

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche scientifique*



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa

*Université Abderrahmane Mira de Bejaïa*

*Faculté de Technologie*

*Département de Génie électrique*

## **Mémoire de Fin de Cycle**

**En Vue d'Obtention du Diplôme Master Recherche**

*Filière : Électronique      Spécialité : Télécommunication*

**Thème :**

***Etudes de la qualité de service du réseau  
GSM/Mobilis à Bejaia***

*Présenté par :*

***M<sup>elle</sup> Kaci Thin-hinane    et    M<sup>elle</sup> FERHANE KAHINA***

*Soutenu en public en date du : 29 Juin 2015*

*Devant le Jury :*

*Mr. A.Khierredine*

*M.C U.A.M Béjaïa*

*Président*

*Mr. M. AZNI*

*M.C U.A.M Béjaïa*

*Examineur*

*Mr. M. TOUNSI*

*M.C U.A.M Béjaïa*

*Rapporteur*

***Promotion 2014-2015***

## *Remerciements*

---

*On tient par la présente feuille à exprimer nos plus sincères remerciements à tous ce qui ont contribué à l'accomplissement de ce mémoire.*

*On remercie monsieur Tounsi notre encadreur pour tous les efforts qu'il a fournis.*

*Un grand merci pour Mr Azni et Mr Khireddine pour avoir bien voulu évaluer notre travail.*

*On tient aussi à remercier tous nos professeurs du primaire à l'université pour leur courage et patience, plus particulièrement.*

*On tient à offrir notre plus grande gratitude à ces deux messieurs très distingués Mr Bekhouche Hamid et Mr Ouadi Djamel qui nous ont pris sous leurs ailes au sein de l'entreprise Mobilis.*

*Nous remercions nos parents pour leurs soutiens et encouragement.*

*Aussi on tient à remercier tous nos amis : Kahina, thinhinane, Fares, Mouna, Katia, Sonia, Lila, Sghira, Zahra, Halima, Ouarda, Thiziri, Areski, Hamid, Fahim, Mhend, Assia, Siham, Thilleli, Nachida, Dahia, Silya, Iris, Youssra, Noura, oualid, Fawzi, oussama,.*

## *Dédicaces Ferhane*

---

*Je dédie mon travail à mon père qui m'a soutenu dans mes études et à ma mère qui m'a tout donné.*

*A mes frères Mabrouk et koussaila.*

## *Dédicaces Kaci*

---

*Je dédie mon travail à mon père qui m'a toujours soutenu dans les rudes épreuves et à ma mère qui m'a tant donné.*

*A mes grand parents Lahlou et Louiza que dieu les garde indéfiniment.*

*A mes frères Jégurtha, Massinissa et lounes*

*A mes soeurs Thiziri, kenza et wezna*

*Celui qui a un projet à court terme, sème du blé*

*Celui qui a un projet à moyen terme, plante un arbre*

*Celui qui a un projet à long terme, éduque son peuple*

*Merci papa*

# *Table de matière*

Table de matière.....	I
Introduction générale.....	1

## ***CHAPITRE I – GENERALITES SUR LE RESEAU GSM***

I.1 Introduction.....	3
I.2 Contraintes de transmission en contexte Radio-Mobile .....	3
I.2.1 Distorsion en amplitude, Fading de Rayleigh, évanouissement .....	4
I.2.2 Distorsion en fréquence, effet Doppler .....	4
I.2.3 Affaiblissement de propagation .....	5
I.2.4 Retard de transmission.....	5
I.2.5 Interférences dans la transmission .....	6
I.3 La technologie GSM .....	6
I.3.1 L'architecture cellulaire .....	7
I.3.1.1 Réutilisation de fréquences .....	8
I.3.1.2 Distance de réutilisation .....	8
I.3.2 Infrastructure GSM .....	9
I.3.2.1 Le sous-système radio BSS .....	9
I.3.2.2 Le sous-système d'acheminement NSS.....	12
I.3.2.3 Le centre d'exploitation et de maintenance OMC .....	13
I.3.3 La structure topologique du réseau GSM .....	13
I.3.4 Présentation des interfaces .....	15
I.3.5 Méthodes d'accès au réseau GSM .....	16
I.3.5.1 Le partage en fréquence FDMA (Frequency Division Multiple Access) .....	16

1.3.5.2 Le partage en temps TDMA (Time Division Multiple Access).....	17
I.3.6 La modulation utilisée dans le GSM.....	18
I.3.7 Synthèse des principales caractéristiques du GSM .....	18
I.3.8 Les fonctions du GSM .....	19
1.3.8.1 Assurer une qualité de service.....	19
1.3.8.2 Fonctions avancés du GSM ou Mécanismes de protection contre les interférences ..	20
I.4 CONCLUSION.....	24

## ***CHAPITRE II – LES CANAUX RADIO GSM***

II.1. INTRODUCTION .....	25
II.2 CANAUX PHYSIQUES .....	25
II.3 STRUCTURE DES INFORMATIONS .....	26
II.3.1 Codage des informations .....	26
II.3.2 Structure d'un burst d'information .....	30
II.4 CANAUX LOGIQUES .....	31
II.4.1 Classification des canaux logiques .....	32
II.4.2 La voie balise.....	33
II.4.2.1 Canal FCCH .....	34
II.4.2.2 Canal SCH .....	34
II.4.2.3 Canal BCCH.....	35
II.4.3 Les canaux de contrôle commun .....	35
II.4.3.1 Canal RACH.....	35
II.4.3.2 Canal AGCH.....	36
II.4.3.3 Canal PCH .....	37
II.4.3.4 Canal CBCH.....	37
II.4.4 Les canaux dédiés .....	37

II.4.4.1 Canal TCH.....	37
II.4.4.2 Canaux de commande .....	37
III.4.5 Multiplexage TCH plein débit-SACCH.....	38
II.4.6 Multiplexage SDCCH-SACCH.....	39
II.4.7 Multiplexage des canaux non dédiés .....	40
II.5 CONCLUSION .....	41

### ***CHAPITRE III: LA QUALITE DE SERVICE EN TELEPHONIE RADIO-MOBILE***

III.1 Introduction .....	42
III.2 Notion du trafic et Définition de l'Erlang .....	42
III.2.1 Modèle du trafic à perte : Erlang B .....	42
III.2.2 Modèle de trafic avec file d'attente : Erlang C .....	43
III.3 Table d'Erlang.....	44
III.4 Notion d'heure de pointe.....	45
III.5 Le trafic offert et le trafic écoulé.....	45
III.6 Qualité de service .....	46
III.6.1 Les compteurs .....	47
III.6.2 Les indicateurs de performance KPI .....	48
III.6.2.1 Les seuils tolérer pour les KPIs.....	49
III.6.2.2 le rôle des indicateurs de Performance .....	50
III.6.3 Supervision de la qualité de service .....	50
III.7 Les critères de QoS .....	51
III.7.1 Couverture du réseau .....	51
III.7.2 Qualité des communications ou la qualité vocale .....	52
III.7.3 Les mesures d'accessibilité au réseau.....	53

III.8 Les KPIs utilisés pour l'évaluation de la QoS .....	54
III.8.1 La congestion .....	54
III.8.2 Catégorie de service GoS .....	55
III.8.3 taux de succès d'établissement d'appels CSSR .....	56
III.8.4 Le taux d'appels réussi CSR .....	56
III.8.5 Taux de réussite du handover HSR .....	56
III.8.6 Taux de coupures d'appel CDR .....	56
III.8.7 Disponibilité des canaux TCH .....	57
III.9 Conclusion.....	57

***CHAPITRE IV : ANALYSE DE LA QoS DU RESEAU GSM MOBILIS A  
BEJAIA***

IV.1 Introduction.....	58
IV.2 Statistiques KPI .....	58
IV.3 Analyse des trois KPIs (Trafic, congestion et disponibilité) .....	59
IV.4 analyse de l'indicateur taux de coupure d'appels .....	65
IV.5 analyse de l'indicateur (taux de succès de HO) .....	69
IV.6 Conclusion .....	70
Conclusion Générale .....	71

## *Liste d'Abréviation*

AGCH	Access Grant Channel	Canal de concession d'accès
AUC	Authentication Centre	Centre d'authentification
BER	Bits Errors Rate	Taux d'erreurs binaires
BSC	Base Station Controller	Contrôleur de station de base
BCH	Broadcast CHannel	Canaux de diffusion
BCCH	(Broadcast Control CHannel	Canal de commande de diffusion
BSS	Base Station System	Système de station de base
BTS	Base Transceiver Station	Station Emetteur-rcepteur de base
CCCH	Common Control Channel	Canal de contrôle commun
CCR	Call success rate	Taux d'appels réussi
DCS	Data communication Subsystem	Sous système de communication de données
CDR	Call drop rate	Taux de coupures d'appel
CDMA	Code Division Multiple Access	accès multiple à répartition en code
CSSR	Call set up success rate	taux de succès d'établissement d'appels
EIR	Equipment Identity Register	Registre d'identification des équipements
ETC	Echange Terminal Circuit	Circuit Terminal de central
FCCH	Frequency Correction Channel	Canal de correction de fréquence
FDMA	Frequency Division Multiple Access	accès multiple à répartition en fréquence
GMSC	Gateway Mobile Services switching centre	centre de commutation des services mobiles passerelle
GMSK	Gaussian Minimum Shift keying	Modulation à déplacement minimal gaussien
GOS	Grade Of Service	Grade de service
GSM	Global System for Mobile communication	Groupe Spécial Mobile
GSS	Group Switching Subsystem	Sous système de commutation de groupe
HLR	Home Location Register	Registre de Localisation de rattachement
HO	HandOver	Handover
HLRS	Home Location Register subsystem	Sous système de registre de localisation de rattachement
HSR	Handover success rate	Taux de succès de handover

IMSI	International Mobile Subscriber Identity	Identification Internationale d'abonné mobile
KPI	Key Performance Indicator	Indicateurs de performances
LTE	Long Term Evolution	Evolution a long termes
MS	Mobile Station	Station mobile
MSC	Mobile Services switching centre	Centre de commutation des services mobiles
MSISDN	Mobile Station ISDN number	Numéro ISDN de Station mobile
NSS	Sub-system Network	Sous-système d'acheminement
OMC	Opération and Maintenance Centre	Centre d'exploitation et de maintenance
OMS	Operation and Maintenance Subsystem	Sous système d'exploitation et maintenance
PCH	Paging Channel	Canal de recherche
RBS	Radio Base Station	Station de base radio
ROS	Radio Operation subsystem	Sous système d'exploitation radio
SACCH	Slow Associated Control CHannel	Canal de commande lent associé
SIM	Subscriber Identity Module	Module d'identification d'abonné
SMS	Short Message Service	Service de messages courts
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel	Canal de commande dédié autonome
TCH	Traffic Channel	Canal de trafic
TDMA	Time Division Multiple Access	accès multiple à répartition dans le temps
TCS	Traffic Control Subsystem	Sous système de gestion du trafic
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity	Identité provisoire d'abonné mobile
TRI	Transceiver Interface	Interface émetteur- récepteur
TRS	Transceiver Subsystem	Sous système émetteur – récepteur
TRX	Tranceiver	Emetteur-récepteur
TS	Time Slot	Intervalle de temps
UIT	Unit international telecommunication	Union international des télécommunications
VLR	Visitor Location Register	Registre de localisation des visiteurs

**L**e secteur des télécommunications a énormément évolué depuis les années 90. Cette évolution a concerné aussi bien les infrastructures réseau que les gammes de services offerts aux abonnés. C'est un saut technologique complet puisque nous sommes passés de systèmes analogiques aux performances limitées, à des systèmes complètement numériques et multimédias c.-à-d. intégrant les services de voix, de données, de vidéo et même parfois la mobilité.

Le secteur de la téléphonie radio-mobile notamment après l'arrivée du haut débit, est le maillon qui a drainé le plus d'investissement à tel point que nous sommes déjà à la 5<sup>ème</sup> génération de systèmes radio-mobiles offrant des gammes d'applications et de services de plus en plus attractifs et diversifiés. Les retombées économiques sont tellement considérables que la concurrence entre opérateurs est devenue très rude, chacun voulant offrir les meilleurs services avec la meilleure qualité aux moindres coûts.

La qualité de service (QoS : *Quality of Service*) dans le domaine des télécommunications est une notion générale, liant intimement les utilisateurs à leurs fournisseurs. Elle est définie par la recommandation E800 de l'UIT en ces termes : « La qualité de service est le résultat collectif des facteurs de performance associés au service et qui déterminent le degré de satisfaction de l'utilisateur de ce service ». C'est donc une notion significative pour les utilisateurs souscripteurs de services, et complexe pour les opérateurs puisqu'elle dépend de très nombreux facteurs interdépendants et associés à différents constituants de leurs réseaux. Le concept de performance du réseau est un concept par lequel des caractéristiques réseau peuvent être définies, mesurées et contrôlées en vue d'atteindre un niveau de qualité de service donné. Il relève de la responsabilité des états de veiller, via travers des obligations contractuelles, à ce que les fournisseurs de réseau combinent adéquatement différents paramètres de performance, de façon à atteindre les objectifs de satisfaction de l'utilisateur, à des coûts raisonnables pour l'utilisateur et le fournisseur.

Dans ce contexte, l'objectif de notre projet de fin d'études est de faire une étude analytique de la qualité du service voix du réseau GSM de l'opérateur national Mobilis dans la région de Béjaia. Le réseau GSM est un système complet. Ses spécifications définissent le segment radio, le segment réseau et toutes les interfaces entre les éléments du système. Cela rend

possible l'interconnexion des différents réseaux GSM pour offrir un service planétaire. Le segment radio est la partie la plus importante dans le réseau, elle est le point d'accès des mobiles aux services, l'accès au réseau en lui-même est très complexe car cela se fait par l'intermédiaire des canaux logiques.

Pour assurer cette qualité, des ingénieurs d'optimisation surveillent continuellement l'état du réseau Mobilis. Et cela, par l'intermédiaire d'indicateurs de performance couramment appelés KPIs (*Key Performance Indicators*). Ces derniers reflètent l'état du réseau en matière de disponibilité, de congestion, de qualité vocale ...etc. L'analyse des KPIs permet non seulement de détecter éventuellement des anomalies mais aussi de les localiser dans la hiérarchie du réseau et les corriger. Aussi cette analyse est très importante pour connaître les performances du réseau pour être dans les normes.

Notre mémoire a pour objectif l'analyse de mesures de divers indicateurs KPI, mises à notre disposition durant notre stage au niveau de l'antenne locale du service d'opération et de maintenance de Mobilis à Béjaia, en extraire les différents problèmes, leurs causes et enfin apporter les solutions correctives appropriées.

Notre présent rapport est organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre retrace les principales caractéristiques des réseaux GSM, leur infrastructure, leur fonctionnement et les services qu'ils supportent. Nous y présentons aussi les différents problèmes de propagation dans le contexte radio-mobile et les mécanismes mis en œuvre par la technologie GSM pour s'en affranchir.
- Le deuxième chapitre traite des canaux radio GSM, aussi bien sur la structure des informations dans des canaux physiques et sur le contrôle des communications à travers le multiplexage de différents canaux logiques.
- Dans le troisième chapitre, nous introduisons des notions de la qualité de service notamment la définition de critères d'évaluation de la QoS dans un réseau GSM à travers de multiples indicateurs KPIs.
- Dans le dernier chapitre, nous analysons les différentes mesures KPI recueillies chez Mobilis afin d'évaluer la qualité de service du service voix.

Nous terminons par une conclusion générale à notre travail, suivie des références utilisées.

## CHAPITRE I – GENERALITES SUR LE RESEAU GSM

### I.1. Introduction

De nos jours, les réseaux radio-mobiles prennent une place particulièrement importante dans les nouvelles technologies d'information et de communication. L'avènement et le succès de tels réseaux tiennent de la conjonction de différentes avancées technologiques mais surtout de la cristallisation autour de la norme GSM issue d'un effort soutenu de standardisation mené en Europe au début des années 1980.

Dans ce chapitre, nous présentons les principes de base du réseau radio-mobile de référence, le GSM. Ce réseau, complètement autonome et interconnectable aux réseaux commutés publics RTCP, utilise le format numérique pour la transmission des informations, qu'elles soient de types voix, données ou signalisation.

### I.2 Contraintes de transmission en contexte Radio-Mobile [1]

Le canal de transmission radio-mobile est l'un des medias de communication les plus variables, parce que les ondes radioélectriques, se propagent en traversant l'espace, sont sujettes aux nombreuses irrégularités de morphologie, de caractéristiques électromagnétiques, de température, d'humidité, ... du milieu traversé.

En parcourant le trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal transmis est sujet à de nombreux phénomènes dont la plupart ont un effet de dégradation sur la qualité du signal. Ces dégradations se traduisent en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système. Les dégradations du signal dues à la propagation en environnement radio-mobile peuvent être classées en différentes catégories :

- Pertes de propagations dues à la distance parcourue par l'onde radio, ou affaiblissement de parcours (*pathloss*).
- Atténuation de puissances du signal due aux effets de masques (*shadowing*) provoqués par les obstacles rencontrés par le signal sur son trajet.
- Évanouissement (*fading*) dans la puissance du signal dus aux nombreux effets induits par le phénomène de multitrajets.

- Brouillages dus aux interférences (co-canal ou sur canal adjacent) créées par d'autres émissions. Ce type de perte est très important dans les systèmes de réutilisation de fréquences comme le GSM.
- Brouillage dus au bruit ambiant provenant d'émissions d'autres systèmes.

### I.2.1 Distorsion en amplitude, Fading de Rayleigh, évanouissement

La transmission entre deux points subit de multiples réflexions sur les bâtiments d'une ville, sur les reliefs naturels et sur le sol. Ces échos, similaires aux réflexions dans un câble, génèrent des ondes stationnaires.

Le signal reçu en un point est la somme vectorielle du signal incident avec l'ensemble des signaux réfléchis. Si l'on trace la courbe de l'amplitude du signal en fonction des trois coordonnées spatiales, on trouve des ventres et des nœuds plus ou moins importants, espacés d'une demi-longueur d'onde environ. La longueur d'onde étant directement liée à la fréquence du signal, la position des nœuds et des ventres change avec la fréquence utilisée. En fonction de sa position, un mobile verra donc la puissance reçue varier. L'implémentation d'une fonction de contrôle automatique de gain (CAG) corrigera ces variations afin que le démodulateur ait toujours la même puissance en entrée. Mais cela amplifiera également le bruit. Dans ce cas, le rapport signal sur bruit (SNR) varie et le passage au niveau d'un nœud peut augmenter le taux d'erreurs, jusqu'à la perte de la communication (évanouissement).

Ces phénomènes, paraissent être un inconvénient majeur. Mais en réalité, sans réflexions, les communications téléphoniques mobiles ne pourraient avoir lieu en ville. En effet, il est rarement possible d'être en visibilité directe avec un émetteur, celui-ci pouvant être occulté. Il suffit alors de recevoir un écho, ou une somme d'échos, suffisamment réfléchis.

### I.2.2 Distorsion en fréquence, effet Doppler

Un mobile ayant une vitesse  $v$  dans le sens de propagation d'une onde sinusoïdale, reçoit un signal sinusoïdal dont la fréquence est décalée par rapport à la fréquence émise :

$$f_{re\grave{c}ue} = f_{\acute{e}mise} \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad (I.1)$$

Si la direction est quelconque, le décalage en fréquence, dépend de la composante du vecteur vitesse projetée sur l'axe mobile – émetteur (d'angle  $\alpha$ ), la relation devient :

$$f_{re\grave{c}ue} = f_{\acute{e}mise} \cdot \left(1 + \frac{v}{c} \cdot \cos\alpha\right) \quad (I.2)$$

Plus le mobile va vite, et plus le décalage est important. Ce dernier reste toujours compris entre  $-f.v/c$  et  $+f.v/c$ . Un exemple typique est celui d'une voiture sur l'autoroute, passant à côté d'un émetteur. Presque brutalement, le décalage passe d'une valeur positive à négative. Il en résulte, vu du récepteur, que la fréquence porteuse ne paraît pas stable.

Le phénomène est encore plus compliqué en réalité. La réception étant composée d'une multitude de signaux réfléchis, le décalage en fréquence dépend de la vitesse relative du mobile par rapport à chacune des directions des réflexions. Le décalage en fréquence est donc différent pour toutes les réflexions. Cela revient quasiment à la même chose que de considérer un décalage en fréquence unique d'une porteuse ayant une largeur du spectre est de  $2.f.v/c$ . Le décalage en fréquence reste relativement faible en général, mais dans le cas d'une transmission en bande étroite, il peut être gênant en faisant sortir la bande utilisée du canal alloué. Dans le cadre d'une modulation de fréquence, il faudra choisir une excursion en fréquence suffisamment importante par rapport au décalage Doppler possible.

### I.2.3 Affaiblissement de propagation

Comme pour toute liaison hertzienne, plus la distance est importante, plus la puissance est faible. La puissance reçue est proportionnelle à la puissance émise, et inversement proportionnelle au carré de la distance (*Formule de Friiz*) :

$$P_R = P_E \cdot G_E \cdot G_R \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (I.3)$$

Où  $P_R$  est la puissance reçue,  $P_E$  la puissance émise,  $G_E$  le gain à l'émission,  $G_R$  le gain à la réception,  $\lambda$  la longueur d'onde et  $d$  la distance émetteur-récepteur.

Ainsi pour avoir une bonne qualité de transmission, il est nécessaire que la puissance reçue soit suffisante. Dans ce cas, on dispose de deux solutions :

- Choisir la puissance pour que quel que soit la distance, le taux d'erreurs soit toujours inférieur à un seuil admissible. Dans ce cas, la puissance émise sera toujours forte, ce qui limite l'autonomie d'un mobile rechargeable, et risque de perturber les mobiles voisins.
- La seconde solution consiste à régler en permanence la puissance émise en fonction de la distance. Ainsi, on optimise l'autonomie, ainsi que la réutilisation de fréquence dans les zones voisines au prix d'une plus grande complexité.

### I.2.4 Retard de transmission

Le retard entre l'émission et la réception est variable en fonction de la distance entre le mobile et la station de base :

$$\tau = d/c \quad (I.4)$$

Ce retard, s'il est trop important, peut entraîner trois problèmes :

- Le premier problème se rencontre au niveau de la modulation. On montre qu'un retard variable du signal peut apporter un déphasage variable de la porteuse ( $2.\pi.f.\tau$ ), il faudra resynchroniser en permanence la porteuse.
- Le second est lié au multiplexage. L'utilisation du TDMA, peut être perturbé si tous les intervalles de temps ne sont pas décalés du même retard ;
- Enfin, le troisième problème est rencontré au niveau de la détection des bits transmis. Il est important de savoir où commence et où finit l'information.

### I.2.5 Interférences dans la transmission

- **Interférence de canaux adjacents** : Des mobiles peuvent utiliser des bandes de fréquences voisines de celle utilisée par une communication mobile. Si la puissance émise déborde sur d'autres canaux, la communication peut être brouillée.
- **Interférence co-canal** : Elle est due aux émissions d'autres équipements sur la même bande de fréquence. Lorsque les signaux émis sur une fréquence  $f_1$  sont brouillés par d'autres signaux émis sur la même fréquence, il y a interférence co-canal, ce phénomène se rencontre de façon importante dans les systèmes à réutilisation de fréquences comme les systèmes cellulaires. Si l'opérateur veut disposer de beaucoup de canaux sur chaque station de base, il réutilisera au maximum les fréquences.
- **Interférence d'intermodulation** : Si deux émetteurs sont très proches l'un de l'autre dans l'espace, les signaux émis peuvent se mélanger à l'intérieur du modulateur même si les fréquences sont très différentes. On obtient alors des signaux ayant des fréquences correspondant à la somme et la différence des fréquences des deux émetteurs.

Nous verrons dans la suite que la technologie GSM implémente des solutions pour remédier aux divers problèmes de propagation radio énumérés dans cette section.

## I.3 La technologie GSM

### I.3.1 L'architecture cellulaire [2]

La zone à couvrir par un réseau GSM est découpée en de petites zones, appelées cellules, pour pouvoir répartir les ressources radio entre elles. Une cellule est une portion plus ou moins grande du territoire, couverte par une station BTS (antennes-relais). On affecte à chaque cellule, c.-à-d. à sa BTS, un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite, sommairement nommés *porteuses*, en fonction du trafic estimé dans la cellule. La figure I.1 illustre la taille des cellules en fonction des environnements à couvrir.

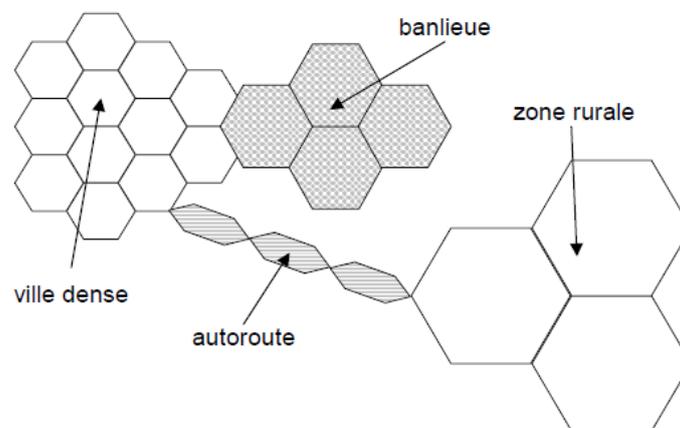


Figure I-1 : Taille des cellules en fonction du type d'environnement à couvrir.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau.

On distingue pour cela quatre services principaux :

- a) Le service *Outdoor* qui indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication en extérieur ;
- b) Le service *Incar* qui tient compte des utilisateurs se trouvant dans une voiture. On ajoute typiquement une marge supplémentaire de 6 décibel Watt, notée 6 [dB], dans le bilan de puissance pour en tenir compte ;
- c) Le service *Indoor* qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise à son tour en deux :
  - le *Soft Indoor* lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment ;
  - le *Deep Indoor* lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

### I.3.1.1 Réutilisation des ressources

Il est possible de réutiliser une même porteuse dans des cellules différentes si celles-ci sont suffisamment éloignées. Ainsi, on définit des *motifs*, aussi appelés *clusters*, constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. Un motif est donc le plus petit groupe de cellules contenant l'ensemble des canaux radios. Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir. Si on néglige les évanouissements sélectifs (fading de Rayleigh) et l'effet de masque, un canal radio présente une atténuation du signal dépendant de la distance séparant l'émetteur du récepteur. Avec ce modèle de propagation, une cellule est un cercle. On cherche à couvrir le territoire par un ensemble de cellules. Une cellule est donc approximée par un hexagone qui est le polygone le plus proche du cercle qui permet de paver le plan.

La réutilisation de fréquences permet donc à un opérateur de couvrir une zone géographique d'étendue illimitée en ayant recours à une bande de fréquences limitée. Ainsi, grâce à ce concept, l'architecture cellulaire permet d'atteindre potentiellement une très grande capacité en nombre d'utilisateurs par unité de surface. Cependant, la réutilisation de la même fréquence radio à l'intérieur d'une zone géographique limitée (comme une ville) pose un ensemble de problèmes complexes. Un mobile va recevoir non seulement un signal *utile* provenant de la BTS à laquelle il est rattaché mais aussi des signaux interférents provenant des BTS utilisant la même fréquence dans des zones voisines.

### I.3.1.2 Distance de réutilisation

La distance minimale entre deux émetteurs utilisant la même fréquence est la distance de réutilisation  $D$ . Il faut déterminer le motif minimal pour un système donné, c'est-à-dire le motif qui donne pour l'ensemble des points de la cellule, et dans tous les cas de fonctionnement du système, une qualité de réception suffisante. Si on désigne par  $C$  la puissance du signal utile, par  $N$  la puissance du bruit et par  $I$  la puissance totale des interférents. Le rapport  $C/(I+N)$  est déterminant pour le calcul de la taille du motif : plus ce seuil est petit, c'est-à-dire si le système GSM continue à fonctionner à  $C/(I+N)$  faible, plus la taille du motif pourra être réduite. La formule de la distance de réutilisation est :

$$D=R (3N)^{1/2} \quad (I.5)$$

Où  $D$  : la distance de réutilisation.

$N$  : le nombre de cellules du motif.

$R$  : le rayon de la cellule.

### I.3.2 Infrastructure GSM

Un réseau radioélectrique GSM a pour rôle de permettre des communications entre abonnés des réseaux de téléphonie (mobile-mobile, mobile-fixe, fixe-mobile). Il est caractérisé par un accès très spécifique qu'est la liaison radio et offre à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance. Le réseau GSM est composé de trois sous-systèmes principaux. La figure I.1 donne une vue globale d'un réseau GSM. [4]

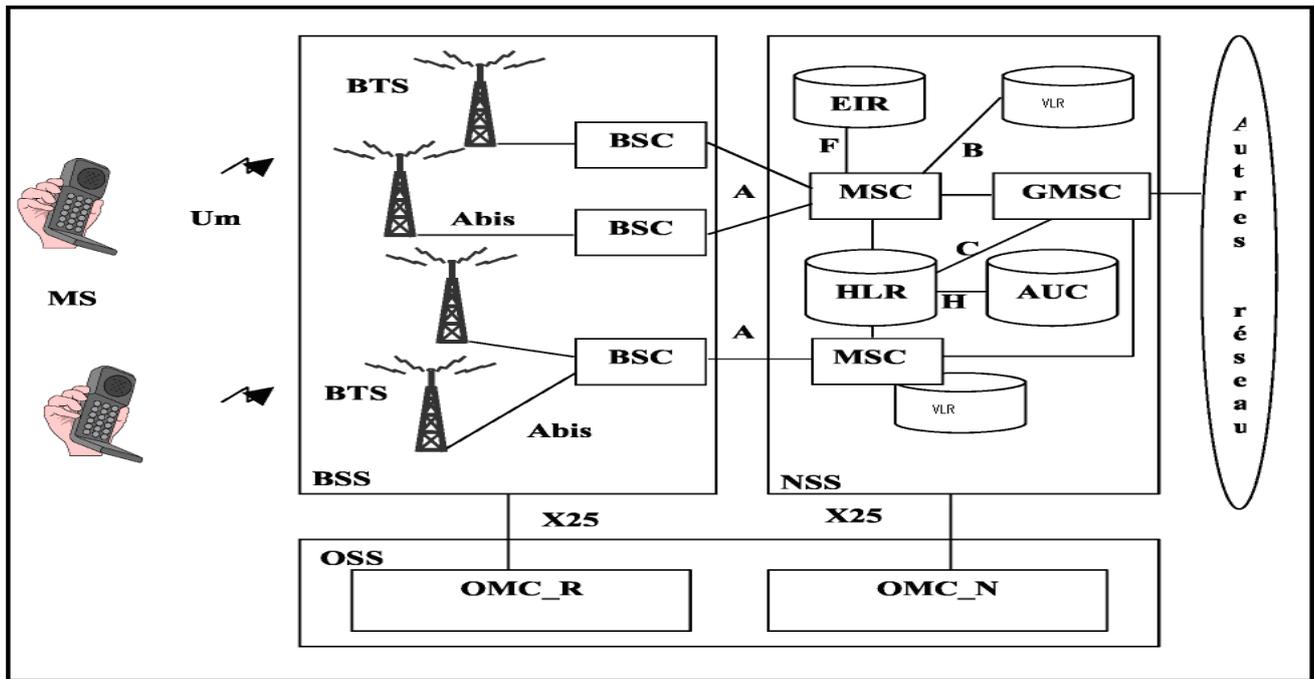


Figure I.2 Architecture globale du réseau GSM

#### I.3.2.1 Le sous-système radio BSS

Il correspond à la fonction de distribution du réseau de radiocommunication. Il est constitué des stations de base **BTS** (*Base Transceiver Station*) qui assurent le lien radioélectrique avec les abonnés mobiles MS. la BTS (Base Transceiver Station) et la BSC (Base Station Controller). Les BTS sont gérées par un contrôleur de stations de base **BSC** (*Base Station Controller*) qui assure également la fonction de concentration du trafic. En outre, le BSC est connecté à un transcodeur **TCU** ou **TRAU** (*Transcoder and Rate Adaptor Unit*) qui permet le transcodage des communications entre le BSS et le NSS.

**• L'équipement usager (UE : User Equipment) [5]**

L'utilisateur est équipé d'un UE, c'est l'élément qui lui permettra d'accéder au réseau, en utilisant le canal de propagation comme interface. L'équipement usager est partagé en deux parties :

**✓ Le terminal mobile**

Le terminal mobile prend en charge la transmission radio de l'information et les procédures associées, ou en d'autres termes c'est l'équipement électronique émetteur/récepteur.

**✓ La carte SIM**

Le mobile intègre une carte SIM, carte à puce comportant l'identification de l'abonné IMSI et pouvant être insérée dans n'importe quel mobile. L'IMSI comprend le code de pays, le code de l'opérateur, le numéro à dix chiffres du mobile. La carte SIM contrôle l'accès de l'utilisateur par un code PIN.

**• La station de base BTS [3]**

La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés TRX. Elle a pour fonction la gestion :

- Des transmissions radios (modulation, démodulation, égalisation, codage et correcteur d'erreurs).
- De la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure réseau de l'opérateur.
- De la liaison de données avec le BSC.
- Faire les mesures de qualité des signaux reçus.

La capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses (limite technique rarement atteinte pour des raisons de fiabilité). Ainsi une BTS peut gérer au maximum une centaine de communications simultanées.

**• Le contrôleur de station de base BSC**

Le BSC est l'organe intelligent du BSS, il gère une ou plusieurs stations et remplit différentes fonctions de communication et d'exploitation. Le BSC joue un rôle de concentrateur Pour le trafic abonné provenant des BTS. le BSC achemine les alarmes et les

statistiques issues des BTS vers le centre d'exploitation et de maintenance, il joue le rôle d'aiguilleur vers la station de base destinataire. Le BSC pilote les transferts inter-cellules ; il avise d'une part la nouvelle BTS qui va prendre en charge l'abonné et d'autre part le HLR de la nouvelle localisation de l'abonné.

• **Le transcodeur : TCU**

Les abonnés transmettent des informations à des débits de 13 kbits/s (parole plein débit) qui sont ensuite adaptées et transportées à partir de la BTS à 16 kbits/s. Or le réseau fixe, qui est le plus souvent numérique, gère des circuits de parole à 64 kbits/s. Il est donc nécessaire de réaliser dans le réseau un transcodage 16 kbits/s  $\leftrightarrow$  64 kbits/s. La norme n'impose pas d'implanter les transcodeurs en un endroit particulier du réseau mais les place forcément dans le BSS. Or, il est logique de transcoder les informations le plus tard possible, c'est-à-dire le plus près possible du MSC pour économiser les circuits de parole.

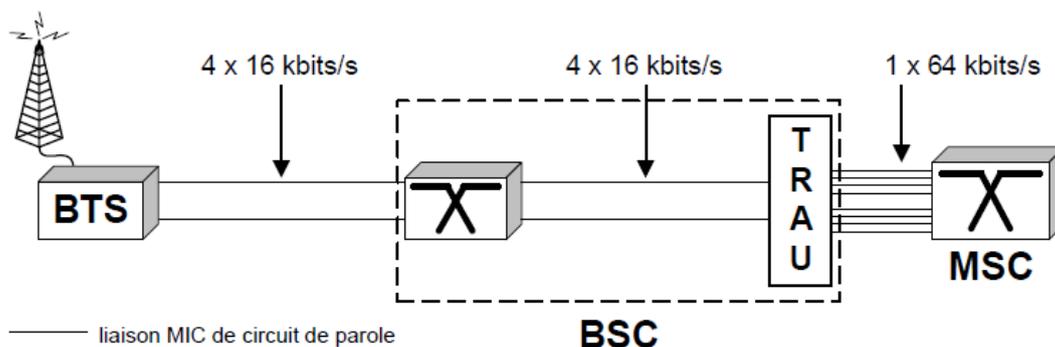


Figure I.3 : Transcodage de la parole.

Le TCU ou TRAU (*Transcoder and Rate Adaptor Unit*) a donc été placé entre le BSC et le MSC dans le but de réduire le nombre des liaisons MIC nécessaires à la transmission des informations entre la BTS et le BSC. Il est généralement placé physiquement à côté du MSC mais fait fonctionnellement partie du BSC qui le commande donc à distance.

Les informations sont "physiquement" transmises sur des circuits MIC à 64 kbits/s (hormis sur l'interface radio entre le mobile et la BTS). Sur chaque circuit MIC, il est donc possible de transporter les informations de 4 circuits de parole à 16 kbits/s.

L'adaptation de débit nécessaire étant justement de 16 à 64 kbits/s (et inversement dans le sens descendant), le TCU comporte donc 1 liaison MIC vers le BSC pour 4 liaisons vers le MSC.

### I.3.2.2 Le sous-système d'acheminement NSS

Le rôle principale du sous-système réseau NSS est de gérer les communications au sein d'un réseau cellulaire GSM et avec le réseau téléphonique commuté et a pour rôle la gestion des bases de données administratives des abonnés.

#### • Centre de commutation mobile MSC

Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et le réseau commuté public, il gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover soit le handover inter BTS ou intra BTS (changement de canal). Le commutateur est un nœud important du réseau, il donne un accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification. La connexion VLR-MSC contribue à la gestion de la mobilité des abonnés. Le MSC peut également posséder une fonction de passerelle, GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un abonné mobile.[4]

#### • L'enregistreur de localisation nominal HLR

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité, de fiabilité et d'exploitation des machines. Le HLR contient toutes les informations relatives aux abonnés et a pour fonction de donner :

- L'identité internationale de l'abonné utilisé par le réseau.
- Le numéro d'annuaire de l'abonné.
- Le profil d'abonnement (services supplémentaires, autorisation d'appel international)

La position courante de MS

#### • L'enregistreur de localisation des visiteurs VLR

VLR est une base de données associée à un commutateur MSC. Le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau, ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée. A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visite et le HLR de l'abonné afin d'être en mesure d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou d'établir une communication demandée par un abonné

visiteur. Pour ce faire un dialogue permanent est établi entre les bases de données du réseau. La mise à jour du HLR est très importante puisque lorsque le réseau cherche à joindre un abonné, il interroge toujours le HLR de l'abonné pour connaître la dernière localisation de ce dernier, le VLR concerné est ensuite consultés afin de tracer le chemin entre le demandeur et le demandé pour acheminer l'appel.

### **I.3.2.3 Le centre d'exploitation et de maintenance OMC**

Le centre d'exploitation et de maintenance est l'entité de gestion et d'exploitation de réseau. L'entité regroupe une partie gestion administrative et commerciale des abonnés, la gestion administrative s'intéresse aux abonnements en termes de création, modification, suppression et facturation. Une bonne partie de la gestion administrative interagit avec la base de données HLR et la gestion commerciale demande aux commutateurs du réseau des statistiques sur les habitudes et les attentes des abonnés, cela permet à la direction commerciale de module la tarification pour étaler le trafic dans la journée. L'autre partie est la gestion technique des équipements qui veille à garantir la disponibilité et la bonne configuration matérielle des équipements du réseau. [3]

#### **• Le centre d'authentification**

Le centre d'authentification AUC (*Authentification Center*) mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer (crypter) les communications. L'AUC de chaque abonné est associée au HLR. Pour autant le HLR fait partie du « sous-système fixe » alors que l'AUC est attaché au « sous-système d'exploitation et de maintenance ». L'AUC avec l'IMSI et le MSISDN fait partie des données clés insérées dans la carte SIM de chaque abonné.

#### **• Registre d'identité d'Équipement EIR**

L'EIR est une base de données contenant les informations relatives à l'équipement terminal mobile. Elle permet de refuser les appels à partir de terminaux volés. [5]

### **I.3.3 La structure topologique du réseau GSM**

Chaque réseau téléphonique nécessite une certaine structure pour pouvoir acheminer les appels entrants au central adéquat puis à l'abonné appelé. Cette structure est particulièrement importante dans le cas d'un réseau mobile en raison de la mobilité de tous les abonnés.

- **La zone de localisation LA (Location Area) :** Une zone de localisation est un certain

nombre de cellules et plusieurs zones de localisation forment la zone de service MSC/VLR.

Une zone de localisation (LA) est une partie de la zone de service MSC/VLR dans laquelle une station mobile peut se déplacer librement sans devoir remettre à jour ses informations de localisation dans le centre MSC/VLR qui commande la zone de localisation. C'est aussi la zone où un message de recherche est diffusé pour rechercher un abonné mobile appelé. Elle peut comporter plusieurs cellules et dépendre d'un ou plusieurs BSC. Une cellule est identifiée par le réseau au moyen de l'identification globale de cellule (CGI : *Cell Global Identity*). La station mobile distingue entre des cellules utilisant les mêmes fréquences porteuses en utilisant le code d'identification de station de base BSIC (*Base station Identity Code*).

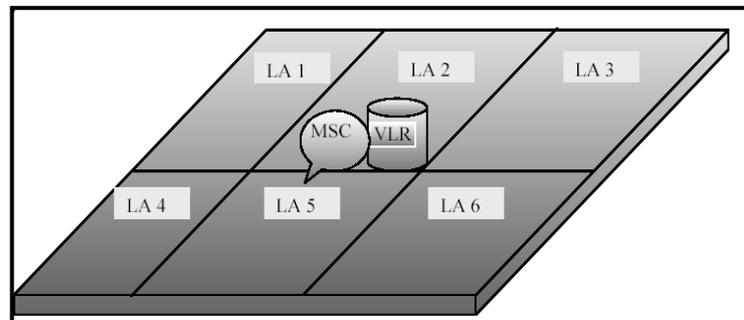


Figure I.4 : Subdivision en zones de localisation d'une zone de service MSC/VLR.

- **La zone de service MSC/VLR :** Une zone MSC représente la partie du réseau couverte par un MSC. Pour acheminer un appel vers un abonné mobile, il est transmis au travers du réseau au MSC dans la zone dans laquelle se trouve l'abonné.

Une zone de service est la partie du réseau définie comme une zone où une station mobile peut être jointe. Dans le réseau GSM, la zone MSC et la zone de service couvrent exactement la même partie du réseau, le MSC et le VLR étant toujours implantés dans le même nœud.

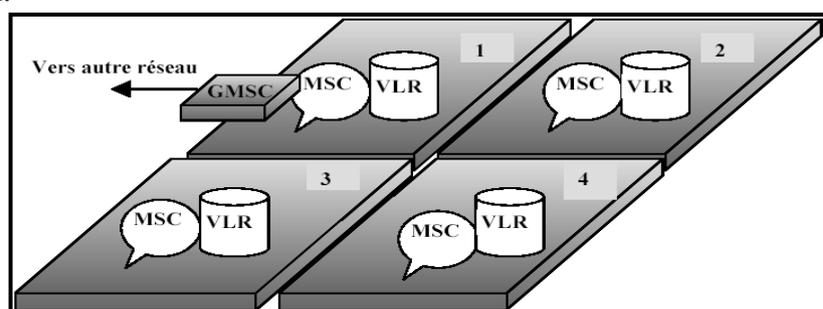


Figure I.5 : Zones de service MSC/VLR.

- **La zone de service du GSM :** La zone de service du GSM est le secteur géographique entier dans lequel un abonné peut accéder à un réseau GSM. Finalement, une zone de service PLMN (Public Land Mobile Network) est la région desservie par un opérateur de réseau.

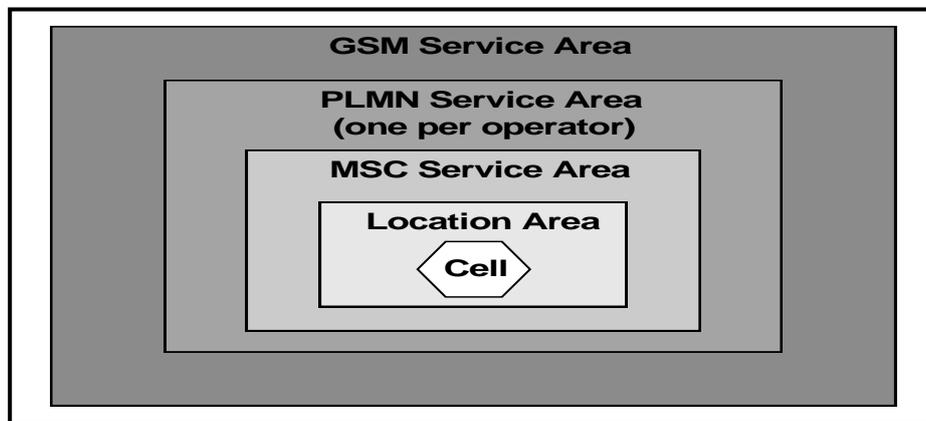


Figure I.6 : Zone de service de GSM

### I.3.4 Présentation des interfaces

Les interfaces sont utilisées entre les entités du réseau pour la transmission du trafic (paroles ou données) et pour les informations de signalisation. La figure I.2 illustre les interfaces généralement existantes dans un réseau GSM.

Les interfaces désignées par des lettres de A à H dans le tableau ci-après ont été définies par la norme GSM. Bien souvent, le découpage des fonctions entre les éléments du réseau (VLR et MSC) par exemple est effectué par les constructeurs (Ericsson, Nokia ...) qui ne respectent pas forcément celles définies dans le tableau.

Deux normes sont néanmoins imposées :

- **L'interface D** qui permet au couple MSC/VLR de dialoguer avec le HLR afin d'assurer l'itinérance internationale que l'on dénomme « **roaming** ».
- **L'interface A** relie le BSC et MSC, elle a également comme fonction le transport de trafic et des données de signalisation.
- **L'interface Abis** supporte les transmissions de communication entre BSC et BTS.

En réalité, la plupart des messages de signalisation sont changés entre le BSC ou le MSC et le MS : le BTS n'a qu'une simple fonction de relais. [3]

Le tableau suivant dénombre les interfaces du réseau GSM, leur localisation et leur fonction :

Nom de l'interface	Localisation	Fonction
Um	MS-BTS	Transport du trafic et de signalisation
Abis	BTS-BSC	Transport du trafic et de signalisation
A	BSC-MSC	Transport du trafic et de signalisation
C	GMSC-HLR	Interrogation HLR pour appel entrant
D	VLR-HLR	Gestion des informations d'abonnés et localisation
E	MSC-GMSC	Transport des messages courts
	MSC-MSC	Exécution des handover
G	VLR-VLR	Gestion des informations d'abonnés
F	MSC-EIR	Vérification de l'identité du terminal
B	MSC-VLR	Transport de signalisation et de données relatives à l'application mobile
H	HLR-AUC	Echange de données d'authentification

Tableau I.1 les interfaces GSM

### I.3.5 Méthodes d'accès au réseau GSM

La bande radio présente une ressource rare qu'il faut utiliser avec parcimonie. Pour cela le spectre alloué, est partagé selon un plan temps/fréquence afin d'obtenir des canaux physiques capables de supporter une communication téléphonique.

#### I.3.5.1 Le partage en fréquence FDMA (Frequency Division Multiple Access) [8]

Chacune des bandes dédiées au système GSM est divisée en 124 canaux fréquentiels d'une largeur de 200 kHz. Sur une bande de fréquence sont émis des signaux modulés autour d'une fréquence porteuse qui siège au centre de la bande. Les fréquences sont allouées d'une manière fixe aux différentes BTS et sont désignées souvent par le terme de "porteuses". Chaque porteuse GSM est identifiée par un numéro unique  $n$  ou code ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel*) sur 10 bits :

$$\text{GSM 900 : } 1 < n < 124 \quad \Rightarrow \quad f(n) = 935 + (0,2 * n) \text{ en MHz}$$

$$\text{DCS 1800 : } 512 < n < 885 \quad \Rightarrow \quad f(n) = 1805,2 + (0,2 *(n - 512)) \text{ en MHz.}$$

La fréquence de la voie montante est calculée en utilisant un écart duplex constant (45 MHz pour le GSM900 et 95MHz pour le DCS1800).

### 1.3.5.2 Le partage en temps TDMA (Time Division Multiple Access)

Le partage en temps se fait par la méthode d'accès TDMA (Time Division Multiple Access), il permet à différents utilisateurs de partager une même porteuse. Chaque porteuse est divisée en intervalle de temps, le plus petit élément de ces structures est le slot, d'une durée de 0,577 ms (156,25 périodes de bit). Il permet de véhiculer avec une périodicité bien définie des éléments d'informations appelés "burst". Un burst a une durée de 0,546 ms, un peu plus petite que le slot à cause d'un temps de garde entre slots (= 8,25 bits).

Les slots ou "Time slot" sont groupés par huit afin de définir l'élément essentiel du système GSM : la trame TDMA, sa durée est de  $8 \times 0,577 = 4,6152$  ms. Chaque utilisateur utilise un slot par trame TDMA, ces slots sont numérotés avec un indice TN (*Time slot Number*) allant de 0 à 7.

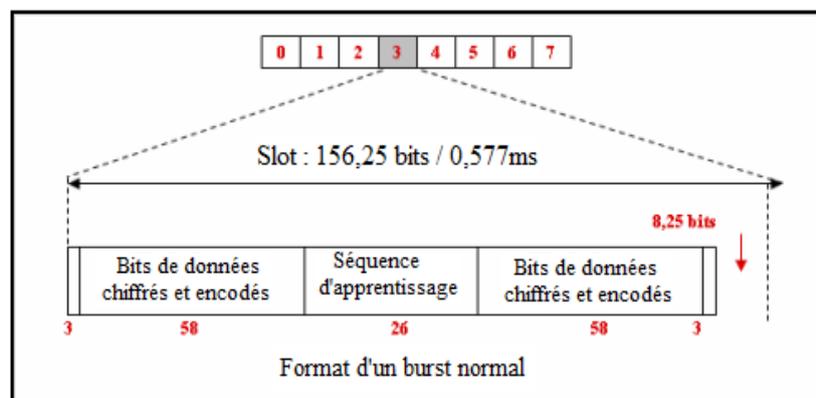


Figure I.7 : Structure de la trame TDMA

Comme il est exclu de transmettre toutes les informations en une fois, il faut découper l'information et la transmettre au moyen de plusieurs trames consécutives. La norme GSM prévoit une organisation spécifique de structure hiérarchique de trames. Cette hiérarchie est dessinée à la figure I.11. Les trames sont regroupées comme suit :

- ✓ 1 *multitrane* de type 26 = 26 trames TDMA élémentaires, d'une durée de 120 ms et 1 *multitrane* de type 51 = 51 trames TDMA élémentaires, d'une durée de 235,8 ms.
- ✓ 1 *supertrane* de type 26 = 26 multitrames de type 51 d'une durée de 6,12 s et 1 *supertrane* de type 51 = 51 multitrames de type 26 d'une durée de 6,12 s.
- ✓ 1 *hypertrane* = 2048 supertrames = 2.715.648 trames d'une durée de 3h 28mn 53s 760 ms.

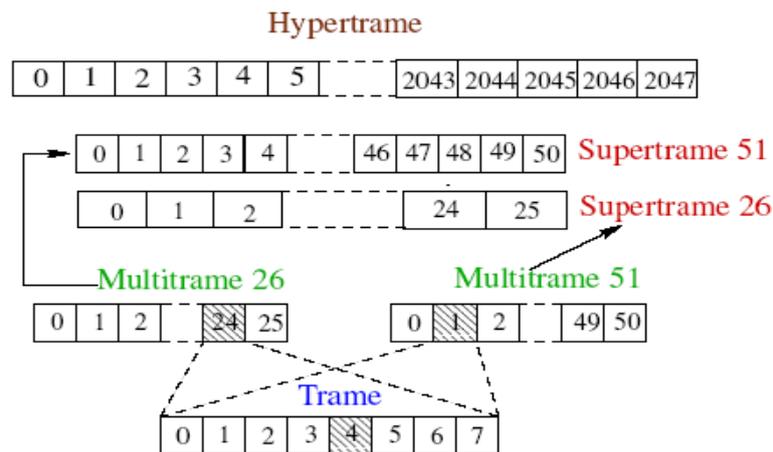


Figure I.8 – Organisation des trames TDMA.

L'hypertrame sert de base à la création d'un code de temps : "Time code", chaque trame TDMA composant l'hypertrame se voit attribuer un numéro : "Frame Number". Ce compteur va permettre au mobile de se synchroniser finement avec la cellule en se verrouillant dessus, le "Time code" démarre au même instant pour toutes les fréquences d'une même BTS.

### I.3.6 La modulation utilisée dans le GSM

La modulation des signaux utilisée dans les réseaux GSM est la modulation GMSK (Gaussian Minimum Phase-shift Keying), Il s'agit d'une modulation MSK à laquelle on a ajouté un filtre passe-bas Gaussien dans le but de diminuer l'occupation spectrale du signal modulé.

La GMSK est choisie comme une méthode de modulation travaillant avec deux fréquences entre lesquelles elle transite facilement. L'avantage important de cette méthode est qu'elle ne module pas l'amplitude, et que la largeur de bande de transmission de fréquence est de 200 kHz, qui est une largeur de bande utilisée par les standards. [7]

### I.3.7 Synthèse des principales caractéristiques du GSM [3]

Dans la norme GSM la téléphonie mobile occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 MHz, Comme chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication a une largeur de bande de 200 kHz, cela laisse la place pour 124 canaux fréquentiels à répartir entre les différents opérateurs. Mais vue l'augmentation du nombre d'utilisateurs, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 MHz. On a donc porté la technologie GSM 900 MHz vers une bande ouverte à plus haute fréquence. C'est le système DSC-1800 (Digital Communication System) dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de service. Tous les terminaux mobiles fabriqués actuellement sont compatibles avec les deux normes.

Le tableau suivant illustre les principales caractéristiques des deux normes.

	GSM 900MHz	DSC-1800MHz
Bande de fréquences (voie montante)	890-915MHz	1710-1785MHz
Bande de fréquences (voie descendante)	935-960MHz	1805-1880MHz
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA	8	8
Écart duplex	45MHz	95MHz
Rapidité de modulation	271kb/s	271kb/s
Débit de la parole	13kb/s	13kb/s
Débit maximal de données	12kb/s	12kb/s
Accès multiple	Multiplexage fréquentiel et temporel	Multiplexage fréquentiel et temporel
Puissance des terminaux	2 à 8 W	0.5 à 1 w
Rayon de cellules	0.3 à 30Km	0.1 à 4Km
Nombre de canaux	124	374
Type de modulation	GMSK	GMSK

Tableau I.2 Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800.

### I.3.8 les fonctions du GSM

Le réseau GSM assure les fonctions suivantes :

- Transmission : transport des informations usager et de la signalisation.
- gestion des ressources radio : allocation de canaux, handover, saut de fréquence, contrôle de puissance.
- gestion de la mobilité : localisation et sécurité
- gestion des communications : qui inclut les fonctions de call control et SMS management. [4]

#### I.3.8.1 Assurer une qualité de service

- **Gérer la mobilité** : Un mobile, en mouvement, doit pouvoir conserver une communication tant qu'il reste dans une zone couverte par un opérateur. Ce suivi de communication d'une cellule à une autre est appelé Handover.

**• Assurer la sécurité de la communication**

- *Confidentialité* : rendre impossible l'écoute abusive d'un mobile, sauf accord de l'opérateur avec l'état.
- *Sécurité de taxation* : Connaître avec certitude l'identité d'un mobile et interdire l'utilisation d'un service sur le compte d'un autre abonne.

**• Satisfaire un nombre d'abonnés suffisamment important par rapport à la zone couverte :** Il faut pouvoir assurer les communications pour les populations locales et itinérantes en minimisant le taux d'appels rejetés pour raison d'encombrement et le taux de communications coupées en cours de handover.

**• Offrir de nouveaux services supplémentaires :** Les différents opérateurs ne cessent d'augmenter le nombre de services accessibles depuis un mobile en fonction du type d'abonnement. On peut citer les plus fréquents : annuaire, renvoi, restriction, répondeur enregistreur, messagerie de type pager, mail, diffusion d'information, connexion internet, ...

**I.3.8.2 Fonctions avancés du GSM ou Mécanismes de protection contre les interférences**

Dans cette section, nous décrivons les différents mécanismes mis en œuvre par les réseaux GSM pour parer aux diverses contraintes de transmission décrites dans la section I.2.

**• Le handover**

Le handover permet à un mobile de changer de cellule tout en restant en communication. Alors que cette procédure est évidemment mise en œuvre lorsque la qualité de la liaison entre le mobile et une BTS devient mauvaise du fait du déplacement du mobile, il peut exister des handovers permettant d'uniformiser le trafic entre les cellules adjacentes. Des communications d'une cellule chargées sont alors transférées vers des cellules moins chargées.

Il peut arriver qu'une transmission se dégrade au cœur même d'une cellule à cause d'un niveau d'interférence important. Le handover permet en ce cas de changer de canal pour uniformiser le niveau d'interférence.

On parle de handover interlocuteur lorsque le handover implique deux cellules différentes et de handover intracellulaire lorsqu'il s'effectue au sein d'une même cellule.

La norme GSM n'impose pas d'algorithmique pour le handover. Chaque opérateur est donc libre de mettre en œuvre la sienne. Pour cela, il se fonde sur une liste de critères tels que le taux de charge des cellules ou des mesures de performances. Ces dernières sont soit effectuées

par le mobile et retransmise au réseau, soit directement effectuées par la station de base en utilisant des messages parfaitement spécifiés par le standard.

En GSM, la décision d'effectuer un handover est prise par le réseau. Lorsque ce dernier juge qu'il est nécessaire d'en effectuer un, il réserve au mobile un nouveau canal de transmission. Pour cela la station de base ancienne transmet à la nouvelle les paramètres de transmission du BTS, voire MSC-BSC, sont réservées. En effet, un handover intercellulaire implique deux cellules différentes, qui dépendent de même BSC. Dans ce cas, le chemin situé au-delà du BSC n'est pas concerné par le handover. En revanche, le handover peut impliquer deux BSC, voire deux BSC différents. Il faut alors préparer le nouveau chemin que prendra la communication. La passerelle entre le NSS et le réseau public téléphonique reste toujours la même MSC. Ainsi, après un handover inter-MSC, la communication transite à travers les deux MSC.

Lorsque le nouveau chemin est ouvert, le handover est véritablement réalisé. Le réseau transmet au mobile un message de commande de handover contenant les références du nouveau canal de transmission. Le mobile change alors de canal, et l'ancienne connexion radio est libérée ainsi que l'ancien chemin dans le BSS, voire le NSS, dans le cas d'un handover impliquant deux MSC.

Lorsqu'une de ces deux étapes échoue, par exemple s'il n'existe pas de ressource disponible dans la nouvelle cellule, le handover n'a pas lieu, et l'utilisateur peut subir une coupure de communication (call dropped). Pour minimiser la probabilité de perte brutale de communication, l'opérateur peut réserver quelques canaux de trafic dans une cellule pour les utilisateurs en handover. Il limite alors sa capacité à accepter de nouveaux appels dans cette cellule mais assure la pérennité de ceux en cours. [4]

#### • Le saut de fréquences (Frequency Hopping)

La fréquence de transmission, entre un mobile et sa BTS, est modifiée à chaque « burst ». La figure I.12 correspond au cas où la BTS utilise 3 porteuses de fréquence  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_3$ . Chaque porteuse comporte 8 « time slots » numérotés de 0 à 7. Le 1<sup>ier</sup> « burst » est transmis à la fréquence  $f_1$ , le 2<sup>ème</sup> (c'est-à-dire 8 « time slots » plus tard) à la fréquence  $f_2$ , le 3<sup>ème</sup> à la fréquence  $f_3$ . Pour les 4<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> « bursts », on recommence le cycle  $f_1$ ,  $f_2$  et  $f_3$ , et ainsi de suite.

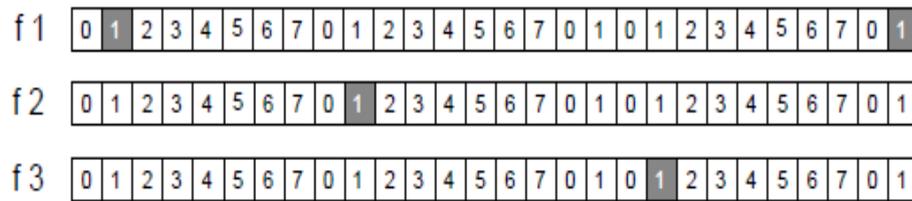


Figure I.9 : Principe du saut de fréquences.

Ce procédé est appelé saut de fréquences ou « frequency hopping » en anglais ; il a comme avantage d'offrir une transmission d'une qualité moyenne nettement plus constante que si la fréquence de la porteuse était fixe. Ce mécanisme est implémenté pour résoudre les problèmes des évanouissements sélectifs et des trajets multiples.

Au fait, la norme GSM définit un parcours de fréquence cyclique ou pseudo-aléatoire, comprenant au plus 64 fréquences porteuses. Un algorithme standardisé génère une suite pseudo-aléatoire de nombres compris dans une liste de N fréquences disponibles pour les sauts. La configuration des sauts se fait au moyen de paramètres tels que :

- le *Cell Allocation* (CA), la liste des numéros des fréquences utilisées dans une cellule ;
- le *Mobile Allocation* (MA), la liste des numéros des fréquences disponibles pour les sauts ;
- le *Hopping Sequence Number* (HSN), une valeur comprise entre 0 et 63, servant à initialiser le générateur pseudo-aléatoire ;
- le *Mobile Allocation Index Offset* (MAIO), une valeur comprise entre 0 et 63 qui indique quel décalage doit être utilisé. Cette valeur de décalage est convenue à l'initialisation de l'appel et elle diffère d'un mobile à l'autre.

Notons que le saut de fréquence est impossible des bandes GSM900 vers les bandes DCS1800.

#### • Avance temporelle ou Timing Advance (TA)

Pour permettre le basculement d'un mobile du mode réception en mode émission, la norme GSM prévoit un décalage de 3 slots. Plus précisément, le mobile émet des informations 3 slots après réception des signaux envoyés par la station de base.

Par ailleurs, les informations envoyées par différents mobiles autour d'une même fréquence porteuse entrent en collision au niveau de la station de base si la distance entre les mobiles et l'antenne est fort différente d'un mobile à l'autre. Pour éviter des collisions, certains mobiles (les plus distants) doivent avancer le moment de leurs envois pour que les time-slots respectifs

se calent parfaitement dans la trame TDMA. La durée de l'avance temporelle de l'envoi est appelée *Timing Advance* (TA). Elle est fournie dynamiquement par la station de base. Ce mécanisme résout le problème de retard de transmission décrit auparavant.

#### • Le codage

Pour protéger les informations des erreurs qui peuvent se produire lors des communications radio, diverses techniques de codage sont appliquées par le GSM.

#### • Contrôle Automatique de Puissance

Un contrôle automatique de la puissance est mise en œuvre dans la norme GSM ; ce contrôle agit au niveau des BTS et des téléphones mobiles à des niveaux suffisants pour réduire le champ rayonné tout en assurant une transmission de qualité. Ce mécanisme répond aux problèmes de distorsion d'amplitude et d'affaiblissement de propagation mentionnés auparavant.

#### • Transmission discontinue

Le mécanisme de « discontinuous transmission » signifie que durant une communication avec un téléphone GSM, la transmission est interrompue lorsque son utilisateur ne parle pas. Cela contribue à réduire la consommation électrique du téléphone afin d'accroître l'autonomie de sa batterie. Toutefois, à l'autre extrémité de la liaison (par exemple un téléphone fixe), l'absence de réception (bruit) donne l'impression que la communication est interrompue ; un bruit « artificiel » (appelé « confort noise ») est donc rajouté à la réception dans le but de remédier à ce problème.

#### • Diversité d'antennes et diversité de polarisations

Pour améliorer la réception par la BTS, une technique couramment utilisée consiste à capter les émissions des téléphones mobiles au moyen de 2 antennes par cellule, au lieu d'une seule. La BTS sélectionne le signal qui présente le niveau le plus élevé. Pour être efficace, il faut que la distance entre les deux antennes soit au moins de quelques longueurs d'onde. Cette technique porte le nom de « Diversité d'antennes » (ou « Space diversity » en anglais).

Une autre technique, appelée « Diversité de polarisations », consiste à utiliser une antenne de réception qui est sensible à deux directions de polarisation orthogonales entre elles. Une telle antenne est constituée de 2 réseaux de dipôles : le premier réseau capte la composante du champ électrique orientée à  $-45^\circ$  par rapport à la verticale et le second capte la composante à  $+45^\circ$ . La diversité de polarisation n'augmente pas non plus le champ émis par l'antenne. Les

diversités d'antennes et de polarisations peuvent également être combinées pour améliorer la qualité de la réception.

- **Égalisation adaptative**

Pour lutter contre le problème des interférences inter symboles causées par les trajets multiples, la norme GSM a prévu une correction réalisée par un dispositif appelé « égaliseur adaptatif » ; son principe consiste à transmettre, au milieu de chaque « time slot », une séquence d'apprentissage fixe de 26 bit appelée « midamble » et qui est connue du téléphone mobile et de la BTS, ce qui permet de déterminer la détérioration subie lors de transmission radio. A partir de ce résultat, l'égaliseur « reconstitue », au moyen d'un algorithme, l'information telle que transmise. Il est à noter que le téléphone mobile étant susceptible de se déplacer, parfois même à une vitesse relativement élevée (train, voiture,...). L'algorithme de l'égaliseur doit donc être adapté en continu, c'est-à-dire lors de chaque « time slot ». C'est pour cette raison que le « midamble » est inséré au milieu du « time slot » ; il permet de corriger les 2 x 58 bit de données transmis avant et après.

## **I.4 CONCLUSION**

Dans ce premier chapitre, nous avons abordé dans un premier temps les différents problèmes posés par la propagation d'ondes EM dans un contexte radio-mobile.

Nous avons ensuite donné un aperçu global de la norme GSM, notamment l'infrastructure réseau GSM, ses caractéristiques techniques ainsi que les fonctions assurées par de tels réseaux. Nous avons exposé aussi les différents mécanismes mis en œuvre par cette technologie pour assurer une qualité de service pour les utilisateurs.

## CHAPITRE II – LES CANAUX RADIO GSM

### II.1. INTRODUCTION

L'interface radio représente la partie délicate de la chaîne de transmission où le système doit faire face aux différents problèmes de la propagation (atténuation, évanouissements, interférences...) au niveau du lien mobile-réseau, mais aussi au niveau de la gestion du réseau, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, d'avoir des fonctions de contrôle pour que le mobile se rattache à la station de base la plus favorable, pour établir et surveiller le déroulement d'une communication ou encore assurer le handover.

Pour faciliter la gestion du mobile et de la communication, la norme GSM définit différents canaux logiques qui sont multiplexés temporellement dans diverses structures de trames. C'est justement l'objet de ce présent chapitre.

### II .2 Canaux Physiques

Un système radio-mobile a besoin d'une partie du spectre radio pour fonctionner. Avant de le spécifier en détail, les concepteurs du système doivent demander une bande de fréquence auprès de l'instance officielle chargée de la gestion du spectre. Les bandes dédiées par l'UIT, d'où une reconnaissance au niveau mondial, au système GSM sont spécifiées dans le tableau suivant :

	GSM 900	DCS 1800
Bandes de fréquences	890 – 915 lien montant 935 – 960 lien descendant	1710 – 1785 montant 1805 – 1880 descendant
Largeur de bande	2×25 MHz	2×75 MHz
Ecart duplex	45 MHz	95 MHz

*Tableau II.1 : Caractéristiques fréquentielles*

Dans le système GSM, tous les canaux de trafic alloués aux abonnés sont duplex (il faut pouvoir parler sur la voie montante et écouter sur la voie descendante). Un canal est donc dit duplex s'il comporte une voie montante et une voie descendante.

L'écart duplex GSM est le décalage en fréquence entre la voie montante (du mobile vers la BTS) et la voie descendante (de la BTS vers le mobile). Cette séparation entre les voies montantes et descendantes facilite le filtrage et la séparation des voies.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, le GSM est un système F/TDMA puisque les ressources sont partagées en fréquence et en temps :

- Chaque bande de fréquences est partagée en canaux (ou porteuses) duplex de largeur 200 kHz. La bande GSM 900 dispose donc de 125 canaux montants et autant de canaux descendants, la bande DCS 1800 de 375 canaux montants et autant de canaux descendants. En réalité, 124 et 374 porteuses sont disponibles dans les systèmes GSM 900 et DCS 1800.
- Chaque porteuse est divisée en 8 intervalles de temps (IT, slots ou time slots). La durée de chaque time slot est fixée à 577  $\mu$ s (environ).

Sur une même porteuse, les times slots sont regroupés par 8 en une trame TDMA. La durée de cette dernière est donc 4,615 ms. Les times slots sont numérotés de 0 à 7.

Chaque utilisateur plein débit utilise un slot par trame TDMA (toutes les 2 trames TDMA pour un utilisateur demi-débit). Un "canal physique" est donc constitué de la répétition périodique d'un slot de la trame TDMA sur une fréquence particulière. Dans ce slot, qui a une notion temporelle, l'élément d'information est appelé burst.

Notons que le réseau GSM est dit orienté circuit : il réserve à chaque utilisateur une portion des ressources (1 time slot parmi 8 sur une paire de fréquences), qui n'est partagée avec personne d'autre, jusqu'à la déconnexion de l'utilisateur.

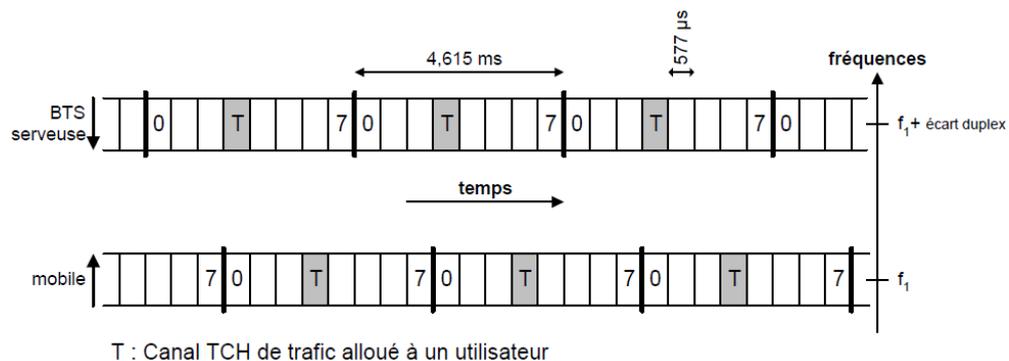


Figure II.1 : Canal physique GSM pour une transmission duplex sans saut de fréquence

## II.3 STRUCTURE DES INFORMATIONS

### II.3.1 Codage des informations

Suivant la nature de l'information à transmettre, les messages d'information n'ont pas la même longueur ni la même protection.

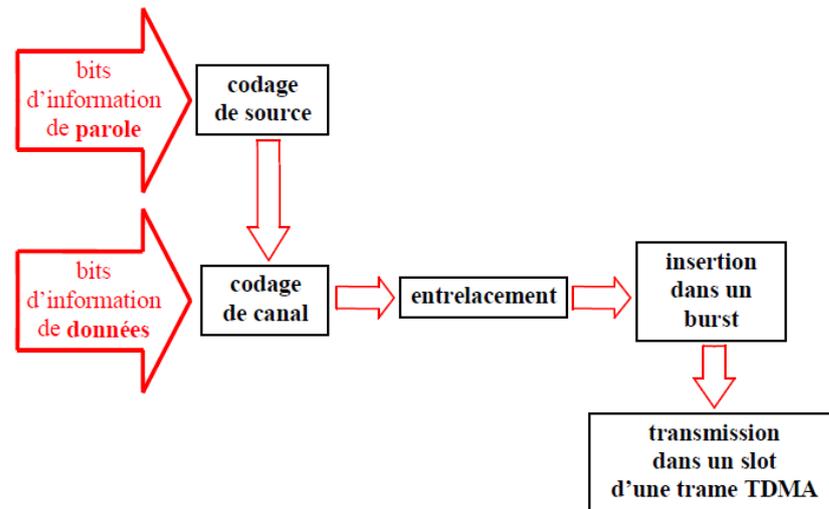


Figure II.2 : Chaîne de transmission

La modulation utilisée dans le système GSM est la modulation GMSK (*Gaussian-filtered Minimum Shift Keying*). Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- modulation de fréquence ;
- variation linéaire de la phase sur un temps bit provoquant un déphasage de  $\pm\pi/2$  à chaque transmission de symbole ;
- débit en ligne : 270, 833 kbits/s (156,25 bits transmis en 577  $\mu$ s) ;

Le codage de source de la parole sert à transformer le signal analogique de parole en un signal numérique. Le but de ce codage est de réduire le débit de façon à minimiser la quantité d'information à transmettre.

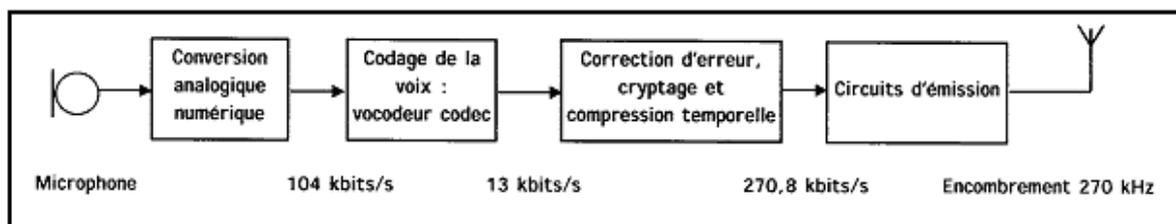


Figure II.3 - Réduction du débit apporté par le vocodeur

En effet, dans le système GSM, à la sortie de ce codeur, ne sont transmis que les coefficients des filtres numériques linéaires (long terme LTP et court terme LPC) et le signal d'excitation (RPE) et non pas le signal de parole initial. L'élément qui effectue ces opérations en émission et en réception est appelé un "vocodeur codec".

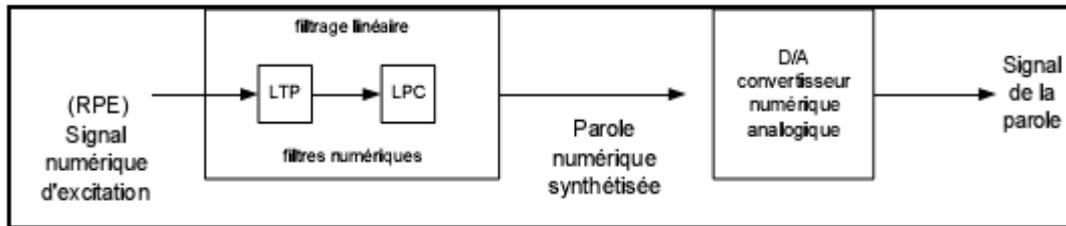


Figure II.4 - Filtrages LPC et LTP.

Pour la parole plein débit, les 260 bits en sortie du codeur de source sont répartis en 3 classes suivant leur importance, et le codage de canal n'est appliqué qu'aux classes qui doivent être les plus protégées, c'est-à-dire les deux premières.

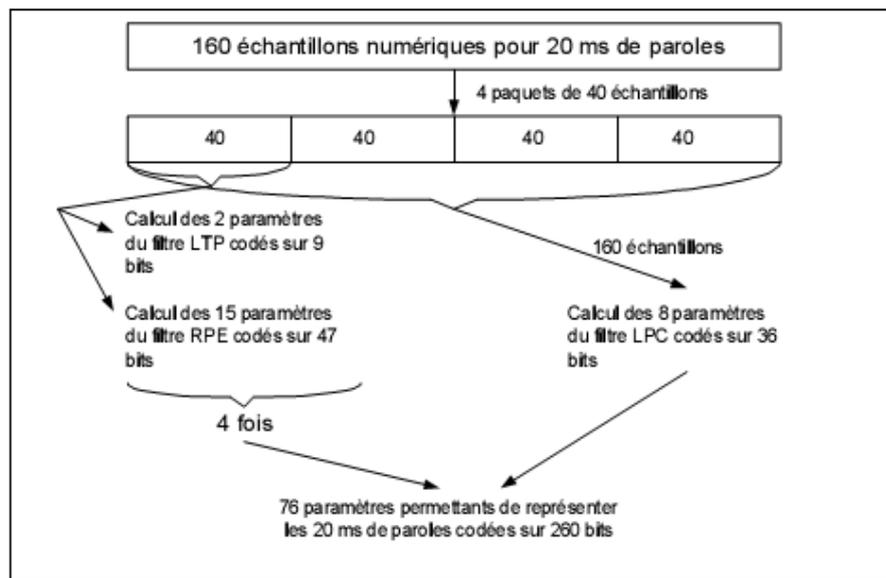


Figure II.5 : calcul des 260 bits pour le codage de la voix

Les bits de CRC (*Cyclic Redundant Control*) sont utilisés pour la détection d'erreurs : pour la parole, si les 3 bits de CRC indiquent une erreur toute la trame est rejetée; pour les canaux de contrôle, les 40 bits de CRC ont en plus une légère capacité de correction d'erreur.

Les bits de traînée sont utilisés pour vider le registre à décalage du codeur de canal.

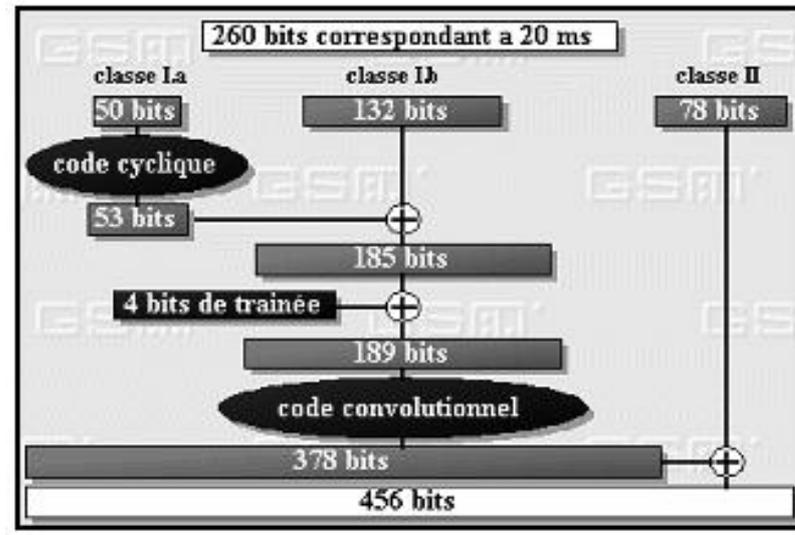


Figure II.6 : Protection de la voix contre les erreurs.

Le codage de canal sert à protéger contre les erreurs en introduisant de la redondance. Ceci conduit à une augmentation du débit, mais cette redondance est utilisée en réception pour corriger les erreurs.

Le codage de canal est réalisé par des codes convolusionnels qui, avec l'algorithme de Viterbi, assurent une correction efficace d'erreurs.

L'entrelacement est utilisé pour rendre plus aléatoire les positions des erreurs qui arrivent généralement en salves dans le contexte radio du fait des divers obstacles auxquels sont soumis les signaux radios : immeubles, camions, feuillage... La technique consiste à mélanger les bits codés avant leur transmission dans un burst pour augmenter les performances de correction des codes correcteurs. En fait l'entrelacement permet de fragmenter les paquets d'erreurs et de les transformer en erreurs "isolées" afin de faciliter leur correction.

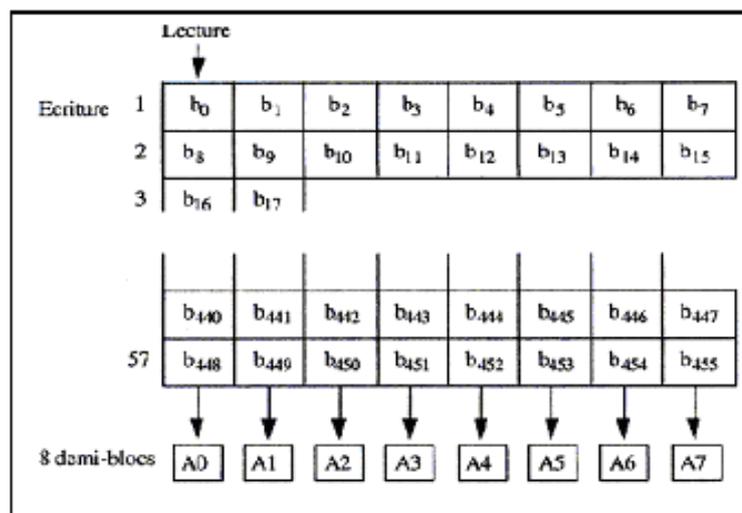


Figure II.7 : Répartition en sous-blocs de 57 bits..

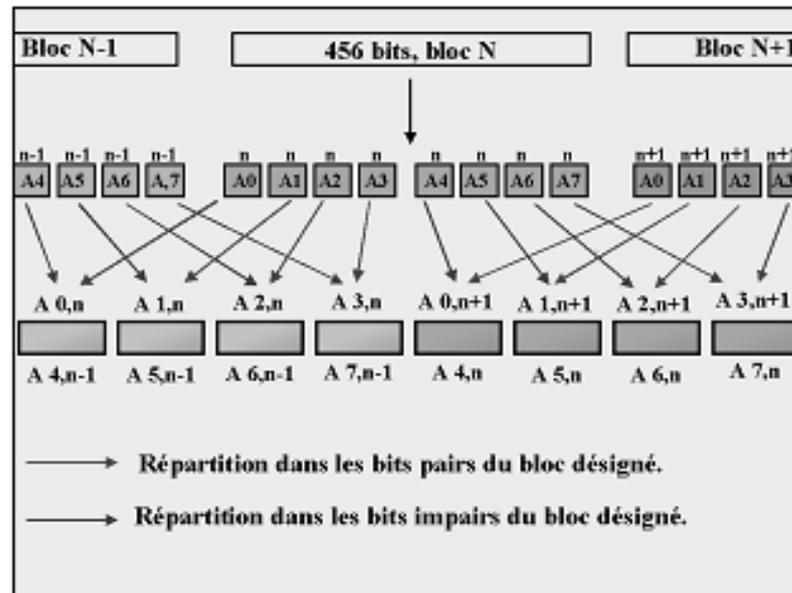


Figure II.8 : Entrelacement des blocs de données de la voix.

### II.3.2 Structure d'un burst d'information

Le burst représente le contenu physique du slot et a la structure générale suivante : une séquence d'apprentissage, des bits de données et quelques bits supplémentaires.

La séquence d'apprentissage se trouve au milieu du burst car le canal radio étant fluctuant, il faut mieux estimer le canal à cet endroit : cela donne une estimation à un demi-burst près et non à un burst près comme ce serait le cas si la séquence était placée en fin ou en début de burst. Il existe 8 séquences d'apprentissage sur le réseau, qui correspondent chacune à un code BSIC de BTS.

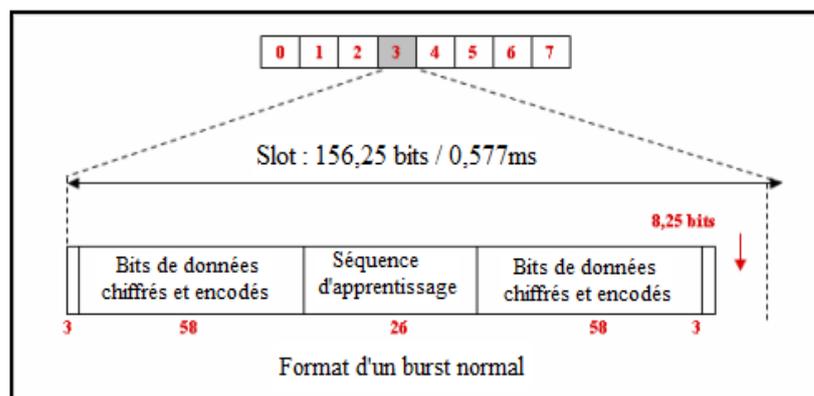


Figure II.9 : Structure de la trame TDMA

En réalité, il n'y a que 57 bits d'information de part et d'autre de la séquence d'apprentissage : le 58ème bit est utilisé pour indiquer un transfert spécial de signalisation sur le canal logique FACCH.

Dans le cas général (cf. Tableau II.2), l'entrelacement des 456 bits se fait sur 8 demi-bursts. Il se fait de la manière suivante :

- les 456 bits de chaque bloc sont mélangés suivant un ordre défini par la norme ;
- les 456 bits sont regroupés en 8 groupes de 57 bits ( $8 \times 57 = 456$ ) ;
- chaque groupe est inséré dans une moitié de burst ; l'autre moitié du burst est occupée par un autre groupe de 57 bits d'un autre bloc de 456 bits.

## II.4 Canaux logiques

Pour renforcer l'interface radio, qui est le maillon faible de la chaîne de transmission, un certain nombre de fonctions de contrôle ont été mises au point pour que le mobile se rattache à une BTS favorable, afin d'établir une communication, surveiller son déroulement et assurer les handovers.

Ces fonctions de contrôle engendrent des transferts de données (remontées des mesures, messages de contrôle...), Plusieurs canaux logiques ont été ainsi définis pour les différents types de fonction (veille, scrutation, mesures, contrôle...); ils forment une architecture complexe qu'il est nécessaire de connaître pour comprendre le fonctionnement d'un mobile pendant les différentes phases de communication ou pendant sa veille. Ils n'existent que sur l'interface radio et perdent ensuite toute leur signification sur les autres interfaces du système : Abis, Ater, A, etc.

Sur l'interface radio Il faut :

- diffuser des informations système (Broadcast Channels).
- prévenir les mobiles des appels entrants et faciliter leur accès au système (Common Control Channel).
- contrôler les paramètres physiques avant et pendant les phases actives de transmission (FACCH et SACCH).
- fournir des supports pour la transmission de la signalisation (SDCCH).

On n'utilise pas un canal physique plein pour chacune de ces tâches : ce serait gâcher de la ressource radio car elles ne nécessitent pas, en général, un débit comparable à celui de la voix codée (TCH).

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de codage des canaux logiques :

Canaux logiques	Nb de bit avant codage	CRC + trainée	taux de codage de canal	Poinçon bits	nb e bits en sortie	entrelacement
TCH parole plein débit	260 50+132+78	<b>3+4</b>	<b>1/2</b>	-	<b>456</b>	8 Demi-blocs

TCH donnée 9,6 Kb /s	4×60 (dont 48 sont de signalisation)	<b>0+4</b>	<b>1/2</b>	<b>32</b>	<b>456</b>	22 blocs
FCCH	<b>184</b>	<b>40+4</b>	<b>1/2</b>	-	<b>456</b>	8 Demi-blocs
SACCH	<b>184</b>	<b>40+4</b>	<b>1/2</b>	-	<b>456</b>	4 blocs
SDCCH						
PCH						
AGCH						
BCCH						
RACH	<b>8</b>	<b>6+4</b>	<b>1/2</b>	-	<b>35</b>	non
SCH	<b>25</b>	<b>10+4</b>	<b>1/2</b>	-	<b>78</b>	non

Tableau II.2 : Récapitulatif sur le codage des canaux logiques

Pour introduire plus de souplesse et allouer moins d'un slot par trame, on définit des structures de multitrames. La structure de multitrame est définie comme une succession d'un slot donné sur des trames TDMA successives, c.-à-d. sur un canal physique. Entre 2 slots d'une multitrame, il s'écoule donc 4,615 ms.

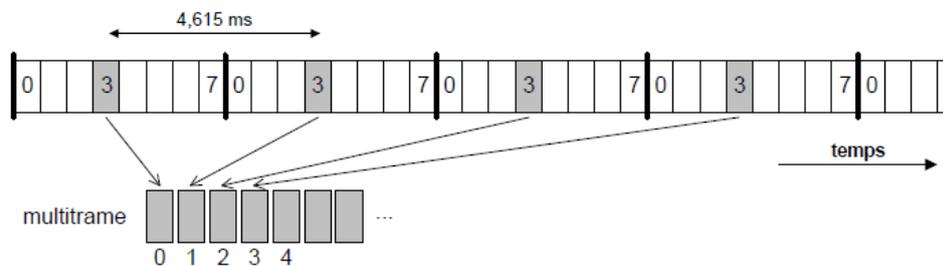


Figure II.10 : Structure d'une multitrame GSM

Chaque multitrame transporte, avec une périodicité bien définie, un certain type d'informations de contrôle ou de signalisation. Cet ensemble de timeslots forme un canal logique. Certaines multitrames sont définies à 26 trames, d'autres à 51 trames. Comme nous l'avons montré dans le chapitre précédent.

#### II.4.1 Classification des canaux logiques

On distingue deux grandes classes de canaux logiques : les canaux dédiés et les canaux non dédiés :

- **un canal logique dédié** est duplex et fournit une ressource réservée à un mobile. Le réseau attribue au mobile dans une structure de multiframe un slot en émission et un slot en réception dans lesquels le mobile est seul à transmettre et à recevoir. Dans la même cellule, aucun autre mobile ne peut transmettre dans le même slot (c'est-à-dire en même temps) de la même fréquence.
- **Un canal logique non dédié** est simplex et partagé par un ensemble de mobiles.  
 Dans le sens descendant : diffusion des données, plusieurs mobiles sont à l'écoute du canal  
 Dans le sens montant : accès multiple selon la technique d'Aloha slotté.

Le tableau ci-dessous liste tous les types de canaux logiques et leur fonction :

Catégorie	Nom	Sens	Rôle
Diffusion (commun)	BCCH	Descendant	Diffusion d'information système spécifique à la cellule.
	FCCH	Descendant	Synchronisation fréquentielle
	SCH	Descendant	Synchronisation temporelle et identification de la cellule
Contrôle (commun)	AGCH	Descendant	Réponse du réseau à l'accès initial
	CBCH	Descendant	Diffusion de messages courts
	PCH	Descendant	Appel du mobile
	RACH	Montant	Appel initial du mobile
Contrôle (dédié)	FACCH	Bidirectionnel	Signalisation rapide
	SACCH	Bidirectionnel	Contrôle de transmission
	SDCCH	Bidirectionnel	signalisation
Trafic (dédié)	TCH	Bidirectionnel	Transport de la parole et des données

Tableau II.3 : Types de canaux logiques

#### II.4.2 La voie balise

Chaque BTS d'un réseau radio-mobile dispose d'une voie balise. La voie balise correspond à une fréquence particulière appartenant à l'ensemble des fréquences allouées à la BTS. Sur cette fréquence sont diffusées des informations particulières permettant aux mobiles de détecter la BTS, de se caler en fréquence et en temps et de donner les caractéristiques de la cellule (identité, particularités et autorisation d'accès...).

A la mise sous tension, un mobile cherche à se caler sur la voie balise de la BTS la plus favorable autorisée. En état de veille, il surveille constamment le signal reçu sur cette voie et sur les voies balises des BTS du voisinage. Dès que cela est nécessaire, il se cale sur une nouvelle voie et change ainsi de cellule de service.

En communication, un mobile du voisinage de cette BTS mesure périodiquement sur cette voie le niveau de signal qu'il reçoit. Il détermine par cette simple mesure s'il est à portée de la station, et s'il en est proche ou éloigné. Il remonte ensuite ces mesures dans les messages ( Measurement Report) en vue de l'exécution d'un handover .

La voie balise des BTS correspond à :

- une fréquence descendante : fréquence balise sur laquelle les informations sont diffusées à puissance constante pour permettre aux mobiles de faire des mesures de puissances reçues fiables; le contrôle de puissance ne peut donc pas être implanté sur cette voie.

Il y a un ensemble de *canaux logiques en diffusion* sur cette fréquence balise, généralement sur le slot 0 de la fréquence : FCCH, SCH et BCCH. Le saut de fréquence ne peut donc pas être implanté sur cette voie ;

**II.4.2.1 Canal FCCH** (Frequency Correction Channel) consiste en un burst particulier émis environ toutes les 50 ms. Le burst est composé de 148 bits à 0. S'il est émis sur une fréquence, il donne un signal sinusoïdal et correspond donc à une porteuse pure légèrement décalée en fréquence qui permet un calage fin de l'oscillateur du mobile. Le canal FCCH est présent seulement sur le TS0 de la voie balise. Il est émis dans les trames 0, 10, 20,30 et 40 d'une multitrame à 51 trames. Il est donc émis 5 fois en 235.8 ms soit environ 20 fois par seconde.

#### **II.4.2.2 Canal SCH**

Le burst SCH (Synchronisation Channel) n'est émis que dans le TS0 de la voie balise. Il est situé juste après le burst FCCH.

Les informations diffusées sur le canal SCH sont les suivantes :

- un numéro de trame permettant au mobile de savoir quel canal SCH de la multitrame il a décodé,
- le code BSIC de la BTS dont le rôle est de distinguer plusieurs BTS peu éloignées ayant la même fréquence balise.

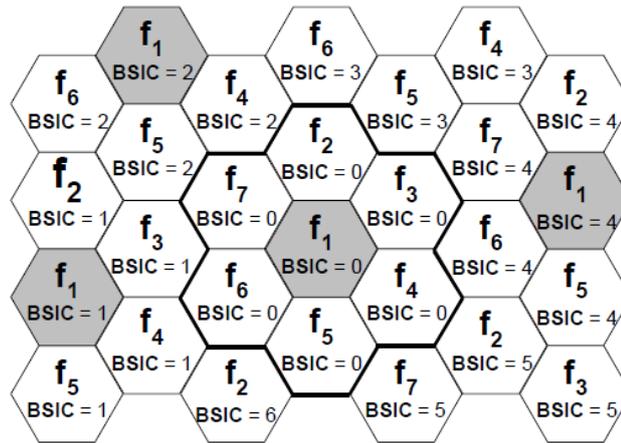


Figure II.11 : Utilisation des codes BSIC dans un motif à 7 cellules

### II.4.2.3 Canal BCCH

Le **canal BCCH** permet la diffusion de données caractéristiques de la cellule. Il comprend la diffusion régulière d'informations de plusieurs types dans les messages SYSTEM INFORMATION. Les informations les plus importantes sont les suivantes :

- le contrôle de l'accès aléatoire des mobiles sur le canal RACH (appels d'urgence acceptés ou refusés, nombre maximal de tentatives d'accès, classes de mobiles autorisées dans la cellule...) ;
- la liste des fréquences balises voisines à scanner ;
- l'identité de la cellule, sa zone de localisation ;
- la structure exacte de la voie balise courante, qui permet au mobile de savoir quand il doit écouter les éventuels appels entrants ;
- l'utilisation optionnelle du contrôle de puissance et de la transmission discontinue (sur les canaux autres que la voie balise) ;
- les paramètres de sélection de cellule (hystérésis, niveau minimal de puissance) ;

Le canal BCCH est présent au moins sur le slot 0 de la voie balise et peut parfois aussi se trouver sur les slots 2,4 ou 6 de cette même voie.

## II.4.3 Les canaux de contrôle commun

### II.4.3.1 Canal RACH

Lorsque les mobiles veulent effectuer une opération sur le réseau, quelle qu'elle soit (mise à jour de localisation, envoi de messages courts, appel d'urgence ou normal (entrant ou sortant)...), ils doivent établir une liaison avec le réseau. Pour cela, ils envoient vers la BTS une requête très courte codée sur un seul burst. Cette requête est envoyée sur des slots particuliers en accès aléatoire de type ALOHA discrétisé (émission sans vérification préalable de l'occupation du canal, mais seulement

possible à des instants précis). L'ensemble des slots réservés à cette procédure s'appelle le canal RACH.

Le burst d'information utilisé est très court et ne suit pas le format de la figure II.11 car il faut laisser une marge de fluctuation au sein du slot RACH. En effet, le mobile ne connaît pas à cet instant le délai de propagation entre l'endroit où il se trouve et la BTS. Le délai de garde est de 252  $\mu$ s, ce qui permet d'envisager une distance maximale entre la BTS et le mobile d'environ 35 km.

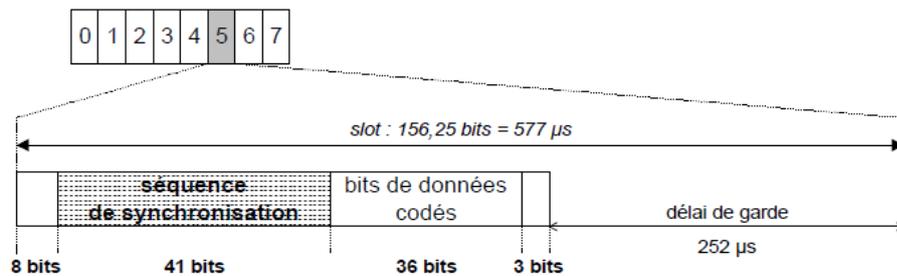


Figure II.12 : Format du burst RACH

Le burst transmet les informations suivantes :

- type de service demandé (appel entrant, appel sortant, appel d'urgence, mise à jour de localisation, émission de message court)
- un nombre aléatoire utilisé pour discriminer les mobiles en cas de collision qui permet au mobile de repérer si la réponse lui est véritablement destinée.

La séquence d'apprentissage est un peu plus longue que dans les bursts normaux car le mobile n'est pas complètement synchronisé avec la BTS : il ne connaît pas la distance qui les sépare.

### II.4.3.2 Canal AGCH

Lorsque le réseau reçoit une requête de la part du mobile sur le canal RACH, il décide de lui allouer un canal de signalisation SDCCH afin d'identifier le mobile et déterminer précisément sa demande. L'allocation d'un tel canal dédié se fait sur des slots définies qui forment le canal AGCH.

Le burst d'information contient les informations suivantes :

- numéro de slot
- fréquence allouée ou description du saut de fréquence
- valeur du timing advance

Le canal AGCH est présent au moins sur le slot 0 de la voie balise et peut parfois aussi se trouver sur les slots 2,4 ou 6 de cette même voie.

### II.4.3.3 Canal PCH

Lorsque le réseau désire communiquer avec le mobile (appel entrant ou réception de message court), la BTS diffuse l'identité du mobile sur un ensemble de cellules appelé "zone de localisation". Cette diffusion (appelée *paging*) a lieu sur un ensemble de slots qui forment le canal PCH. Tous les mobiles de la cellule écoutent périodiquement le canal PCH et le mobile concerné par l'appel répondra sur le canal RACH.

En utilisant comme identité d'appel le TMSI et non l'IMSI, il est possible pour le réseau d'appeler jusqu'à 4 mobiles simultanément dans le même message de paging.

Le canal PCH est présent au moins sur le slot 0 de la voie balise et peut parfois aussi se trouver sur les slots 2,4 ou 6 de cette même voie.

### II.4.3.4 Canal CBCH

Le **canal CBCH** est un canal descendant qui permet de diffuser aux usagers présents dans la cellule des informations spécifiques (informations routières, météo, promotions...). Il peut utiliser certains slots 0 de la multitrame, mais son emploi est actuellement très marginal.

## II.4.4 Les canaux dédiés

### II.4.4.1 Canal TCH (trafic Channel)

Le **canal TCH** est utilisé pour transmettre les informations utilisateurs :

- la *parole* à 13 Kbits/s ("full rate" plein débit), 12,2 Kbits/s ("enhanced full rate") ou 5,6 Kbits/s ("half rate" demi-débit, peu utilisé par les opérateurs du fait de sa relativement mauvaise qualité).
- les *données* jusqu'à un débit utilisateur de 14,4 Kbits/s.

### II.4.4.2 Canaux de commande (DCCH : Dedicated Control Channel)

- **Canal SDCCH**

Le canal SDCCH est utilisé pour les établissements des communications, les émissions/réceptions de messages courts et les mises à jour de localisation. C'est le premier canal dédié alloué au mobile, avant son basculement éventuel sur un canal TCH. Sur ce canal se déroulent toutes les procédures d'authentification, d'identification et de chiffrement.

Le canal SDCCH sert en particulier à l'émission / réception de messages courts (télémessages) ou à la réception de services personnalisés lorsque le mobile n'est pas en communication à l'instant de réception.

- **Canal SACCH**

Le canal SACCH est un canal à faible débit : 1 burst d'information toutes les 26 trames. Il sert à contrôler la liaison radio et à ajuster en conséquence certains paramètres afin de conserver une qualité de service acceptable.

Le canal SACCH supporte les informations suivantes :

- dans le sens montant :
  - dans l'en-tête de tous les messages, des valeurs actuelles de puissance d'émission du mobile et de son timing advance.
  - dans le message « Measurement Report », des mesures effectuées par le mobile sur le canal courant et sur les BTS voisines.
- dans le sens descendant, transmission dans les messages « System Information »:
  - dans l'entête de tous les messages, des valeurs commandées par la BTS serveuse au mobile de puissance d'émission et de timing advance du mobile ;
  - de l'identité et la zone de localisation de la cellule serveuse
  - de la liste des fréquences à scanner (correspondant aux voies balises des BTS voisines)
  - des diverses fonctionnalités implémentées sur la cellule serveuse : contrôle de puissance, transmission discontinuée.

- **Canal de commande rapide FACCH (Fast Associated Control Channel)**

Le canal FACCH est utilisé lorsqu'un handover doit être effectué soudainement pendant une conversation. FACCH fonctionne en mode 'vol' signifiant qu'un segment de parole de 20 ms est remplacé par les informations de signalisation nécessaire au handover. L'abonné ne ressentira pas cette interruption de la parole car le bloc de parole sera répété par le codeur vocal.

#### II.4.5 Multiplexage TCH plein débit-SACCH

Le codeur de source de parole plein débit délivre toutes les 20 ms un ensemble de bits qui sont codés sur 8 demi-bursts. De manière temporelle, il faut donc transmettre 4 bursts de parole toutes les 20 ms. Pendant une période de 120 ms, il y a donc 24 bursts de parole à transmettre.

D'autre part, on a vu que le mobile pouvait émettre et recevoir des données toutes les 4,615 ms (un slot déterminé sur une fréquence particulière). Pendant une période de 120 ms, il y a donc  $120/4,615$  soit 26 bursts d'information à transmettre.

Il reste donc deux slots libres. Un slot est utilisé pour le canal SACCH, l'autre slot est appelé slot idle et cette structure de multiplexage est répétée toutes les 120 ms, c'est-à-dire toutes les 26 trames TDMA (d'où le nom de multiframe à 26).

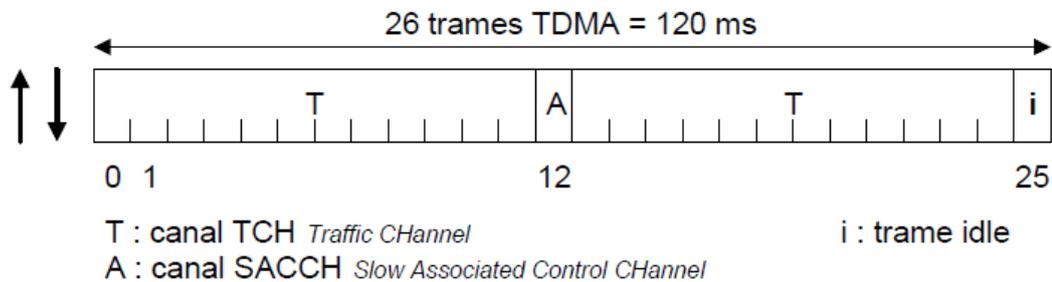


Figure II.13 : Multiframe à 26 pour le multiplexage TCH plein débit / SACCH

Le slot idle est utilisé par le mobile non pas pour se reposer mais pour scruter les voies balises voisines que la BTS serveuse lui a indiquées. Pendant ce laps de temps disponible, le mobile tente de décoder le code BSIC diffusé sur le canal SCH du slot 0 des voies balises, puis il renvoie ces informations dans les messages Measurement Report, accompagnées des mesures de puissance effectuées.

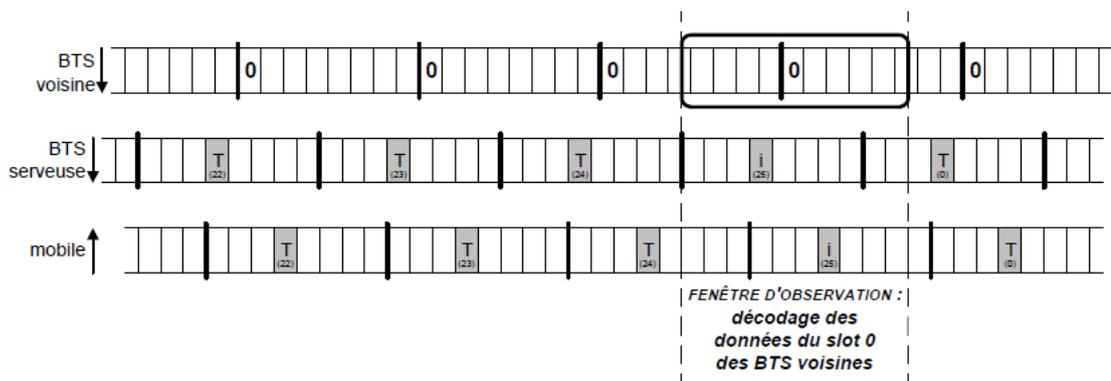


Figure II.14: Utilisation du slot idle

Le canal SACCH transporte, comme nous l'avons vu, de la signalisation à faible débit. Il ne convient donc pas aux actions qui doivent être faites rapidement comme le handover. En ces cas d'urgence, on suspend la transmission des informations utilisateurs sur le canal TCH et on utilise la capacité ainsi libérée pour un autre canal, le canal FACCH, pour la transmission de la signalisation rapide. Ce canal est vu comme un vol de capacité du TCH, il n'a pas de structure fixe dans les multitrames puisqu'il intervient ponctuellement, en cas de handover.

#### II.4.6 Multiplexage SDCCH-SACCH

De même manière que pour le canal TCH, un canal SACCH est alloué conjointement à chaque canal SDCCH, mais la structure de la multiframe est différente puisqu'il s'agit d'une multiframe à 51 trames.

Sur la multitrame à 26 étaient multiplexés 1 canal TCH est son canal SACCH associé.

Sur cette multitrame à 51 sont multiplexés 8 canaux SDCCH et leurs canaux SACCH associés (une multitrame sur deux), comme illustré sur la figure suivante.

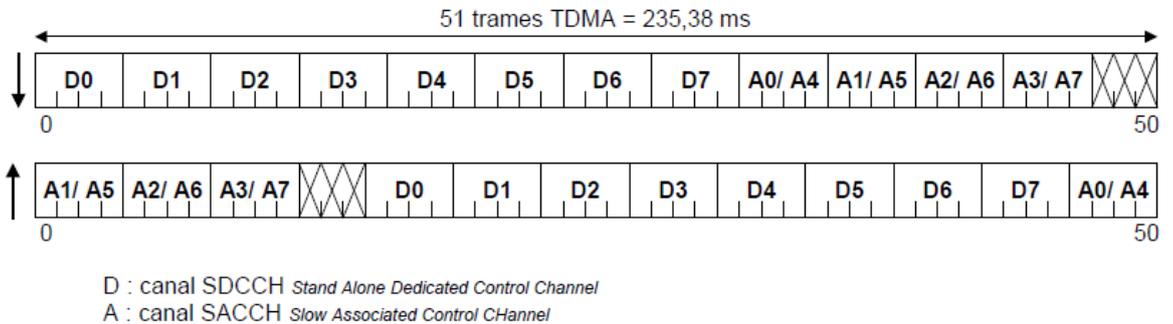


Figure II.15 : Multiplexage SDCCH-SACCH

### II.4.7 Multiplexage des canaux non dédiés

Suivant la capacité de la BTS, le PCH et l'AGCH ont des configurations variables. Cependant, tous les canaux logiques non dédiés sont multiplexés sur une multitrame à 51 trames. Celle-ci se trouve sur le slot 0 de la voie balise et parfois, en cas de forte capacité de la BTS, sur les slots 2,4 et 6 de cette voie.

Dans le cas contraire d'une configuration minimale (faible capacité de la BTS), le multiplexage peut être éventuellement complété par 4 canaux de signalisation dédiée SDCCH et leurs SACCH associés.

La figure suivante illustre la configuration minimale sur le slot 0 de la voie balise :

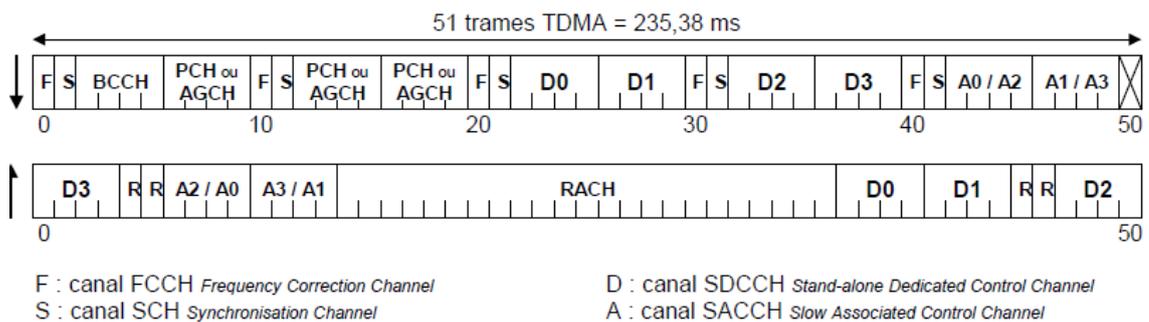


Figure II.16 : Configuration minimale des canaux de contrôle sur le slot 0 de la voie balise

**II.4 CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les canaux logiques définis pour les différentes fonctions d'un mobile GSM (veille, scrutation, mesures, contrôle...). Leurs multiplexages temporels forment des architectures complexes qu'il est nécessaire de connaître pour comprendre le fonctionnement d'un mobile pendant les différentes phases de communication ou pendant sa veille.

## **CHAPITRE III : LA QUALITE DE SERVICE**

### **III.1 Introduction**

Le premier objectif d'un opérateur est d'augmenter ses revenus globaux, et pour cela il doit fournir une meilleure qualité de service que ses concurrents, en termes de couverture, de capacité, de qualité vocale. La bonne qualité de service se traduit par la relation entre le trafic offert et le trafic écoulé. Le but d'un opérateur est d'écouler tous le trafic offert sous de bonne condition.

La qualité de service est évaluée grâce à des indicateurs de performance qui nous livrent des statistiques sur l'état du réseau. Ces études réelles sur le réseau mobile se nomment ingénierie du trafic. Cette dernière est essentielle pour l'analyse et la conception des réseaux.

### **III.2 Notion du trafic et Définition de l'Erlang**

D'une manière générale, la charge d'un système donnée est définie comme le nombre d'unités d'information (message ou bits) à écouler par unité de temps. Deux paramètres essentiels permettent de définir la charge : la durée moyenne de transmission des informations et le taux moyen d'arrivée des informations. Le trafic écoule par un système de télécommunication pendant une période d'observation T est définie comme le nombre d'unités d'information écouler pendant T. Ce trafic est couramment appelé débit.

La charge en trafic est définie comme la durée totale d'occupation des ressources par unité de temps. L'unité de charge de trafic est l'Erlang, en référence au créateur de la théorie du télé- trafic. La charge d'un système peut être supérieur à la capacité et donc au débit du système. Dans ce cas, les demandes non satisfaites sont soit rejetées (la loi d'Erlang B), soit mise en attente (la loi d'Erlang C). [4]

La charge d'un système est caractérisée par deux paramètres :

$$\mathbf{A} = \lambda \times \mathbf{t} \quad \text{(III.1)}$$

Où  $\lambda$  est le taux moyen d'arrivée ;

$t$  la durée moyenne de transmission ;

et A le nombre d'Erlang ou le trafic offert.

#### **III.2.1 Modèle du trafic à perte : Erlang B [8]**

La première loi d'Erlang, appelé loi d'Erlang B est basé sur les hypothèses suivantes :

- Arrivé aléatoire des appels (processus de poisson).

- Durée des appels suivant une distribution exponentielle.
- Nombre infini de sources de trafic et sources homogènes.
- Système statiquement à l'équilibre.
- Charge du système connu.

$$E_N [A] = \frac{\frac{A^N}{N!}}{1 + \frac{A}{1!} + \dots + \frac{A^N}{N!}} \quad (\text{III.2})$$

Ou  $E_N$  : taux de blocage (avec perte et sans file d'attente).

$N$  : nombre de ressources (canaux, machine, ...).

$A$  : nombre d'Erlang ou trafic offert.

La loi d'Erlang a une approximation qui permet de calculer simplement et rapidement le nombre de canaux nécessaires dans un système de charge en trafic offert  $A$  et pour une qualité de service en termes de taux de blocage de  $B$ .

$$N = A + k\sqrt{A} \quad (\text{III.3})$$

Ou  $N$  : le nombre de canaux nécessaires et  $A$  : le trafic offert en Erlang.

$k = -\log_{10} B$ . Avec  $B$  : le taux de blocage.

La loi d'Erlang de première espèce surestime le taux de blocage c'est-à-dire qu'elle donne des résultats montrant que le taux de blocage est supérieur à ce qu'il est réellement. Dans les cellules à faible nombre de canaux, le taux de blocage réel sera donc inférieur aux taux prévu par la formule.

### III.2.2 Modèle de trafic avec file d'attente : Erlang C [4]

Afin de réduire le problème de perte des appels dans un réseau, il est possible de mettre en place un dispositif de files d'attente dans lesquelles seront placés les appels ne trouvant pas de ressource disponible à leur arrivée. Ce type de modèle a donné lieu à un certain nombre de formules permettant d'appréhender le comportement du système. Ses formules sont basées sur les paramètres suivants :

- $N$  : Nombre de ressources dans le système (serveurs).
- $J$  : Nombre d'appels dans la file d'attente.
- $B$  : probabilité de perte d'appel/demande si le système ne comporte pas de file d'attente.
- $A$  : trafic offert en Erlang.

- d: durée moyenne d'un appel ou d'une demande (temps moyen de traitement d'un appel/demande par serveur).

La formule Erlang C'est la suivante :

$$C = \frac{N \times B}{N - A \times (1 - B)} \quad (\text{III.4})$$

C'est la probabilité qu'un appel/demande soit retardé (c'est-à-dire qu'il soit placé dans une file d'attente).

La durée moyenne d'attente D dans la file est donnée par La formule suivante :

$$D = \frac{C}{N - A} \times d \quad (\text{III.5})$$

Le nombre moyen d'appels /de demandes en attente J(ou longueur moyen de la file d'attente) est :

$$J = A \times \frac{C}{N - A} \quad (\text{III.6})$$

La probabilité que le temps d'attente w soit supérieur au temps d'attente t est :

$$\text{Prob}(w > t) = C \times e^{-(N - A) \times t / d} \quad (\text{III.7})$$

La probabilité que x serveurs soient occupés est donnée par :

- Sans file d'attente, X=nombre de ressources occupées, soient :

$$p(x) = \frac{A^x}{x!} \times p(0) \quad 0 \leq x \leq N \quad (\text{III.8})$$

- Avec file d'attente, toutes les ressources sont occupées et J places dans la file d'attente sans prises X=N+J :

$$p(N + J) = C \left(1 - \frac{A}{N}\right) \left(\frac{A}{N}\right)^J \quad (\text{III.9})$$

L'utilisation de ces formules en pratique n'est pas immédiate. Pour déterminer le nombre de serveurs N à installer dans le système, tâche est celle de tout planificateur lors de la phase de dimensionnement, il convient d'utiliser la formule donnant la probabilité d'attente (Erlang C) et celle donnant la probabilité que le temps d'attente dépasse t secondes. Ces formules sont utilisées dans un processus itératif permettant, à partir des valeur de t et de la probabilité d'attente plus que t, de trouver la bonne valeur de N, et ce, en testant plusieurs valeurs.

### III.3 Table d'Erlang

Les résultats de l'utilisation de la loi d'Erlang pour différentes valeurs de paramètres sont représentés sous la forme de tables d'Erlang. Pour l'utiliser, il suffit de connaître deux paramètres parmi les trois (taux de blocage, nombre de canaux ou la charge en Erlang).

Pour le dimensionnement d'un réseau pour un service de voie, seule la formule d'Erlang B est utilisée. Le recours aux files d'attente a pour objectif d'améliorer la qualité de service des usagers dans les zones à forts taux de blocage. En cas de saturation des ressources, les appels ne trouvant pas de ressources libres ne sont pas rejetés mais mis dans une file d'attente pour une durée de quelques secondes.

### III.4 Notion d'heure de pointe

Le dimensionnement des ressources d'un réseau se fait pour une charge donnée ou estimée de trafic. Cette charge correspond à une heure particulière de la journée pendant laquelle la valeur de trafic total est maximum. Cette heure est appelée heure chargée ou heure de pointe (peak hour).

L'ingénieur en télétrafic a plusieurs options pour définir l'heure de pointe parmi elle :

- Une heure fixe est choisie et utilisée chaque jour.
- Une heure particulière est choisie pour chaque jour «heure de pointe flottante».
- Heure de pointe déterminée individuellement pour le système en entier et pour chaque cellule.

Les pointes de trafic sont nécessaires lors du dimensionnement du réseau car elles minimisent la probabilité de blocage mais vont entraîner la mise en place de moyens qui ne seront pas utilisés hors période de pointe (sur dimensionnement), d'où des problèmes de rentabilité du réseau. Les pointes de trafic pourront être atténuées en adoptant une tarification favorisant les appels en dehors de ces périodes.[4]

### III.5 Le trafic offert et le trafic écoulé

Le but d'un réseau et de tout système de télécommunication est d'écouler si possible la totalité du trafic offert et ce dans les meilleures conditions possibles. En réalité, Dans certaines conditions de charges anormalement trop élevées (surcharge), les systèmes devront rejeter les demandes, ne serait-ce que pour se protéger. Mais aussi, à cause de la nature aléatoire du trafic offert et du souci d'optimisation des ressources, il existera toujours une probabilité non nulle d'un manque de ressources et donc de rejet de la demande. Le trafic écoulé sera donc généralement différent du trafic offert. Les règles régissant la relation entre ces deux valeurs sont l'objet des normes de qualité de service. [7]

### III.6 Qualité de service

Dans les normes internationales la qualité de service est définie comme étant l'effet global produit par la qualité de fonctionnement d'un service qui détermine le degré de satisfaction de l'utilisateur. La qualité de fonctionnement peut porter sur un instant ou être exprimée en valeur moyenne sur un intervalle de temps. Les mesures réalisées sont liées à des événements (dérangement, rétablissement...), à des états (panne, disponibilité, indisponibilité, interruption...) ou à des activités et à leur durée. Ces mesures influencent les mesures liées à la qualité de service et à la qualité de bon fonctionnement.[4]

L'étude de l'Institut Belge des services postaux et des télécommunications a démontré qu'en matière de qualité de service perçue par les consommateurs, les principaux problèmes concernent les performances techniques, les pannes et dérangements, la facturation, la fourniture du service (installation et activation) et l'assistance administrative ou commerciale. Mais le problème le plus fréquent est celui de la qualité de service (la congestion, les coupures...).

Le diagramme ci-dessous illustre une comparaison de la nature des problèmes rencontrés au cours des années 2012, 2013, 2014 en Belgique.[10]

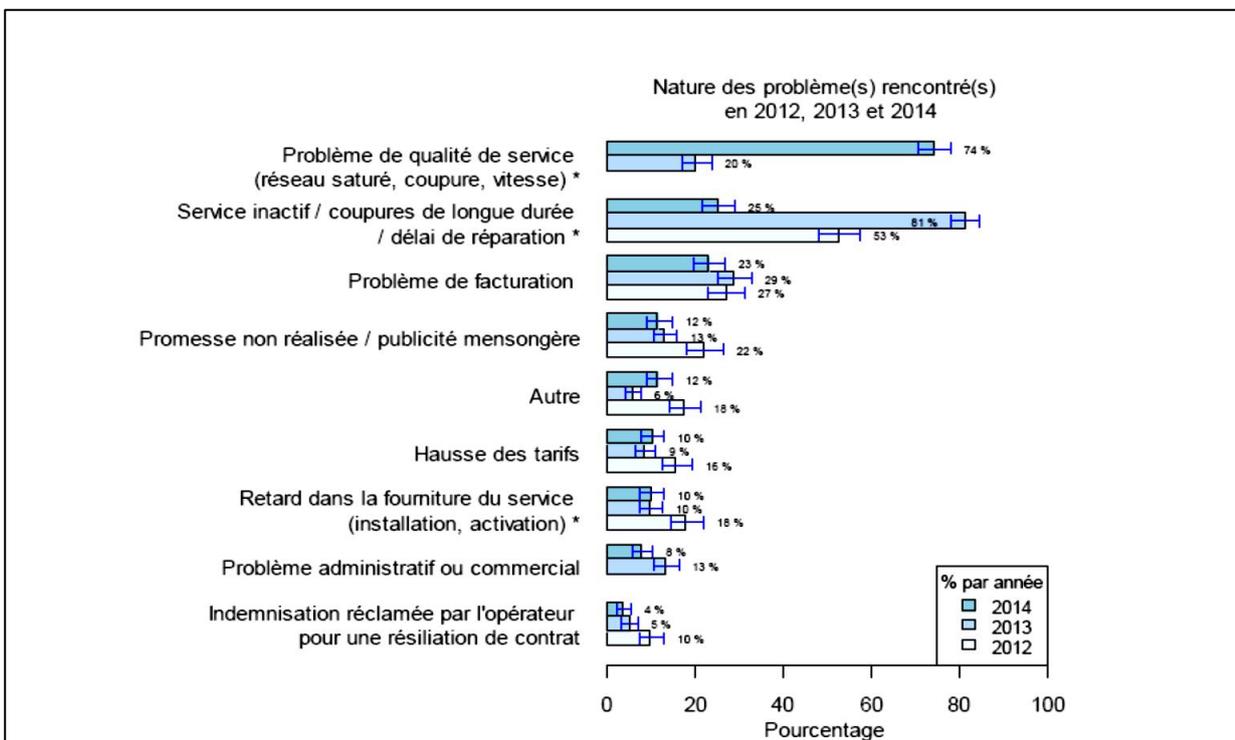


Figure III.1 : Diagramme représentant la nature des problèmes rencontrés en 2012, 2013, 2014 en Belgique.

Dans les réseaux de 2G, les services de données ne représentent qu'une partie marginale du trafic global. Ils ont, entre autres, été optimisés pour préserver l'isochronisme de la voix. Les critères de la qualité de service concernent donc les services vocaux et se basent essentiellement sur la couverture réseau, l'accessibilité et la qualité vocale.

La qualité de service d'un réseau ou d'une zone particulière du réseau est évaluée de façon objective à travers l'analyse de compteurs et d'indicateurs.

### III.6.1 Les compteurs [11]

Les compteurs se situent au niveau des différents nœuds et permettent l'activation et la remontée des statistiques à l'OSS. Ainsi, tous les indicateurs de qualité émanent des données enregistrées par les compteurs. On distingue deux types de compteurs :

- **Compteurs BSS** : Les compteurs du sous-système radio BSS se situent au niveau du BSC. Ils permettent le calcul des indicateurs de qualité de service au niveau radio. Les compteurs BSS sont programmés pour Surveiller la qualité du BSS et S'incrémenter lors de l'apparition d'un événement spécifique au niveau radio.
- **Compteurs NSS** : Les compteurs du sous-système réseau NSS se situe au niveau du MSC. Ils permettent le calcul des indicateurs de qualité de service au niveau core (NSS). Les compteurs NSS sont programmés pour Surveiller la qualité du NSS et S'incrémenter lors de l'apparition d'un événement spécifique core.

Les compteurs sont déclenchés par un processus d'appel, ce dernier est expliqué ci-dessous :

**Étape 1** : Demande ou requête pour avoir accès à un canal est envoyée à la BTS par le MS afin accomplir un appel. La BTS fait suivre la demande au BSC. Un compteur est activé dans le BSC sur réception de la demande de canal par le MS.

**Étape 2** : le BSC envoie une commande d'activation de canal vers le MS par la BTS. Un autre compteur s'active afin de compter le canal alloué dans la cellule.

**Étape 3** : Après l'attribution du canal, l'appel est initié après une nécessaire authentification de l'extrémité core/MSC. Une fois l'appel relié, un autre compteur commence afin de compter les coupures anormales d'appel (dus à des problèmes de BSS ou de liaison hertzienne).

Lors d'un procédé d'appel plusieurs problèmes peuvent survenir à des niveaux différents du réseau. La figure III.2, ci-dessous illustre certaine de ces problèmes :

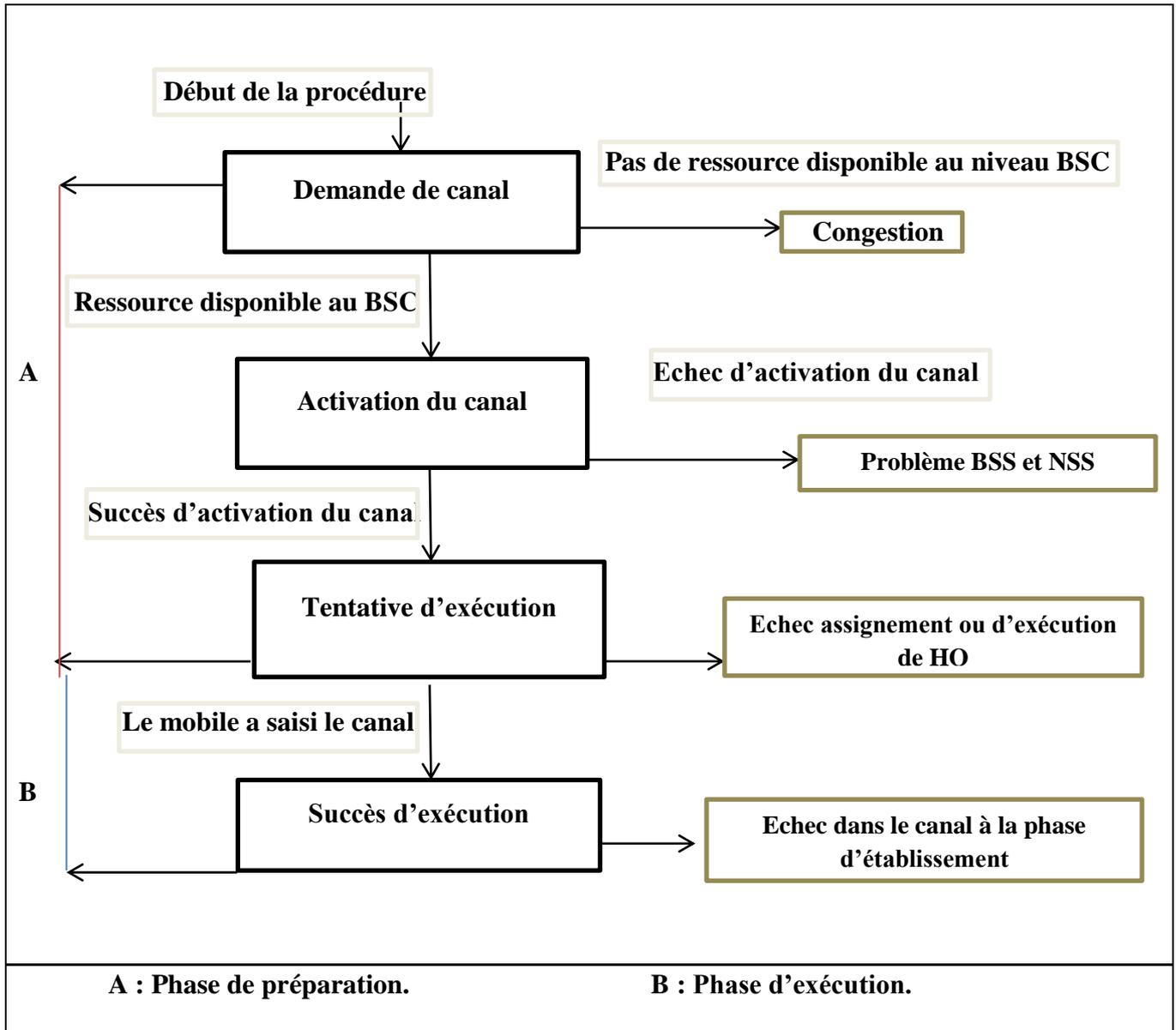


Figure III.2 problème rencontré lors de la procédure d'appel.

### III.6.2 Les indicateurs de performance KPI [14]

Les indicateurs sont obtenus par la combinaison de plusieurs compteurs, les valeurs de ces indicateurs sont représentatives des performances du réseau. Ils peuvent être classés en deux catégories :

- **Les indicateurs globaux** : ils permettent de déterminer l'efficacité d'une procédure particulière (taux de blocage, taux d'interruption de communication...).

- **Les indicateurs intermédiaires** : ils permettent de déterminer l'efficacité d'une sous-procédure (nombre d'appels satisfaits, taux de handover sur qualité...). Ils permettent de détecter, d'identifier et de localiser un problème dans le réseau.

Ces indicateurs sont généralement appelés indicateurs de performance (KPI : Key Performance Indicator) leurs valeurs permettent d'évaluer la performance d'un système. Ces valeurs sont obtenues à partir de plusieurs mesures brutes relevées au niveau des différentes interfaces reliant les éléments des sous-systèmes BSS et NSS. Ces indicateurs seront par la suite analysés pour évaluer la qualité, la performance et la capacité du réseau, aussi détecter et identifier les éventuels problèmes.

Chaque indicateur possède un seuil définie par l'UIT, une valeur qu'il ne doit pas dépasser et au-delà de cette valeur définie, la qualité de service est dégradée.

### III.6.2.1 Les seuils tolérer pour les KPIs [12]

- Taux de congestion des canaux de trafic (TCH) de la cellule. Il doit être inférieur à 2%.
- Taux de blocage SDCCH des canaux de signalisation, pour cause congestion sur la cellule. Il doit être inférieur à 2%.
- Taux de coupure SDCCH <1%.
- Taux de succès d'établissement d'appels. Il mesure le succès du point de vue radio seulement. Il doit être supérieur à 95%.
- Taux de coupures TCH < 2%.
- Taux de succès du Handover HOSR, il doit être supérieur à 95%.
- Downlink Quality Handover rate (DL\_Qual) (%): Taux de changement de cellules pour cause de mauvaise qualité du signal sur la liaison descendante. Il doit être strictement inférieur à 20%.
- Uplink Quality Handover rate (UL\_Qual) (%): Taux de changement de cellules pour cause de mauvaise qualité du signal sur la liaison montante. Il doit être strictement inférieur à 10%.
- Outgoing intra BSS HO drop rate < 1%.
- Outgoing inter BSS HO drop rate < 2%.
- HO request UL Level rate < 10%.
- HO request UL Level rate < 5%.
- Rxqual (facteur de qualité du signal reçu) < 7.

### III.6.2.2 le rôle des indicateurs de Performance [13]

Les prestataires de service du réseau GSM analysent la performance du réseau et évaluent les indicateurs de qualité service. Ces indicateurs peuvent être employés dans les buts mentionnés ci-dessous :

- Pour identifier et localiser les occasionnels défauts pour assurer la disponibilité des ressources physique (matériel).
- Pour aider les équipes d'accordement RF à analyser la situation radio, détecter les problèmes du réseau radio dans une ou plusieurs BTS et trouver finalement un moyen d'optimiser le réseau et adopter des actions correctives comme de nouvelles attributions de fréquences, ajustement de l'inclinaison de l'antenne, et la modification des paramètres dans la base de données d'OMCR etc.
- Pour surveiller le comportement du système et la variance en termes de trafic charger, la congestion, les tentatives d'appels réussis etc.
- Pour prédire l'évolution imminente du trafic et l'expansion du réseau avec l'augmentation des utilisateurs mobiles.
- tester la performance du réseau avec d'autres réseaux concurrent pour attirer plus d'utilisateurs au coût d'une meilleure qualité.

### III.6.3 Supervision de la qualité de service [11]

La supervision de la qualité de service dans un réseau cellulaire nécessite certaines mesures effectuées à différents niveaux du réseau pour dégager les valeurs des indicateurs.

La comparaison de ces indicateurs avec les paramètres seuil permettent d'analyser et de détecter les problèmes de qualité de service au niveau du réseau.

Trois types d'informations sont pris en compte dans la supervision de la qualité de service :

- **Drive test** : c'est des mesures réalisées sur le terrain. Le relevé des mesures est utilisé pour identifier et résoudre les problèmes radio et réseau rencontré sur l'interface radio (Um).
- **Indicateurs de performance** : ils permettent l'évaluation d'un réseau cellulaire. Leur analyse permet le suivi de la qualité de service.
- **Plaintes des usagers** : les plaintes des abonnés sont des aspects très importants qui doivent être pris en compte par l'opérateur pour le suivi de la qualité de service. Les abonnés expriment à travers leurs plaintes leur degré de satisfaction des services.

## III.7 Les critères de QoS

### III.7.1 Couverture du réseau

La présence du réseau peut être évaluée par l'abonné directement sur son terminal qui affiche le nombre de barrettes indiquant la puissance du signal reçu.

Un faible niveau de champ ou l'absence du champ se traduit par la présence d'une ou deux barrettes sur l'écran du terminal ou par l'indication d'absence du signal. L'indicateur de présence du réseau ou RxLEV renseigne en tout point de couverture, la probabilité d'établir une communication. [11]

Les Recommandations de la norme GSM définissent 64 niveaux de RxLEV allant de -47 dBm à -110 dBm. Quelques exemples typiques sont indiqués dans le tableau suivant :

Types de mesures	Valeurs seuils
Indoor (à l'intérieur d'un bâtiment)	$\geq -67$ dBm
Outdoor (à l'extérieur d'un bâtiment)	$\geq -90$ dBm
Incar (à l'intérieur d'une voiture)	$\geq -87$ dBm

Tableau III.1: Différentes mesures de RxLEV.

Le RxLEV se mesure toujours lorsque le mobile est en mode veille ou "idle". Les principales causes susceptibles d'affecter la qualité de la couverture radio sont :

- Nombre insuffisant de BTS,
- Mauvais paramétrage physique et logique des BTS (tilts, azimuts, puissances, etc.),
- Types d'antennes et qualité d'installation (pertes dans les câbles) ou défaut de maintenance (humidité des feeders, dégradation des câbles, etc.),
- Qualité du terminal de l'utilisateur (sensibilité) ou détérioration de la partie émission /réception RF.[15]

### III.7.2 Qualité des communications ou la qualité vocale [14]

La qualité vocale ou Voice quality désigne l'audibilité, la netteté et la clarté observées dans une communication. C'est un indicateur très important pour l'abonné. Il est souvent indiqué par le taux d'erreurs binaires BER (Bits Errors Rate) et le taux de trames erronées FER (Frames Erasures Rate) chez l'opérateur. Il permet d'apprécier le rapport C/I ou C est la puissance de la porteuse et I la puissance du signal d'interférence.

Le BER est le taux de bits erronés reçus sur le total des bits transmis sur l'interface air. Si ce taux est inférieur à un seuil déterminé pendant toute la communication, l'utilisateur perçoit une communication de bonne qualité.

Le taux de trames erronées renvoie à la notion de collisions destructives sur l'interface A-bis. Une collision destructive se produit lorsque plus de trois bursts GSM consécutifs présentent un niveau d'interférence supérieur au seuil acceptable. Dans ce cas, la trame de parole GSM (transmise sur 8 bursts consécutifs) sera mal reçue par l'utilisateur et la qualité du signal de parole sera dégradée. Les pertes de trames peuvent également se traduire par des microcoupures pendant l'appel provoquant une mauvaise qualité de communication.

L'indicateur principal de qualité vocale est le RxQUAL, il se mesure toujours lorsque le mobile est en mode dédié ou "dedicated" et sa valeur est en fonction du BER. La plage de mesure de qualité varie de 0 (qualité excellente) à 7 (qualité mauvaise). A 7, la qualité est très mauvaise et cela peut engendrer des calls drops. A partir des valeurs 3 et 4, un handover (transfert automatique intercellulaire des paramètres radio d'une communication) est déclenché pour cause "Qualité".

Le tableau suivant indique le niveau de qualité vocale en fonction des taux du BER :

RxQUAL	BIT ERROR RATE (%)	Qualité vocale
0	BER < 0.2%	Excellent
1	BER= [0.2% à 0.4%]	Bonne
2	BER= [0.4% à 0.8%]	Bonne
3	BER= [0.8% à 1.6%]	Dégradée
4	BER= [1.6% à 3.2%]	Dégradée

5	BER= [3.2% à 6.4%]	Mauvaise
6	BER= [6.4% à 12.8%]	Mauvaise
7	BER>12.8%	Très mauvaise

Tableau III.2 : Correspondance entre niveaux de qualité vocale et BER.

Les facteurs de dégradation de la qualité vocale sont :

- Niveau d'interférences externes trop élevées (interférences dues à des émissions par des équipements autres que ceux du réseau).
- Interférence co-canal ou sur canal adjacent trop élevée (mauvais plan de fréquences).
- Mauvaise couverture radio.
- Mauvaise installation des équipements radio,
- Problème de transmission (annuleur d'écho ou mauvaise synchronisation se traduisant par des pertes d'informations, du grésillement dans les communications vocales et des "communications blanches").
- Paramétrage inadéquat du handover.

### III.7.3 Accessibilité au réseau [14]

Elle consiste à réaliser de vrais appels et à tester l'obtention du retour de sonnerie sur le mobile. La communication n'est cependant pas décrochée et donc n'est pas établie exprime le pourcentage d'appels établis avec succès. Est considéré comme étant un appel, toute demande d'établissement d'une communication et qui aboutit soit à un signal d'appel, soit à une annonce parlée ou à une tonalité d'occupation. La norme GSM définit que tout appel doit pouvoir être établi en 10s maximum. De plus, le taux de blocage à l'heure chargée doit être inférieur à 2% (< 2%). Au-delà de 10s, même si l'appel est établi, il est considéré comme échec en termes de performance du système. Les différentes causes pouvant dégrader le Call Setup sont les suivantes :

- Mauvaise couverture radio.
- Congestion radio.
- Disfonctionnement d'équipement.

### III.8 Les KPIs utilisés pour l'évaluation de la QoS

Afin de comprendre comment le comportement des canaux de trafic (TCH) et des canaux de contrôle (SDCCH) affecte la performance du réseau ; on doit analyser le blocage de TCH et de SDCCH lorsque la congestion dans le réseau augmente. Les KPIs mentionné ci-dessous sont fréquemment employés dans le jugement de la performance et évaluation de QoS du réseau :

#### III.8.1 La congestion [15]

La théorie de congestion traite la probabilité que le trafic offert dépasse la capacité du système. Ainsi, lorsque la capacité maximum du système est atteinte, aucun nouvel appel ne peut être accepté. Il y a deux manières de spécifier la congestion. La congestion de temps et congestion d'appel. La congestion de temps est le pourcentage du temps où tous les serveurs du groupe sont occupés. La congestion d'appel ou de demande est une proportion d'appels survenue qui ne trouvent pas un serveur libre. Si le nombre de sources est égal au nombre de serveurs, la congestion de temps est finie, mais la congestion d'appel est zéro. Quand le nombre de sources est grand, la probabilité qu'un nouvel appel survient est indépendante du nombre d'appel déjà en marche et donc la congestion d'appel est égale à la congestion de temps.

Une congestion importante détériore toutes les performances du réseau et doit être minimisée. La congestion peut être observée à court terme quand le trafic important est dû à un événement occasionnel tel que les jours de fêtes, les événements sportifs, les foires etc...., dans ce cas on opte pour des solutions temporaires. Elle peut être observée à long terme, lorsqu'il y a saturation au niveau de la cellule, dans ce cas on doit augmenter la capacité du réseau, selon la demande.

La congestion peut survenir sur le canal de signalisation SDCCH ou sur le canal de trafic TCH ou sur les deux canaux en même temps.

- **Le canal de trafic TCH (TCH Congestion) [12]**

Cette congestion survient lorsque les canaux de trafic nécessaires pour l'établissement d'une communication, sont saturés et deviennent donc indisponibles.

On l'obtient en divisant le nombre de demande de canaux TCH rejetés suite à un manque de ressource par le nombre total de demande des canaux de trafic.

$$\text{congestion TCH} = \frac{\text{TCH rejeté a cause d'une occupation de ressource}}{\text{le nombre total de demande TCH}} \times 100 \quad (\text{III.10})$$

- **Le canal de signalisation SDCCH (SDCCH congestion)** [13]

Cette congestion est due à une saturation au niveau des canaux SDCCH nécessaires pour la signalisation.

Cette valeur est obtenue en divisant le nombre de canaux de signalisation rejeté suite à un manque de ressource par le nombre total de demande des canaux de signalisation.

$$\text{congestion SDCCH} = \frac{\text{SDCCH rejeté a cause d'une occupation deressource}}{\text{le nombre total de demande SDCCH}} \times 100 \quad (\text{III.11})$$

### III.8.2 Catégorie de service GoS

Le GoS est une mesure de congestion exprimée comme la probabilité qu'un appel sera bloqué ou retardé (Le GoS est défini comme le rapport du trafic perdu au trafic offert). L'indicateur grade of service (GoS) introduit par plusieurs auteurs attribue une pondération 10 fois plus supérieure à la probabilité d'interruption d'appel par rapport à la probabilité de blocage.

Cet indicateur s'exprime en fonction de la probabilité de blocage  $P_b$  et la probabilité de coupure de communication  $P_c$  par la formule suivante :

$$\text{GoS} = P_b + 10 * P_c \quad (\text{III.12})$$

La différence entre le GoS et la probabilité de blocage est que le GoS est une mesure du point de vue de l'abonné tandis que la probabilité de blocage est une mesure du réseau ou du point de vue du commutateur. Le GoS est calculé en se basant sur le nombre d'appels rejetés, tandis que la probabilité de blocage sera calculée en observant les serveurs occupés dans le système de commutation. La probabilité de blocage  $B$  est définie comme la probabilité que tous les serveurs soient occupés. [16]

### III.8.3 taux de succès d'établissement d'appels CSSR (Call set up success rate)

Cet indicateur reflète la disponibilité de réseau en termes de probabilité que toutes les ressources soient occupées lors d'une demande de canal, il est aussi appelé taux de blocage.

$$\text{CSSR} = \frac{\text{Nombre d'accès réussi de canal SD}}{\text{nombre total des demandes d'accès de canal SD}} \quad (\text{III.13})$$

### III.8.4 Le taux d'appels réussi CSR (Call success rate) [12]

Le CSR est définie comme étant le taux des appels réussis.

On l'obtient en divisant le nombre total des appels réussis de l'initiation jusqu'à la fin des appels par le nombre total des appels.

$$CSR = CSSR \times (1 - TCH \text{ drop rate}) \times 100 \quad (\text{III.14})$$

Si le CSR présente un taux trop faible, les abonnés ne sont pas susceptibles de faire des appels avec succès.

### III.8.5 Taux de réussite du handover HSR

Le handover est par définition le taux de passage réussi d'une cellule à une autre avec maintien de la communication.

On l'obtient en divisant le nombre total de handover réussi par le nombre total de demande de handover.

$$HSR = \frac{\text{handover réussi}}{\text{nombre total de requêtes}} \quad (\text{III.15})$$

### III.8.6 Taux de coupures d'appel CDR

La coupure d'une communication (call drop) est particulièrement désagréable pour l'abonné qui considère cet évènement plus négatif que la difficulté d'obtenir une ressource.

Les coupures peuvent survenir lors d'un appel sur :

- Le canal TCH appelé TCH Dropped Calls:

Le taux d'appels coupés dans le canal TCH est indiqué par le taux du nombre d'appels coupés sur le nombre d'accès TCH réussi.

$$CDR_{TCH} = \frac{\text{Nombre de TCH coupé après assignement}}{\text{nombre total de TCH assigné}} \quad (\text{III.16})$$

- Le canal SDCCH appelé SDCCH Dropped Calls:

Les coupures d'appels SDCCH indiquent la probabilité que l'appel soit coupé alors que le MS est en

cours de communication.

$$CDR\_SDCCH = \frac{\text{les coupure d'appel SDCCH}}{\text{accès SDCCH réussi} + \text{accès SDCCH réussi dans le canal de signalisation HO}}$$

(III.17)

### III.8.7 Disponibilité des canaux TCH

Quand un équipement ou un système désigné comme étant «disponible» cela sous-entend que le système fonctionne, dans le cas contraire le système est défaillant.

La disponibilité des canaux TCH est reliée à la disponibilité des TRX, si ceux-là sont défaillants, il y aura indisponibilité TCH.

### III.9 Conclusion

La mise au point d'un réseau mobile n'est pas la dernière des tâches pour un opérateur mobile, car celui-ci doit surveiller et optimiser son réseau pour garantir aux clients une bonne qualité de service.

La qualité de service se traduit par des mesures statistiques fournies par des indicateurs de performance appelés KPIs, ces derniers déterminent l'état du réseau et cela en observant le trafic écoulé, les coupures d'appels, la congestion, le taux de HO réussi...

Grace aux KPIs l'équipe d'optimisation détecte et cible les défaillances du réseau et aide l'équipe de maintenance à cerner les pannes.

## **CHAPITRE IV : ANALYSE DE LA QoS DU RESEAU GSM MOBILIS A BEJAIA**

### **IV.1 Introduction**

L'entrée en exploitation d'un réseau cellulaire intervient après la phase de l'ouverture commerciale. L'opérateur commence un nouveau cycle qui consiste à observer la qualité de service et à optimiser le réseau afin améliorer sa performance.

Les ingénieurs d'optimisation analysent les statistiques rassemblées par des indicateurs de performance KPIs pour détecter d'éventuels problèmes dans le réseau. Ensuite ils identifient les causes de ces problèmes et apportent les actions correctives appropriées.

Dans le cadre de notre stage chez l'opérateur mobilis, nous avons pu comprendre la méthodologie d'analyse des ingénieurs d'optimisation. Dans ce chapitre nous allons évaluer la qualité de service du réseau GSM mobilis dans la wilaya de Bejaia.

### **IV.2 Statistiques KPI**

Chez l'opérateur Mobilis, la qualité de service revêt une importance capitale et relève d'un suivi quotidien. Ce suivi se fait par l'évaluation de plusieurs indicateurs de performance chaque matin à partir du logiciel Business Object (BO). Une phase d'analyse minutieuse commence alors pour identifier et localiser les différents dysfonctionnements sur les différentes cellules du réseau et apporter par la suite des corrections adéquates.

Au cours de notre stage, nous avons pu disposer de certaines statistiques KPIs de différentes cellules du réseau GSM Mobilis de la région de Bejaia. Ces KPIs sont :

- Trafic TCH BH.
- Disponibilité des canaux TCH.
- Congestion perçue par l'abonné.
- Taux de coupure d'appels TCH.
- Taux de succès de Handover sortant (outgoing HO).

Nous avons illustré graphiquement les KPIs pour analyser les problèmes survenus sur ces cellules.

### IV.3 Analyse des trois KPIs (Trafic, congestion et disponibilité)

La figure IV.1 représente le diagramme du trafic, du taux de disponibilité et de congestion TCH perçue par l'utilisateur dans la macro cellule CB1. Cette cellule de configuration 434 couvre une zone à forte densité d'abonnés.

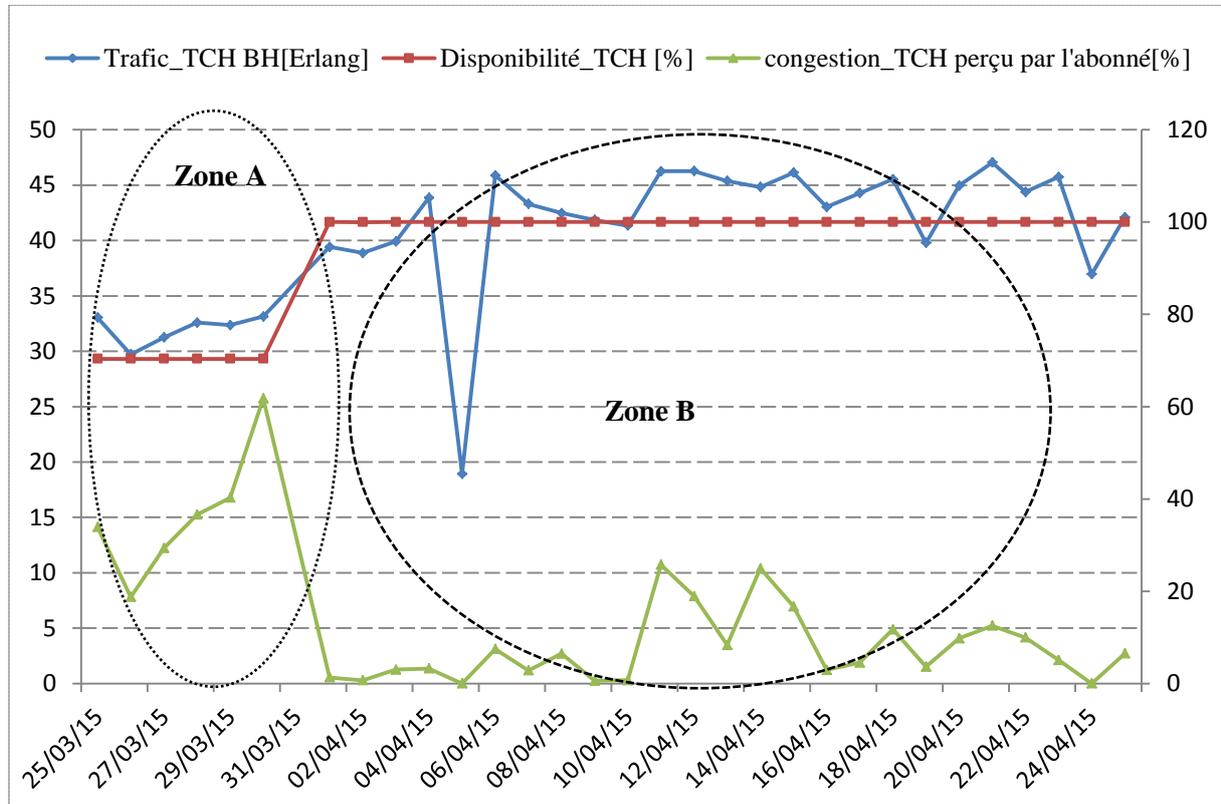


Figure IV-1. Le Diagramme de trafic, de taux de disponibilité et de congestion TCH perçue par l'utilisateur dans la cellule CB1.

Le cas étudié illustre une dégradation de service après un manque de disponibilité des canaux de trafic TCH due à l'arrêt d'un TRX (zone A). Cette indisponibilité a rendu l'accès au réseau très difficile (pic de 60% de demandeur n'ayant pas été servi), et cela est traduit par une forte congestion perçue par les usagers. Après réparation la situation est revenue à la normale.

On constate que malgré la plaine disponibilité (dans la zone B), il y a toujours une congestion qui varie entre 0% et 25%, cela est dû à l'augmentation de la demande de service.

Pour servir tous les abonnés on doit augmenter la capacité du réseau en faisant une extension 1800DCS, ou bien on implante carrément un nouveau site qui aura comme objectif de couvrir la même zone congestionnée.

Ce dernier résultat est obtenu à partir de la table d'Erlang B (voir l'annexe). Dans ce cas le pic du trafic TCH est de 47 Er, en regardant la table d'Erlang B cela correspond à 58 circuit (canaux TCH). Ce qui est équivalent à environ 8 TRXs. Afin de faire disparaître la congestion de cette cellule la capacité doit être carrément doublée.

En plus de tous ce qu'on a cités plusieurs raisons peuvent causer une congestion :

-problème de transmission : il peut y avoir un taux d'erreur dans le lien entre la BTS et BSC (interface Abis) qui provoque un blocage des Times slots au niveau des TRX.

- problème d'énergie.

-problème de climatisation.

Dans le but d'évaluer la qualité de service vis avis de la congestion perçue par les usagers et la disponibilité des ressources dans la wilaya de Bejaïa, on a sélectionné quelques cas qui sont illustrés ci-dessous. Les quatre diagrammes suivant représentent le taux de disponibilité et de congestion perçue par les usagers dans quelques cellules de la wilaya de Bejaïa.

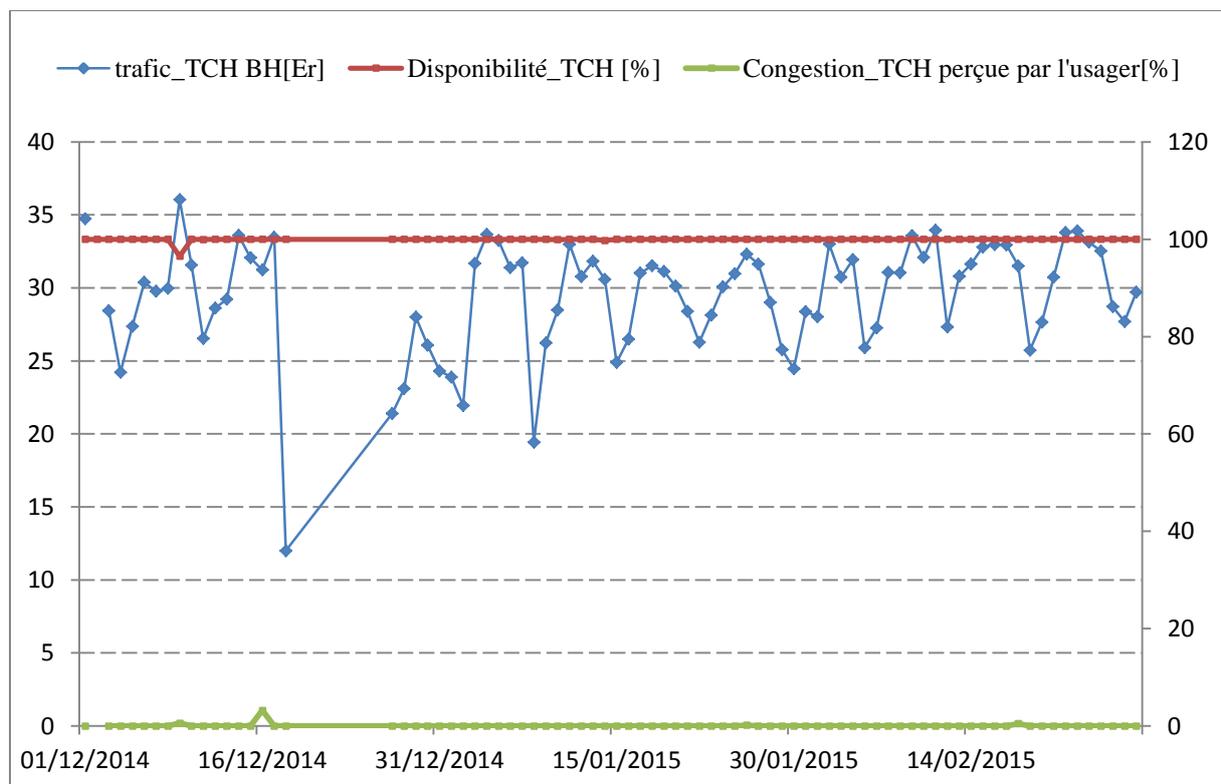


Figure IV-2: Diagramme de disponibilité TCH, trafic TCH et de congestion perçue par l'utilisateur pendant la saison d'hiver dans la cellule CB2.

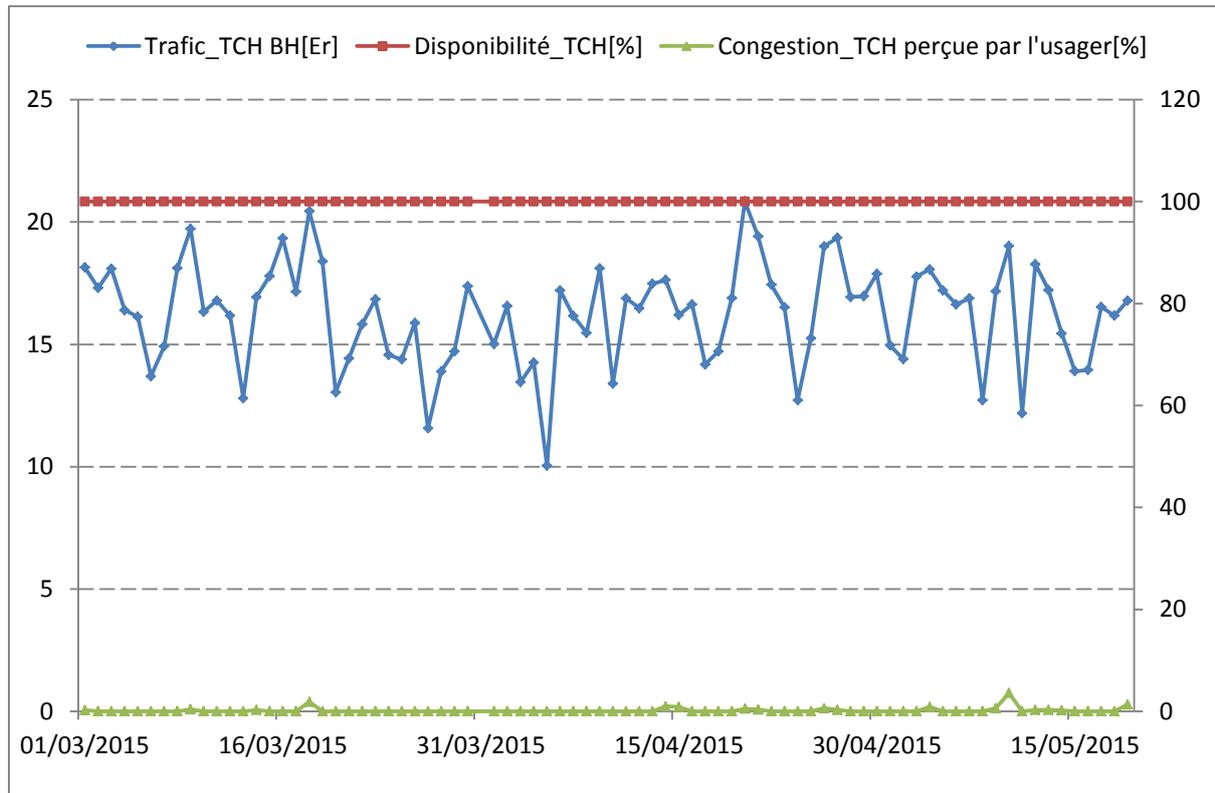


Figure IV- 3: Diagramme de la disponibilité TCH, du trafic TCH et de la congestion perçue par l'utilisateur pendant la saison de printemps dans la cellule CB1.

Dans ces deux figures la disponibilité est de 100% et la congestion perçue par les usagers est nulle, cela veut dire que toutes les demandes ont été servis. Ces KPIs sont dans les normes.

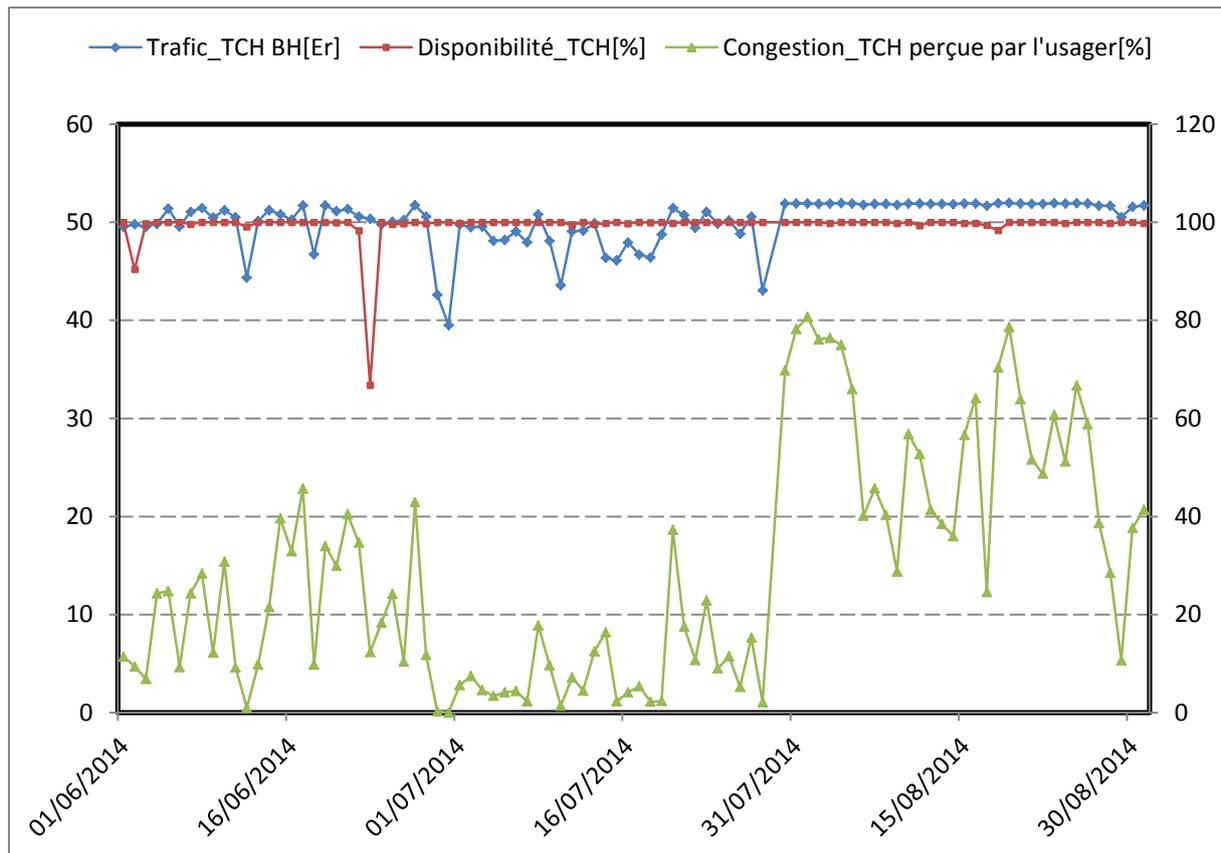


Figure IV- 4: diagramme de la disponibilité TCH, du trafic TCH et de la congestion perçue par l'utilisateur pendant la saison d'été dans la cellule CB3.

On remarque que la disponibilité est de 100% pour un trafic tournant autour de 50 Er, sauf pour la journée du 23/06/2014 où le manque de disponibilité atteint 66.7%, cette valeur est très inférieure au seuil, cela est dû à une panne et réparation au niveau des TRXs.

On observe aussi une forte congestion tous le long du trimestre alors que les canaux TCHs sont disponibles. La seule façon de remédier à cette congestion est d'augmenter la capacité du réseau.

Remarque : le problème le plus fréquent en cette saison est le problème de climatisation, en cas d'arrêt des climatiseurs, la température augmente. Lorsqu'elle atteint les 80°, la BTS s'arrête complètement.

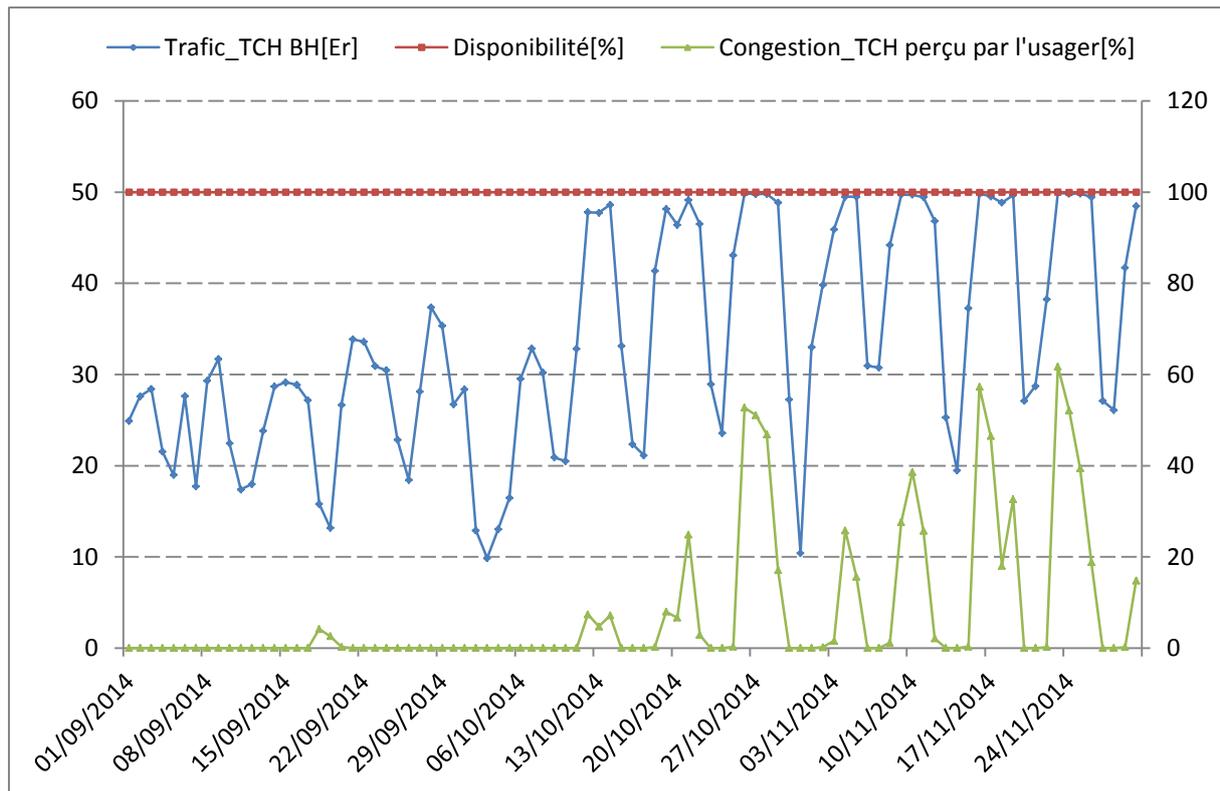


Figure IV- 5: diagramme de la disponibilité TCH, du trafic TCH et de la congestion perçue par les usagers pendant la saison automne dans la cellule CB4.

On remarque que du 1/9/2014 jusqu'au 11/10/2014 la congestion perçue par les usagers est nulle pour un trafic tournant autour de 27 Er. Partant 11/10/2014 le trafic augmente soudainement et atteint 47 Er et reste dans une moyenne de 40 Er. L'augmentation de la demande sur le trafic a causé une forte congestion atteignant les 61%. Pour y remédier il faut augmenter la capacité du réseau.

### Remarque

Il existe une relation proportionnelle entre la disponibilité des ressources TCH et le trafic TCH. Et aussi entre le trafic et la congestion perçue par les usagers. L'augmentation du trafic entraîne une augmentation de la congestion, cela veut dire qu'il n'y a plus de ressources disponibles pour servir tous les abonnés se trouvant dans la cellule. La seule façon d'y remédier est d'augmenter la capacité du réseau soit par l'ajout de TRX ou implanter de nouvelles BTS.

L'analyse de ces trois indicateurs nous renseigne sur la capacité du réseau et nous aide à satisfaire les clients.

- **Compréhension de certains problèmes en étudiant le comportement des abonnés**

On peut simplement expliquer certains problèmes, juste en observant le comportement des abonnés. Nous avons illustré un exemple ci-dessous. Des statistiques ont été prises en aout 2014 dans une des plages de Bejaia.

La figure IV.6 représente le diagramme de trafic et de taux de disponibilité et de congestion TCH perçu par l'utilisateur dans la macro cellule CB5.

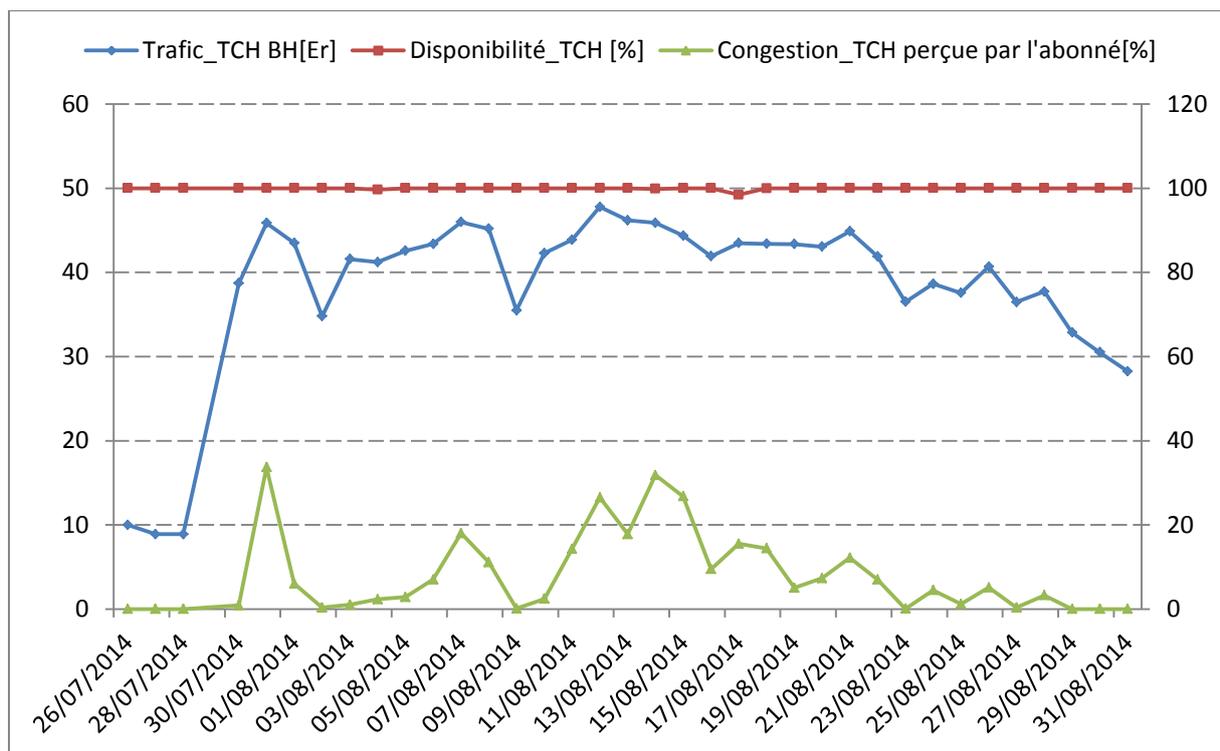


Figure IV-6. Le diagramme de trafic et des taux de disponibilité et de congestion TCH dans la cellule CB5.

On remarque que la disponibilité des ressources est de 100% tous le long du mois. Le trafic a augmenté subitement de 10 Er à 47Er, cette augmentation du trafic a entraîné une congestion TCH perçue par l'usage. Cela est dû à la période estival, puisque la cellule est située sur le littoral, donc il y a une forte densité d'abonnés.

Pour réduire cette congestion, les ingénieurs d'optimisation optent pour une solution temporaire, en plaçant une BTS mobile près de cette zone.

#### IV.4 analyse de l'indicateur taux de coupure d'appels

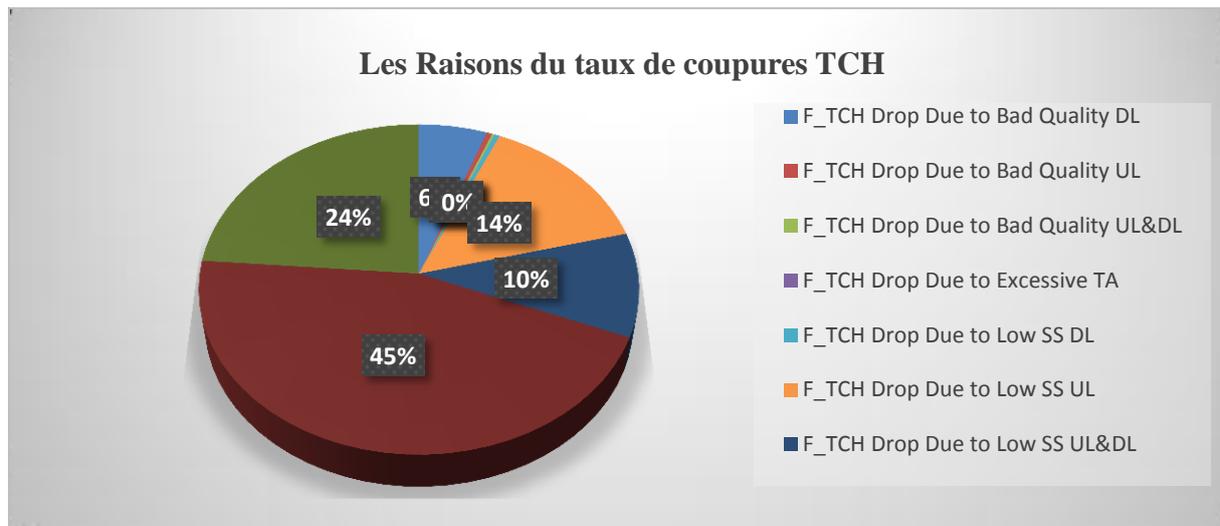
TCH Drop (coupure d'appel) pourraient être classés en trois sous-classes:

1. La dégradation des liens (liaison montante et descendante): due soit la dégradation de la force du signal qui tombe près de ou inférieure à la sensibilité de la station de base (environ -110 dBm) ou de téléphone mobile (environ -104dBm) ou de la dégradation de la qualité des liens (liaison montante et descendante) souvent dues à des interférences.
2. L'excès de TA ( $TA > 63$ ).
3. d'autres raisons.

Pour mesurer le taux et la nature des coupures TCHs on utilise les compteurs cité dans le tableau ci-dessous. Nous avons pris comme exemple la cellule CB6 dans la journée du 15/04/2015 où le taux de coupure est de 12% et le nombre total est de 472, cela dépasse largement le seuil (2%). Cette exemple est illustré dans le tableau IV.1 et représenté dans la figure IV.7.

	Nombre de coupure	Pourcentage [%]
TCH Drop Due to Bad Quality DL	26	6
TCH Drop Due to Bad Quality UP	2	0,4
TCH Drop Due to Bad Quality DL&UP	1	0,2
TCH Drop Due to Excessive TA	0	0,4
TCH Drop Due to Low SS DL	2	0
TCH Drop Due to Low SS UP	68	14
TCH Drop Due to Low SS DL&UP	48	10
TCH Drop due to Other	213	45
TCH Drop due to Suddenly Lost Conection	112	24

Tableau IV.1 les raisons et les nombres de coupures TCH Dans la journée du 15/04/2015 dans la cellule CB6.



La figure IV.7: diagramme du nombre de coupures TCH dans la journée du 15/04/2015 dans la cellule CB6.

D'après le diagramme 45% des coupures d'appels ont été causé par un problème enregistré au niveau du lien entre BTS et BSC (interface A Bis), cela est dû à la dégradation du lien de transmission (niveau de réception variable), D'où les coupures soudaines (suddenly lost connection) à hauteur de 24%. Donc le problème lié au lien de transmission contribue à 69% dans ces coupures.

- **Coupures dues à un faible signal UL (Low Signal Strength UL)**

Dans l'interface radio Um la liaison montante UL est plus faible que la liaison descendante DL. Ainsi les coupures d'appels causées par un faible signal sur le UL seront généralement beaucoup plus grandes que celle causées par un faible signal DL.

L'optimisation en UL peut être faite soit par :

1. L'optimisation de la couverture radio :

- ✓ Hauteur d'antennes appropriée.
- ✓ Inclinaison d'antennes et azimute.
- ✓ Additions de plusieurs sites (antenne RF).
- ✓ Utilisations des micros cellules.
- ✓ utilisation de TMA (Tower Mounted Amplifier) pour amplifier le signal UL reçu.

## 2. Le Contrôle des défauts Hardware:

- ✓ Antenne défectueuse.
- ✓ ROS (taux d'onde stationnaire) élevé en raison d'une mauvaise connexion des câbles RF, des connecteurs et des câbles endommagés, présence de l'eau dans les câbles d'alimentation RF externe.

### • Coupures dues à un faible signal DL (Low Signal Strength DL)

Ce genre de coupures sont généralement dues à :

- ✓ Une faible puissance de sortie au niveau des BTS.
- ✓ Une atténuation due à la distance parcourue (pathloss).
- ✓ Des effets de masques (shadowing effects).
- ✓ Des évanouissements (fading) par propagation multi trajet.
- ✓ Les problèmes d'équipements cités précédemment.

Afin d'assurer un signal DL de bonne qualité, il est recommandé de soulever les contraintes citées en haut :

- ✓ Augmenter la puissance à la sortie de TRX.
- ✓ Utiliser des antennes à gain élevé.

### • Coupures dues à une mauvaise qualité de signal

Lorsque la qualité de signal dans le sens montant (MS-BTS) ou dans le sens descendant (BTS-MS) ou dans les deux sens en même temps, est mauvaise, cela provoque des coupures d'appels.

La mauvaise qualité de signal est due :

- ✓ Principalement à des interférences (C/I, C/A)
- ✓ Des interférences co-canal ou canal adjacent.
- ✓ Problème de couverture (une baisse de signal induit des interférences).

Pour y remédier :

1. Vérifiez les interférences co-canal et le brouillage des canaux adjacents et faire les changements de fréquences concernées par l'interférence.
2. Améliorer la couverture en vérifiant la hauteur tilt des antennes et rajouté d'autre site si nécessaire.

• **Coupures dû à une perte soudaine de connexion, valeur excessive TA et autres raisons**

Lorsque la valeur du timing advance est excessive, cela veut dire que l'abonné est à une grande distance de sa cellule serveuse, sachant que un TA est approximativement égale à 500m et que le TA maximum entre la BTS et l'abonné est de 63 (31,3Km), ce qui provoque des coupures de liaisons MS-BTS. On remarque que dans notre cas cette raison a une valeur de zéro, il n'y a aucune coupure due à un excessive TA.

Drop calls due to others : Les raisons de ces coupures n'ont pas d'indicateurs ou de compteurs qui peuvent les déterminer, c'est aux ingénieurs que revient la tâche de les trouver. Mais généralement elles sont dues à un problème de transmission.

Les pertes soudaine de connexion : sont dues à beaucoup de raisons, par exemple lorsque le mobile du MS est déchargé pendant la communication ça sera comptabilisé comme perte soudaine de connexion.

Les figures ci-dessous montrent la variation du taux de coupures TCH dans les cellules CB1 pendant une saison et la cellule CB2 pendant une année.

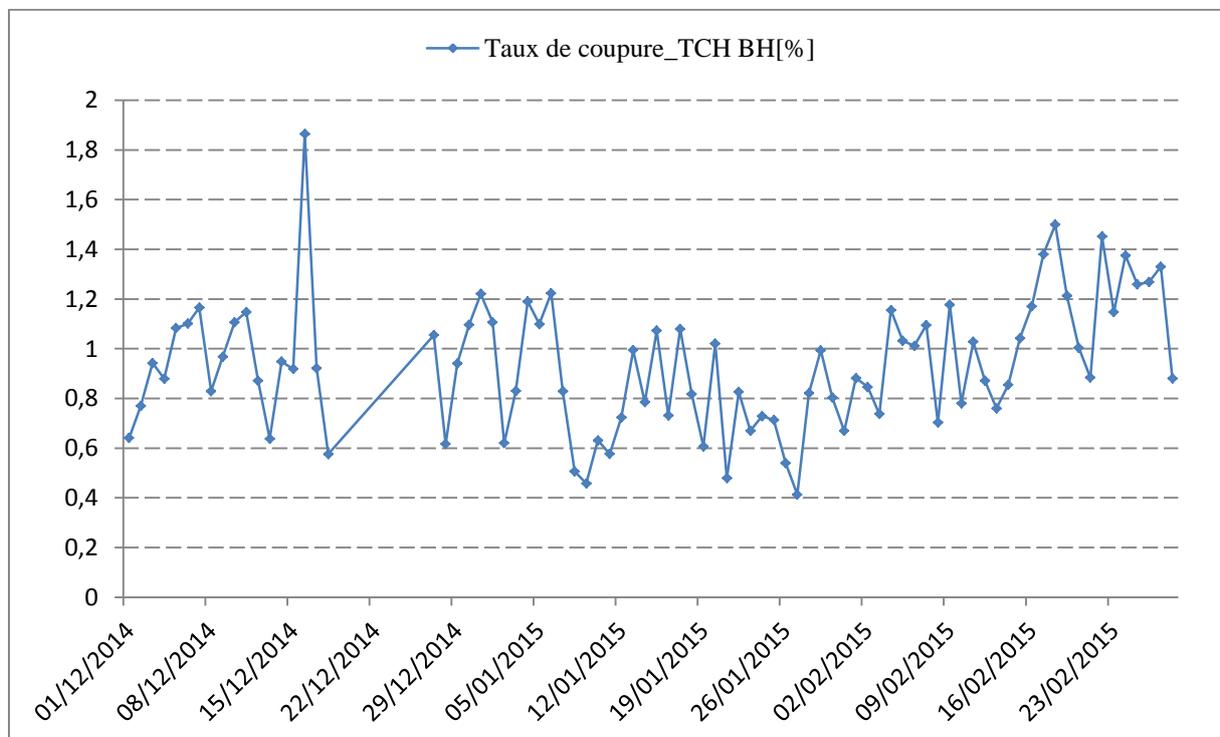


Figure IV-8: diagramme du taux de coupures TCH durant une saison dans la cellule CB1.

On remarque que le taux de coupure est strictement inférieur au seuil pendant la saison d'hiver. Ce qui représente plutôt de bons résultats.

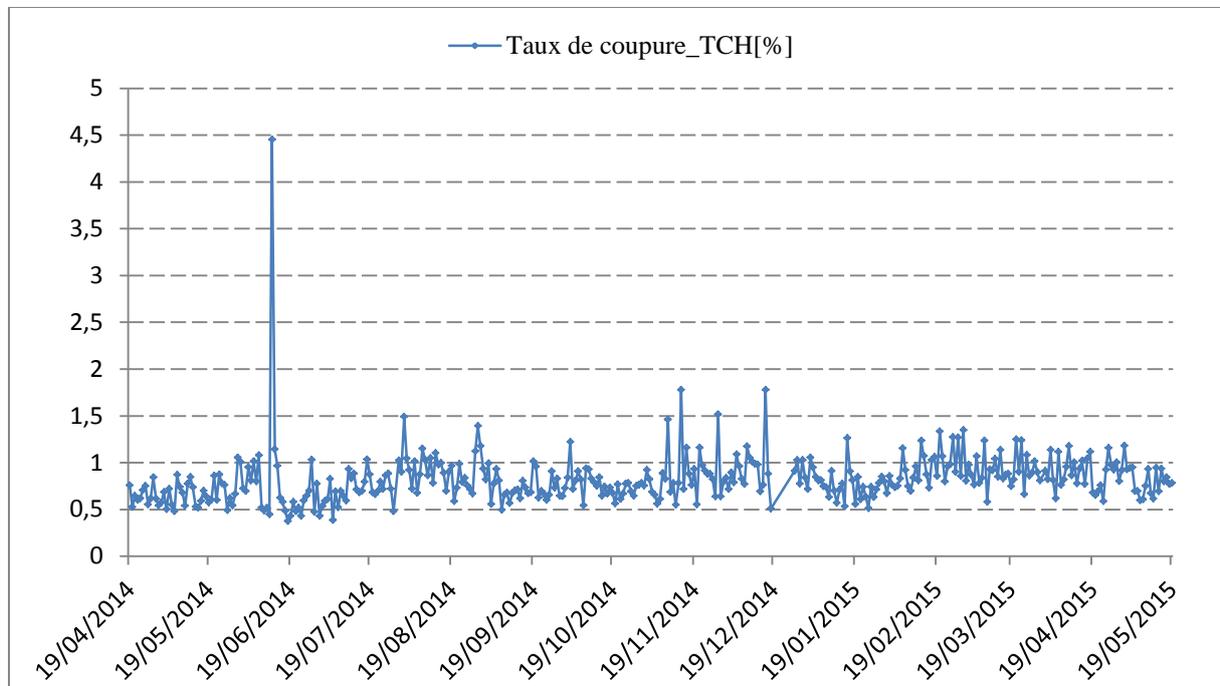


Figure IV-9 : diagramme du taux de coupures TCH durant une année dans la cellule CB2.

On remarque que le taux de coupure est inférieur au seuil sauf pour la journée du 12/06 ou il atteint 4.5%. On déduit que pour cette cellule, le taux de coupures annuelles est dans les normes.

### Remarque

On remarque que dans la plupart des cellules étudiées, le taux de coupures TCH est inférieur au seuil, donc ce critère de performance est dans les normes et répond aux exigences des abonnés.

## IV.5 analyse de l'indicateur (taux de succès de HO)

La figure IV.10 représente le taux de succès de Handover sortant de la cellule CB7 vers les cellules adjacentes dans la journée 10/05/2015.

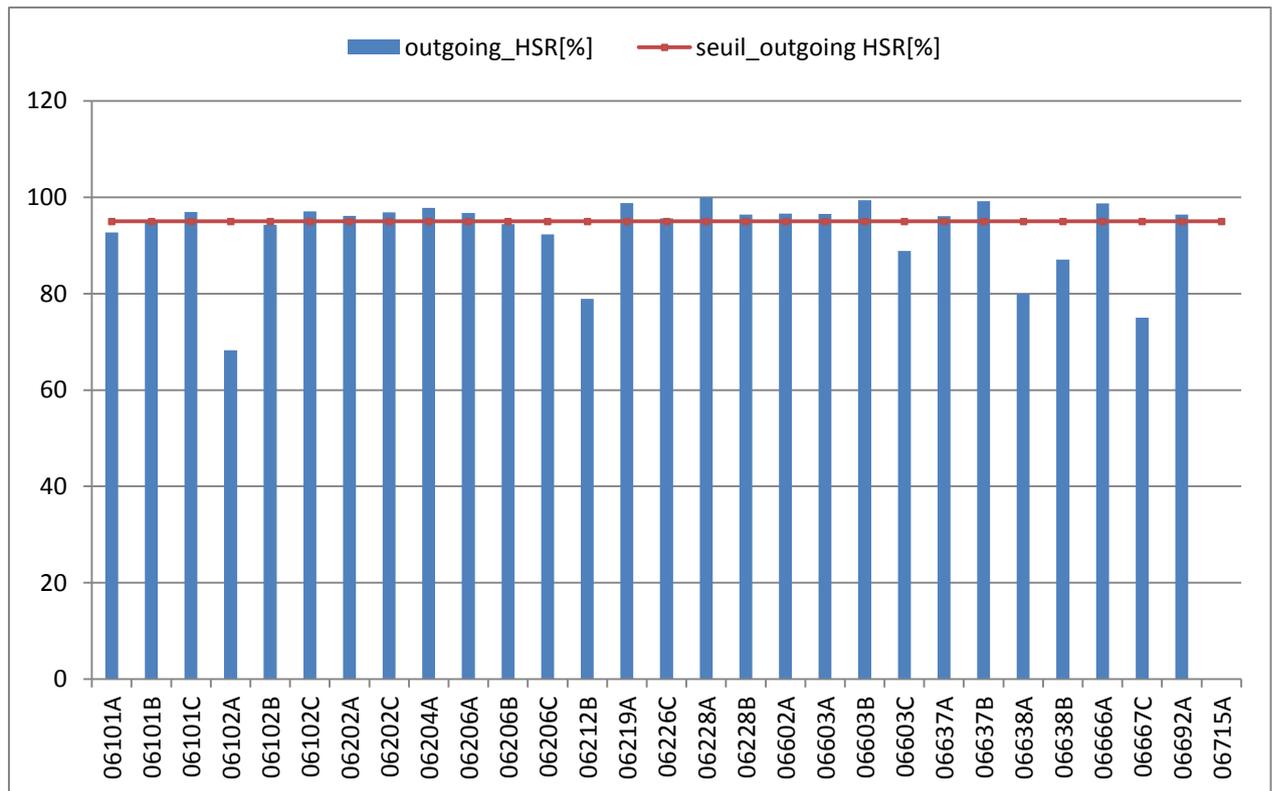


Figure IV.10 : diagramme du taux de succès de Handover outgoing dans la journée du 10/5/2015 dans la cellule CB7.

On remarque que le taux de succès de HO sortant de la cellule CB6 vers quelques cellules adjacentes est très inférieur au seuil (95%), cela veut dire que beaucoup de HO ont échoué, donc l'abonné reste dans la même cellule serveuse alors que le BSC a décidé un HO, cette situation provoque une coupure spontanée de la communication.

La cause principale de la dégradation du HSR outgoing est la congestion dans les cellules réceptrices (soit l'indisponibilité des ressources, indisponibilité des canaux TCH et SDCCH).

## IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé à l'analyse de quelques KPIs de différentes cellules du réseau Mobilis à Bejaïa, nous avons pu identifier les causes des anomalies, et au final rassembler quelques solutions pour y remédier. D'après les résultats de notre analyse, nous pouvons dire que le réseau Mobilis est dans les normes et répond belle et bien aux exigences de leurs abonnés.

L'analyse des KPIs est perpétuelle dans le service d'optimisation pour maintenir le réseau en bon état de fonctionnement afin d'offrir une bonne qualité de service aux abonnés.

**L**a qualité de service des réseaux de télécommunications est mesurée en termes de paramètres qui sont significatifs du point de vue des fournisseurs de réseaux et de services, et qui sont utilisés pour la conception des systèmes, la configuration des équipements, le dimensionnement du réseau, la maintenance, etc. de manière à obtenir la satisfaction et du fournisseur et de l'utilisateur.

A cet effet, et en relation avec les critères de perception de l'utilisateur, un certain nombre de paramètres KPI de performance réseau ont été définis. L'exploitation de statistiques KPI quotidiennes permet à des équipes d'optimisation de corriger les manquements ou défaillances constatées sur le réseau.

Nous avons présenté dans ce mémoire une analyse d'un échantillon de KPI s'étalant presque sur une année et ayant trait à la congestion, au trafic voix, à la disponibilité des ressources radio, aux causes de coupures des appels et taux de réussite des handovers sur beaucoup de cellules du réseau GSM Mobilis à Béjaia. Nos investigations nous ont amenées à vérifier de la qualité certaine du service voix de Mobilis. Cela atteste que la technologie GSM est parfaitement maîtrisée par les techniciens de Mobilis et que la migration actuelle vers des réseaux de troisième génération, apportera à coup sûr plus de satisfaction aux utilisateurs aussi bien du point de vue du contenu que du point de vue de la qualité des services permis par des réseaux 3G.

Cette étude nous a ainsi permises d'approfondir nos connaissances dans le domaine des réseaux de télécommunications notamment sur les réseaux GSM, de comprendre le rôle des canaux logiques dans l'acheminement des informations de l'émetteur jusqu'au récepteur, de comprendre les notions de qualité de service et de performances réseau, et de nous initier aux méthodologies d'analyse et d'optimisation utilisées chez les opérateurs de téléphonie radio-mobile.

## Bibliographie

- [1] Guy. Pujole ‘‘ Les Réseaux ‘’, édition 2008 EYROLLES.
- [2] Cédric DEMOULIN, Marc VAN DROOGENBROECK, ‘‘Principe de Base du fonctionnement du réseau GSM’’. <http://www.ulg.ac.be/telecom>.
- [3] Joachim Tisal’’ Réseaux GSM évolutions GPRS, I-Mode et WAP’’, 4ème édition, DUNOD 2003.
- [4] Sami Tabbane ‘‘ Ingénierie des réseaux cellulaires’’, Edition Hermès 2002.
- [5] André Perez’’ Architecture des réseaux de télécommunications’’, Édition Hermès, 2002
- [6] AL Agha, Pujolle et Vivier’’ Réseaux de mobiles et réseaux sans fil’’, édition Eyrolles 2001.
- [7] Maurice Charbit ‘‘Système de communication et théorie de l’information’’. Edition Lavoisier 2003.
- [8] Sami Tabbane et Mohamed Tahar Missaoui ‘‘Pratique de l’ingénierie des réseaux cellulaires du GSM/GPRS à UMTS’’, édition Hermès science, Lavoisier, 2006.
- [9] Georges Fiche Gérard Hébuterne ‘‘Trafic et performances Des réseaux de télécoms’’, édition hermès science.
- [10] Institut Belge des Services Postaux et Des Télécommunications ‘‘les indicateurs de qualité des services’’.
- [11] Mahaman Moustapha Kadri, Oummal Kharyr, projet fin d’étude ‘’ Analyse par les indicateurs de performance des différents dysfonctionnements au sein d’un réseau cellulaire GSM’’,2013.
- [12] Agence des télécommunications de côte d’ivoire ‘‘ Qualité de service des réseaux mobiles GSM’’.
- [13] V.S.Pavan Kumar, Dr.B.Anuradha, Vivek, Naresh/ International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622.
- [14] Nancy Lee YIMBERE’’ Implémentation de nouvelles méthodes dans le sous-système radio afin d’améliorer la qualité de service radio GSM: cas du réseau GLO Mobile Bénin’’ Université Africaine de technologie et de management, memoire2009.

[15] Harold BAMBY ‘’**Etude de la qualité de service dans les réseaux mobiles GSM**’’  
Institut supérieur d’informatique - Licence professionnelle 2012, mémoire online.

[16]P.Gnanasivam’’Telecommunication switching and networks’, second Edition.

## Annexe

### ➤ Table d'Erlang

Time slots	GOS 2
1	0,02040863
2	0,223464966
3	0,602210999
4	1,092254639
5	1,657142639
6	2,275863647
7	2,935394287
8	3,627075195
9	4,344749451
10	5,083999634
11	5,841567993
12	6,614685059
13	7,401565552
14	8,200241089
15	9,009590149
16	9,828491211
17	10,65586853
18	11,49087524
19	12,33306885
20	13,18145752
21	14,03599548
22	14,89588928
23	15,76091003
24	16,6305542
25	17,50469208
26	18,3828125
27	19,26473236
28	20,15042114
29	21,03933716
30	21,93145752
31	22,82688141
32	23,72485352
33	24,62562561
34	25,52905273
35	26,43505096
36	27,3430481
37	28,25360107
38	29,16622925
39	30,08074951
40	30,99731445
41	31,91582489
42	32,83589172
43	33,75811005

44	34,68182373
45	35,60703278
46	36,5337677
47	37,46208954
48	38,39172363
49	39,32276917
50	40,25497437
51	41,18886566
52	42,12384033
53	43,06007385
54	43,99736023
55	44,93591309
56	45,87554932
57	46,81608582
58	47,75778198
59	48,7004776
60	49,64401245
61	50,58869171
62	51,53437805
63	52,48069382
64	53,42822266
65	54,37610626
66	55,32495117
67	56,27515411
68	57,22558594
69	58,17716217
70	59,1292572

➤ **Le Roaming « l'itinérance » :**

Pour être joint n'importe quand et n'importe où, un abonné mobile peut utiliser sa ligne GSM (avec le même MSISDN) dans un autre réseau mobile d'un autre opérateur à l'extérieur du pays, cette possibilité est assurée après un commun accord entre les opérateurs.

➤ **Le BER :** est le taux de bits erronés reçus sur le total des bits transmis sur l'interface air. Si ce taux est inférieur à un seuil déterminé pendant toute la communication, l'utilisateur perçoit une communication de bonne qualité. Le taux de trames erronées renvoie à la notion de collisions destructives sur l'interface A-bis. Une collision destructive se produit lorsque plus de trois burst GSM consécutifs présentent un niveau d'interférence supérieur au seuil acceptable. Dans ce cas, la trame de parole GSM (transmise sur 8 burst consécutifs) sera mal reçue par l'utilisateur et la qualité du signal de parole sera dégradée. Les pertes de trames peuvent également se traduire par des microcoupures pendant l'appel provoquant une mauvaise qualité de communication.