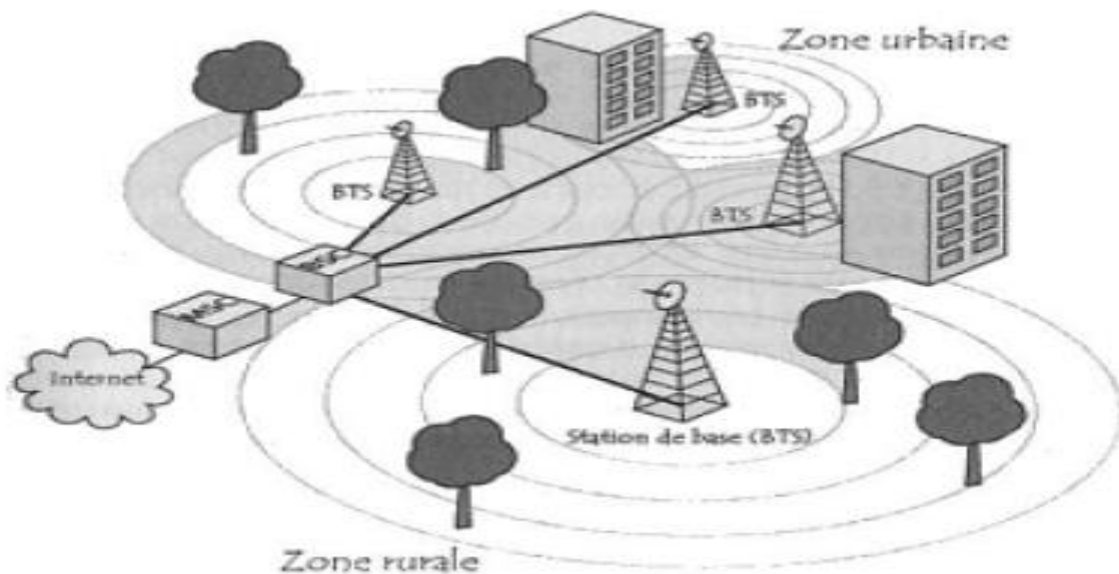


Figure I.1 : Décomposition du territoire en cellules

On distingue quatre niveaux hiérarchiques de cellules (figure I.2):

- Pico- cellule couvrant une petite surface comme l'intérieur d'un bureau
- Micro- cellule couvrant la surface d'une petite cité
- Macro- cellule pouvant avoir une couverture de plusieurs kilomètres

Cellule globale couvrant une région pouvant atteindre le tiers du globe grâce aux satellites.

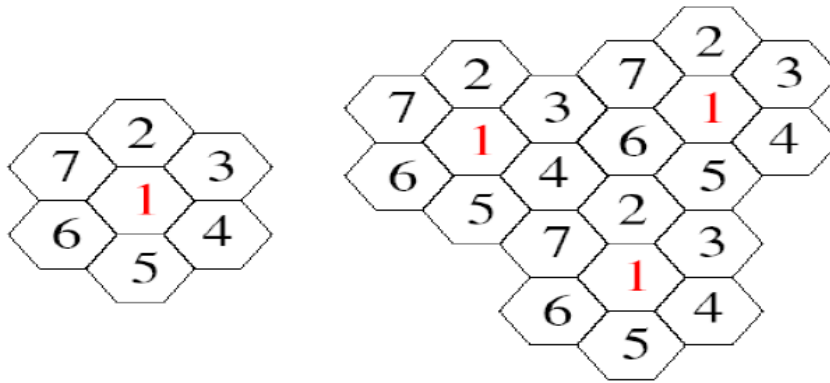


Figure I.2 : exemple de motif de cellule

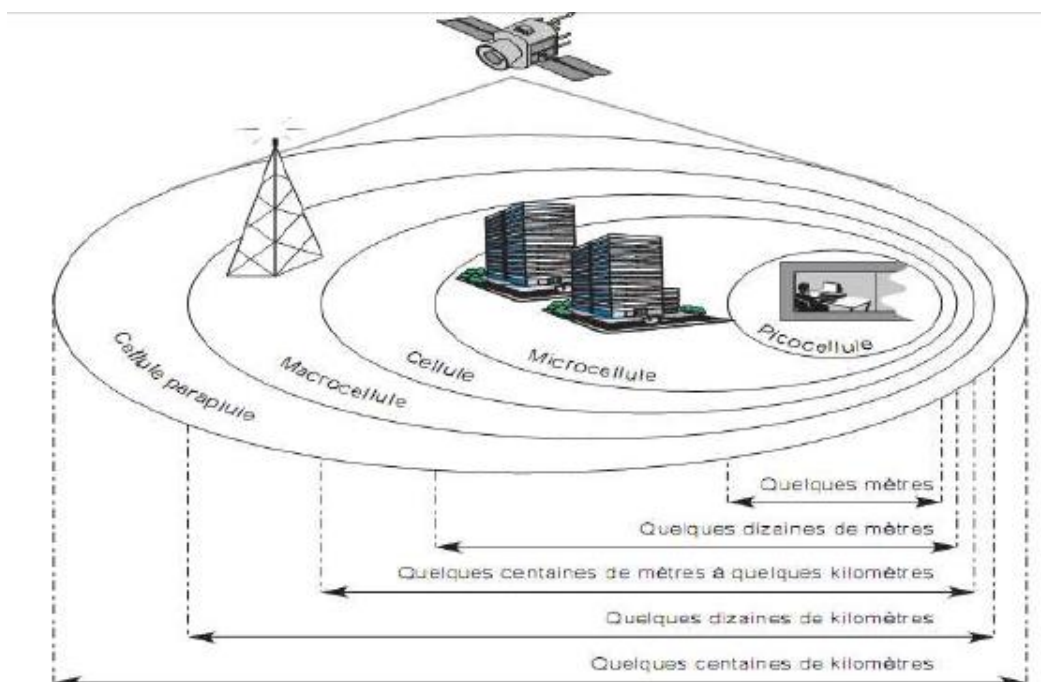


Figure I.3 : Structure hiérarchique des cellules

Une cellule se caractérise par :

- Sa puissance d'émission : ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé.
- La fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radioélectrique.
- Le réseau auquel elle est interconnectée.

I.2 Générations des réseaux mobiles

On distingue quatre principales générations [10] :

I.2.1 La première génération - 1G

La première génération de téléphonie mobile (noté 1G) a vu le jour dans les années 80. Elle est basée sur une transmission analogique avec une modulation de fréquences. Elle est constituée d'appareils relativement volumineux, utilisant une faible bande passante. Cette norme ne permet que la transmission de la parole. La zone de couverture est divisée en cellules de tailles différentes. On y retrouve essentiellement les standards suivants :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) apparu aux USA, constitue le premier standard des réseaux de 1G, il possède de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage des lignes téléphoniques.
- **TACS** (Total Access Communication System) est la version européenne du standard AMPS utilisant une bande de fréquence de 900MHz.
- **ETACS** (Extended Total Access Communication System) est une version amélioré du standard TACS, il a été développé au Royaume-Uni et permet l'utilisation d'un nombre plus important de canaux de communications.

I.2.2 La deuxième génération - 2G

La deuxième génération (notée 2G) a marqué une rupture avec la 1G grâce au passage de l'analogique au numérique. La norme permet la transmission de la parole et des données simultanément. Elle offre la possibilité aux utilisateurs de partager un même canal de transmission, ceci est possible grâce à l'utilisation du mécanisme de division de fréquence FDMA (Frequency Division Multiple Access) et le mécanisme de division de temps TDMA (Time Division Multiple Access).

On y retrouve les standards suivant :

- **D-AMPS** (Digital AMPS) compatible avec AMPS lancé par un groupe américain.
- **GSM** (Global System for Mobile communication) [11] lancé par un groupe européen, s'est vite imposé leader des réseaux de téléphonie mobile à l'échelle mondiale. Ce standard a vite donné naissance à ce qu'on appelle la génération 2.5. C'est le réseau GPRS (General Pocket Radio Service) qui permet la transmission de données par paquets. et l'EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution). Étape intermédiaire entre le GPRS et l'UMTS, ses débits pourraient, en théorie, atteindre 250 kbps.

I.2.3 La troisième génération – 3G

Elle a été introduite vers la fin des années 90, suite au besoin des utilisateurs d'intégrer le multimédia dans les applications du mobile. Les spécifications IMT 2000(International Mobile Télécommunication for the year 2000) de l'union International des Télécommunications UIT définissent les caractéristiques de la 3G. Un réseau de troisième génération doit permettre [12] :

- Une transmission à haut débit des données
- Une compatibilité mondiale
- Une compatibilité avec les réseaux de 2G

La principale norme 3G utilisée en Europe est UMTS (Universel Mobile Télécommunication System) utilisant le codage W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access).

I.2.4 La quatrième génération – 4G

La quatrième génération, qui se base sur la technologie «Long Term Evolution» (LTE), commence à émerger, permet des débits beaucoup plus élevés pouvant aller jusqu'à 100 Mb/s, soit 3 ou 4 fois plus rapides que ceux de la 3G. La migration progressive vers la 4G se fera à un coût inférieur à celui qu'ont nécessité les réseaux précédents, puisqu'elle implique davantage de modifications logicielles que matérielles. Les internautes pourront envoyer des fichiers lourds sans problème depuis leur portable et les utilisateurs de téléphones intelligents, se connecter plus rapidement au Web et y naviguer sur la Toile en mode accéléré, en plus de pouvoir visionner des vidéos en HD, envoyer des courriels avec des pièces jointes, télécharger Des films, etc.

I.2.4.1 Buts de la 4G

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

I.3 Technologies 4G

I.3.1 Réseau WiMAX

Wi MAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [13], est une solution pour des réseaux MAN sans fil. En utilisant un accès Wi MAX, on peut atteindre théoriquement un débit jusqu'à 70 Mb/s avec une distance de 50 km.

Wi MAX se sert de la technologie micro onde avec plusieurs bandes de fréquences.

Par rapport au modèle OSI, IEEE 802.16 se focalise comme tous les standards IEEE sur la couche 1 et 2.

Wi MAX prend en charge les transferts de type ATM et IP. Pour cela il utilise une sous couche de convergence qui permet la conversion des informations afin de les rendre exploitable par la couche MAC.

Wi MAX couvre des zones géographiques importantes sans la contrainte d'installation D'infrastructures coûteuses pour faire parvenir la connexion jusqu'à l'utilisateur. Le premier élément de l'architecture WMAN est la station de base (BS) qui couvre une certaine zone géographique où se situent des utilisateurs immobiles ou en mouvement relativement lent qui communiquent avec la BS selon le principe du point à multipoint.

Ce réseau peut fournir des débits importants et un passage à l'échelle en raison des capacités de canal flexibles. Il offre une couverture importante, des services avec des exigences de QoS, ainsi qu'une sécurité importante. Le standard 802.16 couvre l'utilisation des bandes de fréquences de 10 à 66 GHz.

I.3.2 QoS dans le Wi MAX

Le Wi MAX a été conçu dès le début pour prendre en charge la Qualité de Service (QoS). La couche MAC permet de différencier deux classes de stations d'abonnées (SS):

- **GPC** (Grant per Connections) : Où le débit est alloué explicitement par la BS à une Connexion, et la SS emploie les ressources seulement pour cette connexion.
- **GPSS** (Grant per SS) : Où l'allocation de débit par la BS est faite par station d'abonné SS. Elle va ensuite répartir ses ressources entre les différentes connexions.

Le WiMAX propose des classes de services pour offrir une QoS différente entre les

I.4 L'interface radio des réseaux mobiles

Dans les réseaux de mobiles, la transmission des données passe par une interface radio. Les utilisateurs du réseau se disputent l'accès à cette interface. Si deux mobiles émettent en même temps, l'antenne ne captera qu'un seul des deux messages.

Le multiplexage semble résoudre le problème de conflit de transmission. En effet, il permet de partager la capacité d'un support de transmission entre plusieurs voies de communications. Plusieurs techniques de multiplexage ont été définies :

TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access) et CDMA (Code Division Multiple Access) [14]

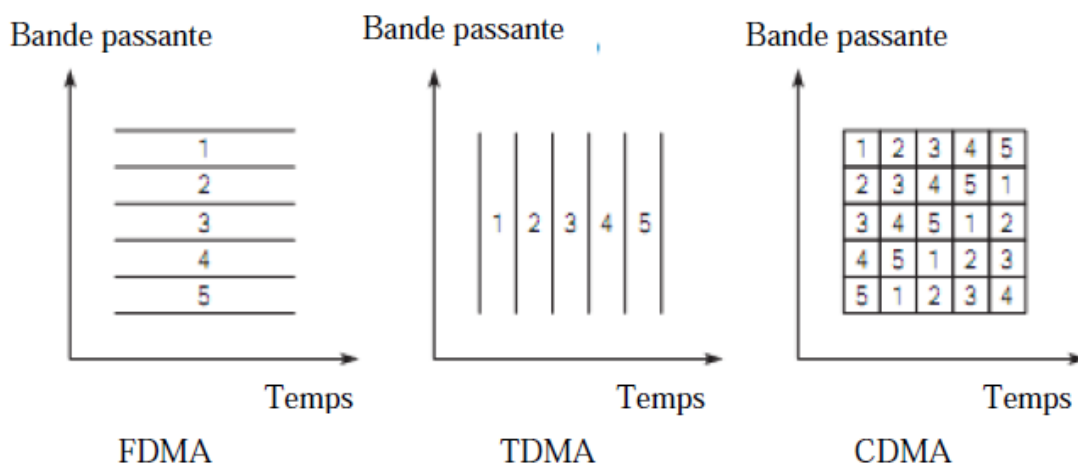


Figure 1.4 : Méthodes d'accès au réseau

- **TDMA (Time Division Multiple Access)**

La méthode d'accès TDMA se base sur une répartition des utilisateurs dans le temps. Pour Transmettre les données, chaque utilisateur dispose d'un intervalle de temps appelé slot durant lequel la bande de fréquence est libre.

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**

Dans cette technique, la bande de fréquence est divisée en plusieurs sous bandes. Chaque

voie de communication occupe une sous bande de fréquence et transmet sur sa fréquence Porteuse dédiée.

- **CDMA (Code Division Multiple Access)**

Dans cette méthode d'accès, tous les utilisateurs parlent en même temps, l'antenne étant capable de récupérer correctement tous les signaux qui lui arrivent grâce au code de puissance. Chaque terminal émet sur une fréquence donnée avec une puissance déterminée Par le code.

I.5 La qualité de service dans les réseaux mobiles

La qualité de service (QoS) est la capacité d'un élément du réseau de fournir un niveau de garantie afin d'assurer un bon acheminement des données . Certaines applications sont plus exigeantes que d'autres tels que les applications temps réel.

La QoS est une condition nécessaire au passage du multimédia. Une valeur de QoS s'applique à l'ensemble d'une connexion réseau. Elle doit être identique aux deux extrémités de la connexion

La QoS est décrite à l'aide de paramètres. Plusieurs paramètres de qualité de service ont été définies, dont voici les principaux :

- Délai d'établissement de la connexion réseau : correspond au temps

S'écoulant entre la demande de connexion et la confirmation de connexion. Ce paramètre de QoS indique le temps maximal acceptable par l'utilisateur.

- Probabilité d'échec de l'établissement de la connexion : est établie à partir des

Demandes de connexion non satisfaites

- Temps de transit lors du transfert des données : correspond au temps écoulé entre une

Demande de transfert de données et l'indication de transfert.

- Taux d'erreurs résiduelles : se calcule à partir du nombre de paquets qui arrivent

Erronés, perdus ou en double sur le nombre total de paquets émis

- Probabilité de rupture de la connexion réseau : se calcule à partir du nombre de libérations et de réinitialisations d'une connexion réseau par rapport au nombre de transferts effectués
- Délai de libération de la connexion réseau : c'est le délai maximal acceptable entre une Demande de connexion et la libération effective
- Protection de la connexion réseau : détermine que la connexion réseau est en état de marche durant toute la période où elle est ouverte par un utilisateur.
- Priorité de la connexion : détermine la priorité d'accès à une connexion réseau, la priorité de maintien d'une connexion et la priorité des données sur la connexion.

Deux architectures majeures de QoS se sont distinguées : l'architecture à intégration de Service (Int-Serv) et l'architecture à différenciation de service (Diff-Serv).

I.6 Mobilité dans les réseaux cellulaires

La mobilité dans les réseaux cellulaires permet aux utilisateurs de ne pas être contraints à Une position géographique fixe pour avoir accès au réseau. En effet, les abonnés se trouvent Libres de se déplacer dans toute la zone desservie, sans pour autant se déconnecter du réseau.

Plusieurs techniques ont été mises en œuvre pour assurer cette mobilité. Elles peuvent se résumer dans le transfert intercellulaire : le handover, et les procédures de localisation (Paging).

I.6.1 Le handover

Le handover est le processus par lequel une communication est maintenue lors du déplacement du mobile dans le réseau cellulaire. Ce maintien est possible grâce au changement du canal radio utilisé. Le nouveau canal peut être dans la même cellule, on parle alors d'un handover intracellulaire, ou vers une nouvelle cellule, c'est le handover intercellulaire. Figure I.6

L'objectif du handover est de maintenir une qualité de communication suffisante entre le mobile et le réseau à travers un changement de fréquence ou de cellule. Le handover permet Entre autre de :

- Permettre aux usagers de se déplacer en cours d'appel.
- Minimiser les interruptions
- Optimiser l'utilisation des ressources radio.
- Equilibrer la charge de trafic entre les cellules.
- Baisser la consommation d'énergie des mobiles.

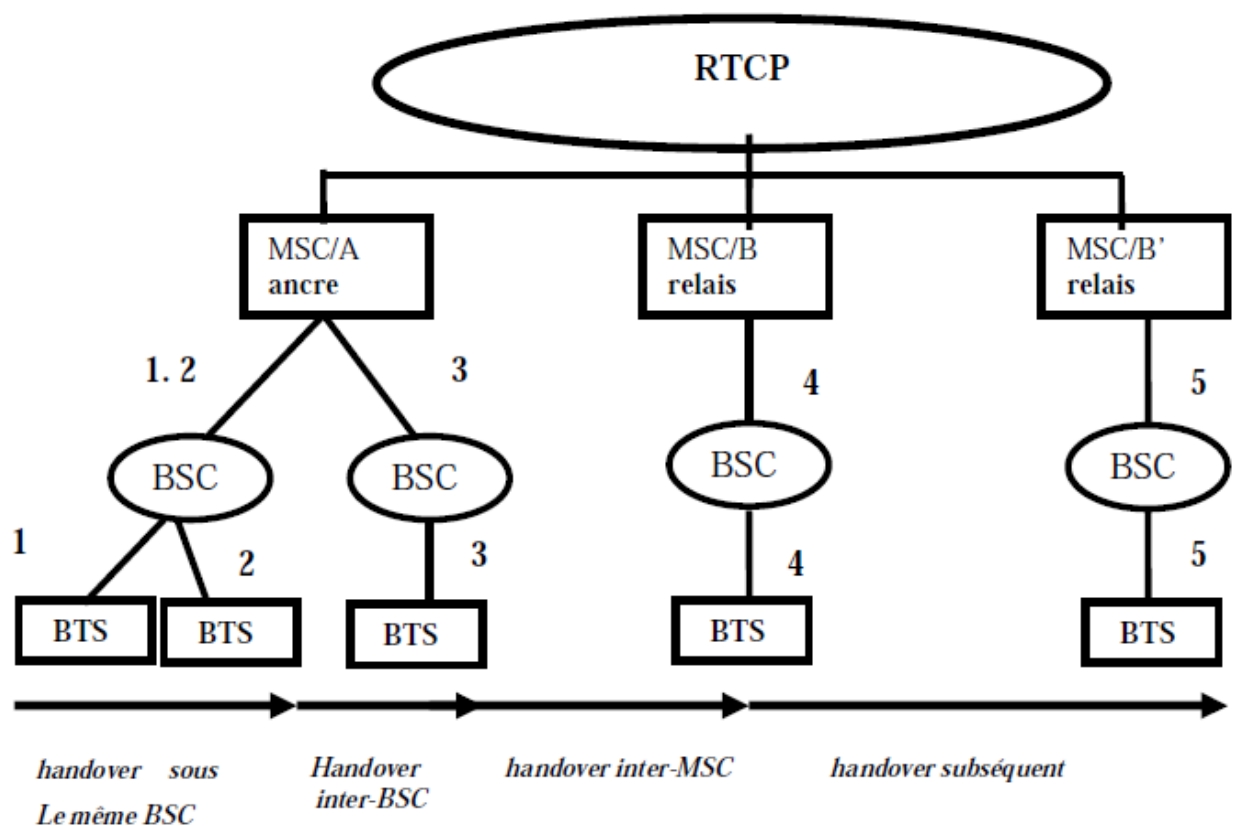


Figure I.5 : Différents cas du handover

Le déclenchement du handover est lié à certains critères qu'on appelle indicateurs de Déclanchement. Parmi eux :

- La puissance du signal reçu. La station de base mesure en permanence la Force du signal reçu par la station de base de rattachement, mais écoute également les stations De bases des cellules voisines ; c'est ce qu'on appelle le handover assisté par le réseau
- La distance (mobile, SB). Lorsque le mobile s'aperçoit qu'il est loin de sa station de

Base, et en recevant un signal plus fort d'une autre cellule, il en informe sa station de

Base actuelle ; c'est le handover assisté par le mobile

- La station de base courante décide, alors, de passer le relais à la station de base voisine et met en œuvre la procédure du handover

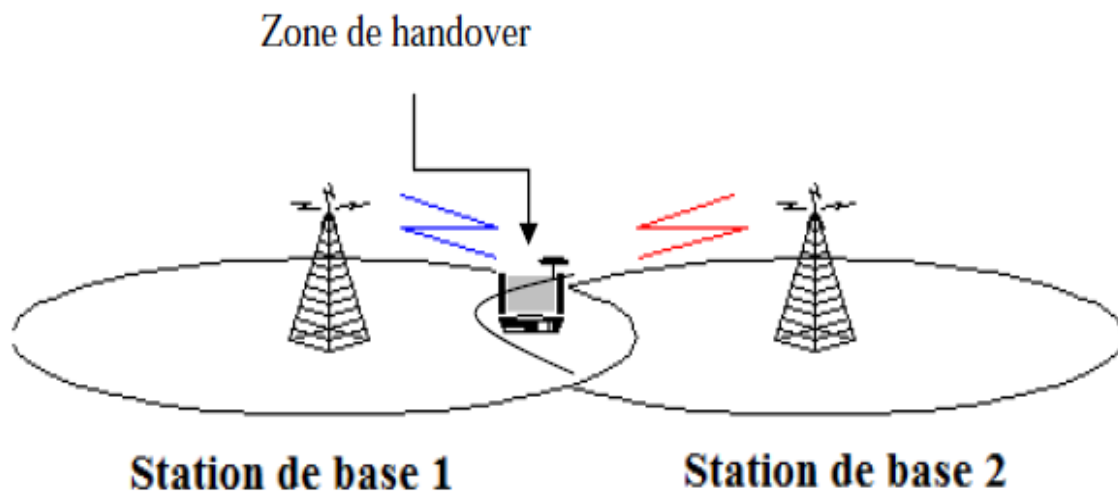


Figure 1.6 : Procédure d'exécution du handover

I.7 Limitations Caractéristiques des communications sans fil

Le canal radio est un canal qui change continuellement et engendre par la suite des distorsions et des perturbations de différentes manières sur le signal transmis. Ce dernier sera affecté par les interférences inter symboles ISI, les interférences Co-canal CCI, la propagation par trajets multiples et le bruit. Toutes ces imperfections doivent être prises en compte dans la conception d'un réseau sans fil.

I.7.1 L'Interférence inter symbole

L'interférence inter symbole (ISI) est un phénomène qui se produit parce que le canal radio n'a pas une largeur de bande infinie. Les effets d'ISI sont illustrés sur la Figure I.8. La Figure I.8.a représente le signal original transmis et la Figure inférieure I.8.b représente le signal reçu dans un canal à bande étroite (band limited). Nous pouvons voir que l'effet d'ISI est que les symboles s'étalent dans le temps jusqu'à chevauchement, ce qui génère une interférence entre les symboles voisins, d'où le nom d'ISI. L'effet d'ISI est plus notable dans les systèmes à débits binaires élevés, parce que la séparation temporelle diminue entre les symboles avec l'augmentation des débits binaire. La manière la plus connue pour contrôler ISI est de mettre un filtre de transmission et de réception dans le système [15]. L'intérêt de ces filtres est de limiter la largeur de bande du signal à la largeur de bande du canal avant de transmettre le signal. Ainsi, seulement une quantité commandée d'ISI sera introduit, et chaque utilisateur transmettra seulement sur son canal assigné. Le type le plus utilisé des filtres de transmission

et de réception est le filtre en cosinus surélevé (SRRCF), dans lequel les filtres de transmission et de réception sont identiques.

(a)

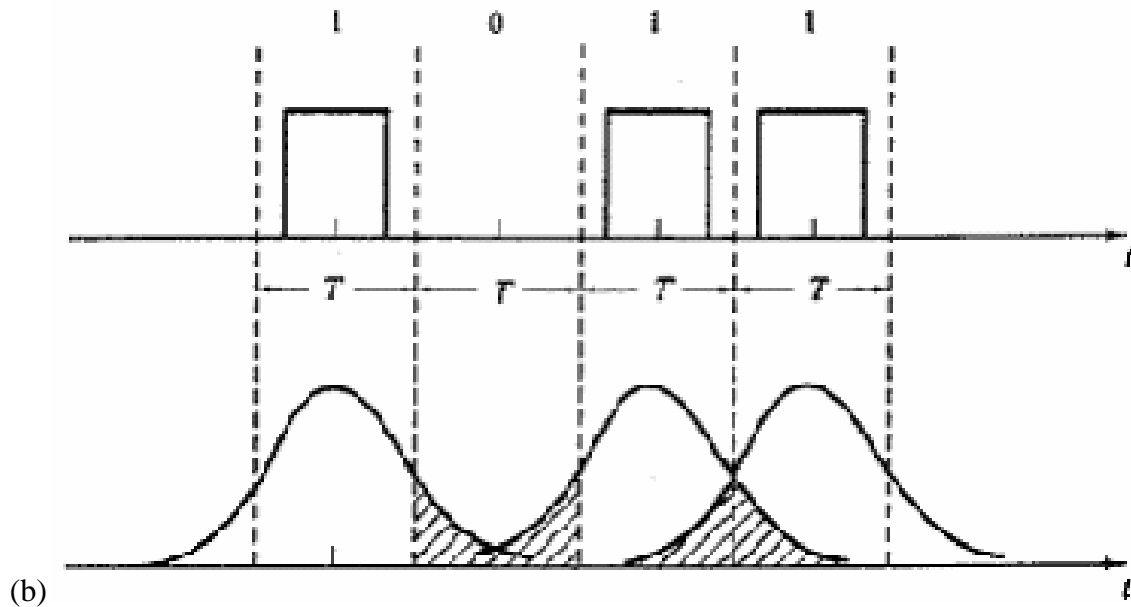


Figure I.7.représentation de l'interférence ISI

I.7.2 Les Interférence Co-canal

L'interférence Co-canal se produit quand plusieurs utilisateurs ou canaux partagent la même fréquence de transmission. Les systèmes 2G et 3G présentent des interférences Co-canal mais il ya une grande différence concernant la façon dont ils traitent se problème. Dans les systèmes 2G, tout le secteur de couverture est divisé en cellulaire. Dans chaque cellule seulement un canal est utilisé [16]. Puisque la largeur de bande du système est limitée, le canal doit être réutilisé dans une autre cellule. Puisqu'il y aurait des interférences inacceptables de Co-canal si des cellules voisines transmettent sur la même fréquence. La distance entre les cellules qui utilisent le même canal s'appelle distance de réutilisation. Le concept cellulaire est illustré par la figure I.8, ou quatre ensembles différents de canaux sont

utilisés.

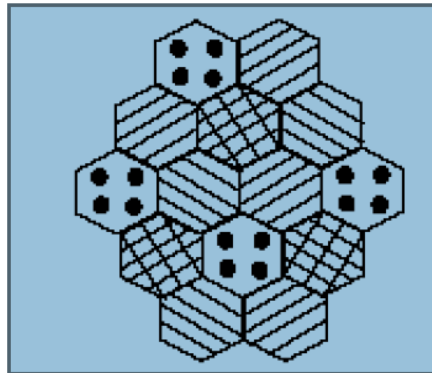


Figure I.8 : structure cellulaire d'un système sans fil avec quatre ensables différents de canaux.

I.7.3 Propagation par trajets multiples :

Dans les communications mobiles, un signal transmis est soumis aux réflexions par des bâtiments, montagnes, ou autres réflecteurs, voir la Figure I.9. Ce phénomène s'appelle la propagation par trajet multiples et mémé à la déformation ou même à une suppression provisoire du signal reçu. Les variations d'amplitude du signal reçu s'appellent évanouissent (fading). Quand différentes fréquences sont atténuées différemment cela s'appelle fading sélectif de fréquence. Autrement, il s'appelle fading plat des fréquences (flat fading).



Figure I.9. Propagation par trajet multiples