

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

présenté par

Belkacemi Oussama

&

Nacer Abderrezak

pour l'obtention du diplôme de Master en Électronique spécialité Réseaux et
Télécommunication

Thème

Implémentation et simulation d'une chaîne de transmission GSM sous ADS

Proposé par : Mr DJEBARI Mustapha

Année Universitaire 2012-2013

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre promoteur Mr: Djebari Mustapha, pour son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

ملخص:

تهدف هذه الأطروحة إلى تنفيذ سلسلة ارسال واستقبال جي أس أم في البرنامج ADS ، الذي يوفر مكتبة خاصة لنظام جي أس أم، بدءا بإعطاء معلومات عامة عن شبكة جي أس أم ، وبعد ذلك قمنا بدراسة واجهة الراديو لإظهار الخطوات المختلفة التي تحدث أثناء تنفيذ هذه السلسلة (التشفير، فك التشفير، تعديل، الاستخلاص، والتداخل...). أخيرا، وبعد الانتهاء من تنفيذ السلسلة تحققنا من حسن سيرها من خلال عرض كل النتائج المحصل عليها.

كلمات المفاتيح: ADS ، جي أس أم، سلسلة ارسال واستقبال، واجهة الراديو.

Résumé :

Ce mémoire a pour objectifs d'implémenter une chaîne de transmission GSM (liaison montante et liaison descendant) sous le logiciel ADS, qui fournit une bibliothèque spéciale pour le système GSM, en commençant par des généralités sur le réseau GSM, et puis on étudie l'interface radio afin de démontrer les différentes étapes de l'implémentation de cette chaîne (codage, décodage, modulation, démodulation, entrelacement...). Enfin et après l'implémentation de la chaîne, on vérifie le fonctionnement de la chaîne en exposant tous les résultats obtenus.

Mots clés: ADS, GSM, chaîne de transmission, l'interface radio.

Abstract :

This thesis aims to implement a chain of transmission (GSM uplink and down link) in the ADS software, which provides a special library for the GSM system, starting with general information on the GSM network, and then examines the radio interface to show the different steps that occur during the implementation of this string (encoding, decoding, modulation, demodulation, interleaving ...). Finally, after the completion of the chain, We check the operation of the chain by exposing all the results.

Keywords: ADS, GSM, chain of transmission, the radio interface.

Listes des acronymes et abréviations

AB:	Access Burst
ADS:	Advanced Design System
AGCH:	Access Grant Channel
AUC:	Authentication Center
BCCH:	Broadcast Control CHannel
BCH:	Broadcast CHannel
BSC:	Base Station Controller
BSIC:	Base Station Identity Code
BSS:	Base Station Subsystem
BTS:	Base Transceiver Station
CBCH:	Cell Broadcast Channel
CDMA:	Code Division Multiple Access
DCS:	Digital Cellular Télécommunications System
EDGE:	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EIR:	Equipement Identification Register
ETSI:	European Telecommunications Standards Institute
FACCH:	Fast Associated Control CHannel
FB:	Frequency correction Burst
FCCH:	Frequency Correction CHannel
FDD:	Frequency Division Duplex
FDMA:	Frequency Division Multiple Access
GMSK:	Gaussian-filtered minimum shift keying
GP:	Guard Period
GPRS:	General Packet Radio Service

GSM:	Global System for Mobile Communications
HLR:	Home Location Register
HO:	Handover
IMSI:	International Mobile Subscriber Identity
IMEI:	International Mobile Equipment Identity
ISDN:	Integrated Services Digital Network)
MAP:	Mobile Application Part
ME:	Mobile Equipment
MS:	Mobile Station
MSC:	Mobile-services Switching Center
MSISDN:	Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network
MSK:	minimum shift keying
MSRN:	Mobile Station Roaming Number
NB:	Normal Burst
NMC:	Network Management Centre
NSS:	Network Switching Subsystem
OMC:	Operations and Maintenance Centre
PCH:	Paging Channel
PDC:	Personal Digital Cellular
RACH:	Random Access Channel
SACCH:	Slow Associated Control CHannel
SB:	Synchronisation Burst
SCH:	Synchronisation CHannel
SDCCH:	Standalone Dedicated Control CHannel
SIM:	Subscriber Identity Module
TB:	Tail Bits

TCH: Traffic Channel

TMSI: Temporary Mobile Subscriber Identity

VLR: Visitor Location Register

BER: Bit Error Ratio

Table des matières

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

Chapitre 1 Principe du Réseaux GSM
--

1.1	Introduction	2
1.2	Historique.....	2
1.3	Architecture générale des réseaux GSM.....	3
1.3.1	Sous-système radio (BSS).....	4
1.3.2	Le sous-système réseau (NSS).....	6
1.3.3	Sous système d'exploitation et de maintenance OSS.....	8
1.4	Les interfaces GSM.....	8
1.5	Le Système Cellulaire	10
1.6	Transfert intercellulaire (handover).....	11
1.6.1	Handover Intra-Cellulaire.....	11
1.6.2	Handover Intra-BSC.....	11
1.6.3	Handover Intra-MSC.....	12
1.6.4	Handover Inter-MSC.....	12
1.7	L'acheminement des appels	13
1.7.1	L'appel d'un abonné du réseau GSM vers un abonné RTCP/RNIS.....	13
1.7.2	L'appel d'un abonné du réseau RTCP/RNIS vers un abonne du réseau GSM	13
1.7.3	Appel sortant à destination d'un autre mobile.....	14
1.8	Conclusion.....	14

Chapitre 2 Interface radio

2.1	Introduction	15
2.2	Les fréquences allouées	15
2.3	Typologie des paquets	16
2.3.1	Le burst d'accès.....	16
2.3.2	Le burst de synchronisation	17
2.3.3	Le burst normal	17
2.3.4	Le burst de correction de fréquence.....	17
2.3.5	Le burst de bourrage	17
2.4	Canaux logiques	18
2.4.1	Classification des canaux logiques	19
2.4.2	La voie balise	19

2.4.3	Type des canaux logiques.....	19
2.5	Transmission sur l'interface radio.....	24
2.5.1	Codage de la parole.....	24
2.5.2	Le codage des canaux.....	24
2.5.3	Détection d'erreurs par CRC	25
2.5.4	L'encodage convolutionnel	25
2.5.5	L'entrelacement	28
2.5.6	Méthodes d'accès multiples	29
2.5.7	Modulation.....	33
2.6	La gestion du signal.....	34
2.6.1	Les phénomènes de dégradation du signal entre le portable et le BTS	34
2.6.2	Les solutions pour améliorer le signal.....	36
2.7	Conclusion.....	37

Chapitre 3 Conception et implémentation de la chaîne de transmission GSM dans ADS
--

3.1	Introduction	38
3.2	Généralités sur ADS.....	38
3.3	introduction d'ADS.....	39
3.3.1	Démarrage d'une session.....	39
3.3.2	Conception	40
3.3.3	Créer un Design.....	40
3.3.4	Ouvrir un Design.....	40
3.4	Simulation dans ADS	41
3.4.1	Simulation d'un design.....	41
3.4.2	Visualisation des résultats.....	42
3.4.3	Optimisation d'un design	42
3.5	Conception de la chaîne de transmission	43
3.5.1	Schéma en bloque de la chaîne.....	43
3.5.2	Implémentation de la chaîne dans ADS	44
3.6	Conclusion.....	54

Chapitre 4 Résultats de la simulation
--

4.1	Introduction	55
4.2	Conclusion.....	67
	Conclusion générale.....	68

Liste des figures

Figure 1- 1: Architecture générale d'un réseau GSM.....	4
Figure 1- 2: Exemples des BTS (BTS normale et micro BTS).....	5
Figure 1- 3: Sous-système radio (BSS).....	6
Figure 1- 4: Le sous-système réseau (NSS).....	7
Figure 1- 5: Interfaces GSM.....	9
Figure 1- 6: Division cellulaire (topologie 7)	10
Figure 1- 7: Les types des handovers	12
Figure 2- 1: Schéma représentant les fréquences de travaille en GSM.....	15
Figure 2- 2: Structures des 5 types de burst définis par la norme GSM	18
Figure 2- 3: Utilisation des codes BSIC dans un motif à 7 cellules	20
Figure 2- 4: Format du burst RACH	21
Figure 2- 5: Exemple de codage convolutionnel	26
Figure 2- 6: Schéma d'entrelacement rectangulaire.....	28
Figure 2- 7: Insertion des données dans un burst.....	29
Figure 2- 8: Schéma type d'un partage FDMA	30
Figure 2- 9: Technique d'accès multiple FDMA	30
Figure 2- 10: Schéma d'un partage FDMA avec bande de garde.....	31
Figure 2- 11: Principe de base du TDMA.....	32
Figure 2- 12: Technique d'accès multiple TDMA	32
Figure 2- 13: Répartition du burst en "time slots"	33
Figure 2- 14: Modulation de fréquence d'un signal (FSK).....	33
Figure 2- 15: Modulation MSK continuité de la phase.....	34
Figure 3- 1: Fenêtre de base	39
Figure 3- 2: Barre d'outils de la fenêtre de base.....	39
Figure 3- 3: Fenêtre design - schématique.....	40
Figure 3- 4: Fenêtre design –schematic	41
Figure 3- 5: Barre d'outils de fenêtre design	42
Figure 3- 6: Fenêtre d'affichage des résultats.....	42
Figure 3- 7: Barre d'outils de la fenêtre d'affichage des résultats.....	43
Figure 3- 8: Architecteur en bloque d'une chaîne de transmission.....	43
Figure 3- 9: Chaîne de transmission réalisée	52
Figure 4- 1: Signal analogique de parole (N1).....	55
Figure 4- 2: Signale numérique (N2)	56
Figure 4- 3: Le signal après le codage TCH (N11)	56
Figure 4- 4: Schéma représentatif des signaux d'entré de TDMA	58
Figure 4- 5: Schéma représentatif de signale de sortie TDMA(N21)	58
Figure 4- 6: diagramme de constellation	58
Figure 4- 7: Spectre de modulation GMSK.....	59

Figure 4- 8: Signal avant et après l'amplification	59
Figure 4- 9: Les effets de propagation dans un canal	60
Figure 4- 10: Translation fréquentiel	60
Figure 4- 11: Comparaison de signale avant le codage et après décodage	61
Figure 4- 12: Signal analogique de parole de sortie (N45).....	62
Figure 4- 13: Nombre de BE et le BER de 1er cas dans problème 1	63
Figure 4- 14: Nombre de BE et le BER de 2ème cas dans problème 1.....	63
Figure 4- 15: Nombre de BE et le BER de 3ème cas dans problème 1.....	64
Figure 4- 16: Nombre de BE et le BER de 1er cas dans problème 2.....	65
Figure 4- 17: Nombre de BE et le BER de 2ème cas dans problème 2.....	65
Figure 4- 18: Nombre de BE et le BER de 3ème cas dans problème 2.....	66
Figure 4- 19: L'effet du filtre	66
Figure 4- 20: Chaîne utilisée pour traiter les problèmes précédant.....	67

Liste des tableaux

Tableau 1- 1: Les différentes générations des réseaux radio mobiles.....	3
Tableau 1- 2: Les différentes interfaces de réseau GSM	9
Tableau 1- 3: Récapitulatif des différents types de cellules	11
Tableau 2- 1: Bandes utilisées par les systèmes GSM 900 et DSC 1800.	16
Tableau 2- 2: Polynômes générateurs des CRC utilisés dans GSM.	25
Tableau 2- 3: Polynômes définissant les schémas de codage convolutionnel	27
Tableau 3- 1: Les paramètres de la simulation	54
Tableau 4- 1: Format d'un burst normale bien détaillé	57
Tableau 4- 2: Représentation du rôle du bloc removestealing flags	61

Introduction générale

Le réseau **GSM** (Global System for Mobile communications) constitué au début du 21^{ème} siècle est le standard de la téléphonie mobile le plus utilisé en Algérie. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G). Les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. C'est le premier service de téléphonie mobile universel, satisfaisant les exigences d'interconnexion et de mobilité tout en divisant le terrain en zones de couverture dites « cellules ». Il a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles (GSM) et abonnés du réseau téléphonique commuté (RTC – réseau fixe).

Dans ce travail, nous décrivons le contexte général de notre étude portant sur le réseau GSM (implémentation d'une chaîne de transmission GSM). Nous l'avons réparti en quatre chapitres dont le premier explique l'architecture et le fonctionnement d'un réseau GSM.

Alors que dans le deuxième chapitre, nous présentons l'interface radio et la transmission sur cette dernière.

Le troisième chapitre décrit le logiciel ADS que nous avons utilisé dans notre étude ainsi que son rôle et la conception et l'implémentation de la chaîne de transmission.

Et enfin le quatrième chapitre décrit les résultats obtenus par la simulation de la chaîne de transmission

Chapitre 1:

Principe du réseau

GSM

Chapitre 1 Principe du Réseaux GSM

1.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente l'architecture du réseau GSM, ainsi que le concept du système cellulaire, la division cellulaire et le transfert intercellulaire avec l'établissement des appels dans un réseau GSM.

1.2 Historique

Les années 70 ont vu émerger de nombreux réseaux de radiotéléphonie analogique désignés par la suite par le terme de systèmes de 1^{ère} génération. L'incompatibilité subsistante entre ces différents réseaux, principalement liée aux différences de normes et de bandes de fréquences, a rendu impossible la création de réseaux à vocation internationale.

Pour ces raisons, des démarches ont été entreprises vers l'établissement d'une norme unique pour les communications avec les mobiles.

En 1982, la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) fixa des bandes de fréquences communes à toute l'Europe dans la bande des 900 MHz. Un groupe de normalisation, GSM, fut installé la même année, dont la tâche était d'établir un système de communication mobile numérique.

En 1990, une nouvelle norme, DCS 1800, représentant une adaptation de la norme GSM, fut établie pour supporter les réseaux de télécommunications dans la bande des 1800 MHz. Les systèmes numériques de la 2^{ème} génération existants actuellement sont:

GSM, DCS1800 (Europe) ou encore IS-95 (USA) et PDC (Japon).

De nouvelles normes sont actuellement à l'étude désignées par le terme de systèmes radio-mobiles de 4^{ème} et 5^{ème} génération

Les différentes générations de communications mobiles sont présentées dans le tableau suivant :

Génération	Acronyme	Intitulé	Débit indicatif en bits/s Théorique/pratique/usuel
1G	Radiocom 2000	Radiocom 2000 (analogique) de France télécom, SFR 2000 (analogique) de SFR	Analogique
2G	GSM (échanges de type voix uniquement)	Global system for mobile communication	9.05kbits
2.5G	GPRS (échange de données sauf voix)	Global Paquet Radio Service	171.2kbits / 50kbits / 17.9kbits
2.75G	EDGE (basé sur réseau GPRS existant)	Enhanced Data Rate for GSM Evolution	384k /64 kbits/-
3G	UMTS	Universal mobile telecommunication	1.9Mbits /144kbits rurale,384k urbain, 2Mbits point fixe / -
3.5G ou 3G+Super 3G	HSDPA (dérivé de l'UMTS)	High speed Downlink paquet Access	14.4Mbits / 3.6Mbits (version 5) 7.2Mbits version 6) /-
3.9G	LTE	Long Term Evolution	326Mbits / 40Mbits voire 80Mbits après /-
4G	LTE-Advanced	Long Term Evolution Advanced	1G à l'arrêt, 100Mbits en mouvement /-/-

Tableau 1- 1: Les différentes générations des réseaux radio mobiles

1.3 Architecture générale des réseaux GSM

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes:

Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur.

Le sous-système réseau ou d'acheminement.

Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

Les éléments de l'architecture d'un réseau GSM sont repris sur le schéma de Figure 1-1.

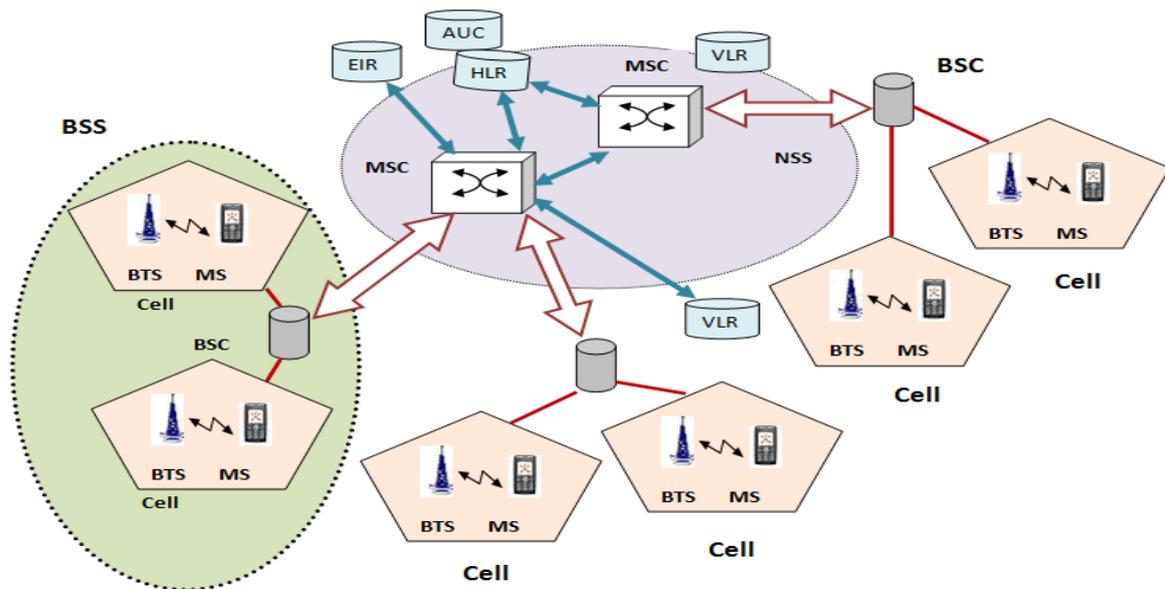


Figure 1- 1: Architecture générale d'un réseau GSM

1.3.1 Sous-système radio (BSS)

Le sous-système radio gère la transmission radio. Il comprend les parties suivantes:

a Le mobile

Le téléphone et la carte SIM sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements.

b Fonctions de la BTS (Base Transceiver Station)

Une BTS est composée de plusieurs émetteurs/récepteurs appelés TRX. Sa capacité maximale est de 8 porteuses lui permettant de gérer une soixantaine de communications en parallèle. La BTS s'occupe des aspects physiques de la transmission: la modulation et démodulation des signaux, le codage correcteur d'erreurs, le chiffrement, le multiplexage TDMA.

Elle réalise aussi un ensemble de mesures radio permettant le contrôle de la qualité d'une communication en cours. Ces informations sont directement envoyées au BSC.



Figure 1- 2: Exemples des BTS (BTS normale et micro BTS)

On distingue deux types de BTS:

- Les BTS normales, dont les stations de base classiques utilisées dans les systèmes cellulaires avec des équipements complémentaires installés dans des locaux techniques et des antennes sur les toits.
- Les micro-BTS sont utilisés pour couvrir les zones urbaines denses avec des micros cellules. Il s'agit d'équipements de faible taille et de faible coût, qui permettent de mieux couvrir un réseau dense comme le quartier d'une ville à forte affluence.

c Fonctions du BSC (Base Station Controller)

Un BSC contrôle une ou plusieurs BTS. Il est chargé de la gestion de la ressource radio: allocation des canaux et procédure de handover. Il exploite les mesures fournies par les BTS afin de régler les puissances d'émission des BTS et des mobiles. Il constitue de plus le lien entre le sous-système radio BSS (BTS +BSC) et le sous-système d'acheminement ou réseau fixe, NSS (Network SubSystem).

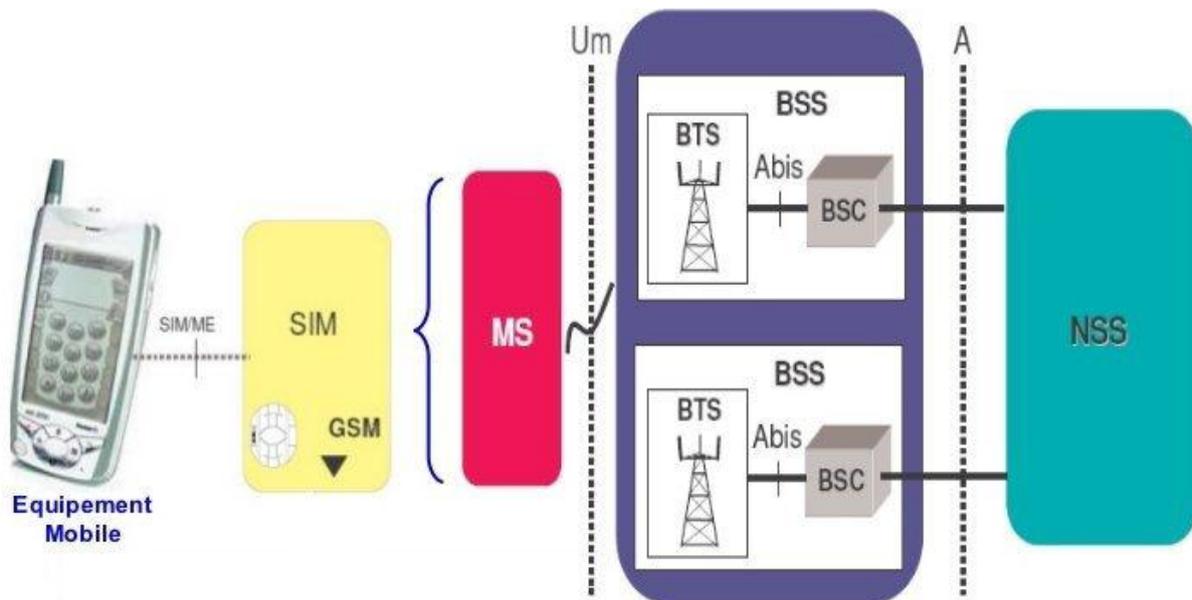


Figure 1- 3: Sous-système radio (BSS)

1.3.2 Le sous-système réseau (NSS)

Il prend en charge les tâches d'établissement des communications et de gestion de la mobilité (Localisation). Dans le réseau GSM, le sous-système NSS contient un centre de commutation MSC (Mobile-services Switching Center) ainsi que des bases de données: VLR pour Visitor Location Register et HLR pour Home Location Register.

a Fonctions du MSC

Il effectue toutes les fonctions nécessaires à la gestion des appels de provenance ou à destination des abonnés localisés dans sa zone. Il gère aussi les informations liées à la mobilité des clients, utilisant pour cela les enregistreurs de données VLR et HLR.

b Fonctions du HLR

La base de données HLR contient des informations concernant le profil des abonnés. A chaque abonné est associé une et une seule entrée dans le HLR désignant la description de ses droits ainsi que son numéro international IMSI et son numéro d'abonné mobile MSISDN. En plus il tient à jour une information qui pointe sur un VLR, lequel indique la zone de localisation où se trouve l'abonné actuellement.

c Fonctions du VLR

Dans la base de données d'une VLR on ne retrouve que les informations nécessaires à l'établissement des appels en provenance ou à destination d'abonnés se trouvant sur son aire. Ces informations consistent en l'identité internationale de l'abonné, IMSI, l'identité temporaire TMSI et la zone de localisation où l'abonné s'est manifesté pour la dernière fois.

d Centre d'authentification AUC (Authentication Center)

Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit pouvoir s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un intrus. Le centre d'authentification remplit cette fonction de protection des communications. L'AUC mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et chiffrer les communications.

e Enregistreur de l'identité des équipements EIR (Equipment Identity Register)

Le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré. Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un identifiant unique IMEI (International Mobile station Equipment Identity) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal.

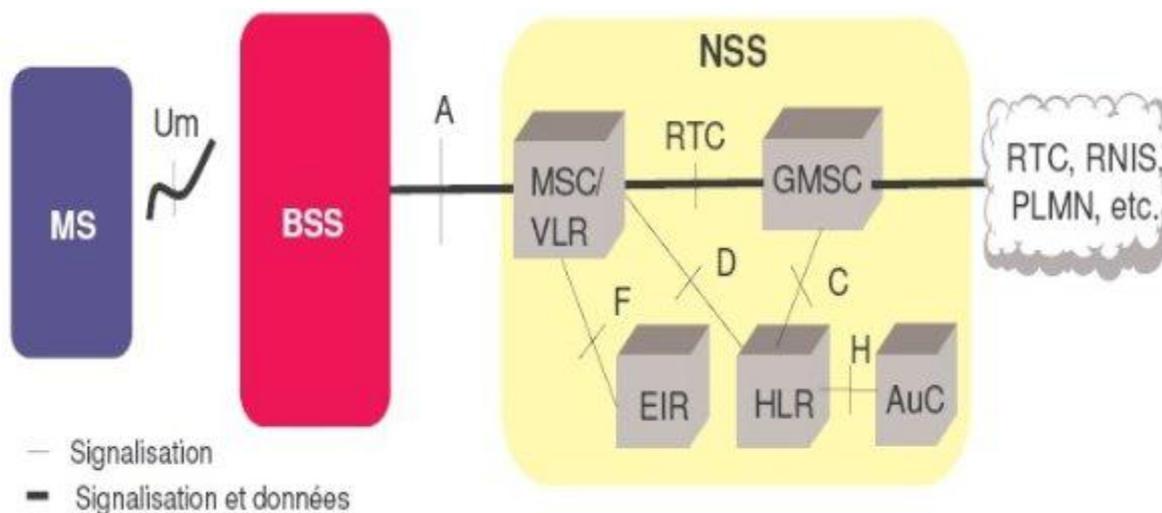


Figure 1- 4: Le sous-système réseau (NSS)

1.3.3 Sous système d'exploitation et de maintenance OSS

a L'administration du réseau

L'administration du réseau comprend toutes les activités qui permettent de mémoriser et de contrôler les performances d'utilisation et les ressources de manière à offrir un niveau correct de qualité aux usagers.

On distingue 5 fonctions d'administration:

- L'administration commerciale
- La gestion de la sécurité
- L'exploitation et la gestion des performances
- Le contrôle de configuration du système
- La maintenance

b Centre d'opération et de maintenance OMC (Opération and Maintenance Center)

Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion: la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique.

Le réseau de maintenance technique s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau. Il gère notamment les alarmes, les pannes, la sécurité,... Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert des données, totalement dissocié du réseau de communication GSM.

c Centre Réseau et Gestion NMC (Network and Management Center)

Cette organisation a été définie pour permettre aux opérateurs télécoms de gérer la multiplicité des équipements (émetteurs, récepteurs, bases de données, commutateurs...) et des fournisseurs. Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé [1].

1.4 Les interfaces GSM

Un réseau GSM englobe des interfaces facilitateurs d'échange de l'information. Le schéma ci-dessous les représente.

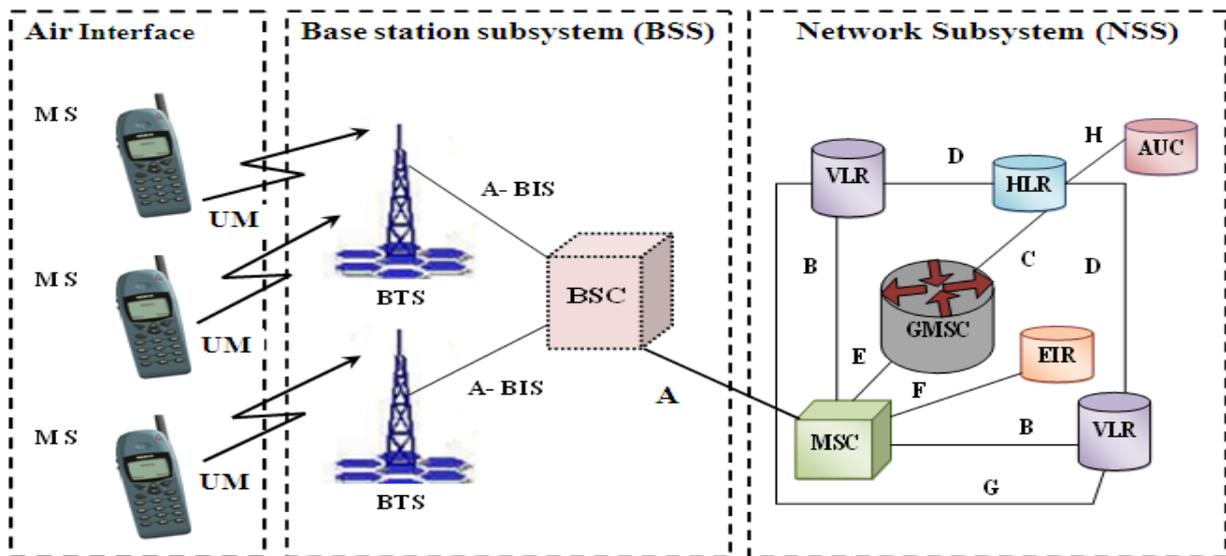


Figure 1- 5: Interfaces GSM

Dans le tableau suivant on a cité les différentes interfaces que nous avons vu dans le schéma précédant (figure: I-5) en définissant leurs localisations ainsi que l'usage de chacune d'elles:

Nom	Localisation	Utilisation
Um	MS_BTS	Interface radio
Abis	BTS_BSC	Permet le contrôle des matériaux radio et attribution des fréquences radio dans la BTS
A	BSC_MSC	Utilisé pour établir une communication entre le BSS et le MSC
C	GMSC_HLR	Interrogation HLR pour appel entrant
		Interrogation HLR pour message court entrant
D	VLR_HLR	Gestion des informations d'abonné et de localisation.
		Services supplémentaires
E	MSC_GMSC	Transport des messages courts
	MSC_MSC	Exécution des handovers
G	VLR_VLR	Gestion des informations d'abonné
F	MSC_EIR	Vérification de l'identité du terminal
B	MSC_VLR	Utilisé chaque fois que le MSC doit avoir accès aux données relatives à un MS trouvant dans sa zone
H	HLR_AUC	Echange des données d'authentications

Tableau 1- 2: Les différentes interfaces de réseau GSM

1.5 Le Système Cellulaire

Dans un système cellulaire, la région couverte est divisée en cellule, comme représente la Figure 1-6. Une cellule est de forme hexagonale mais dépend en réalité de la topographie de la région qui est servie par l'antenne de la cellule.

Au centre d'une cellule on trouve un ou un ensemble d'émetteurs-récepteurs correspondant à une bande de fréquences.

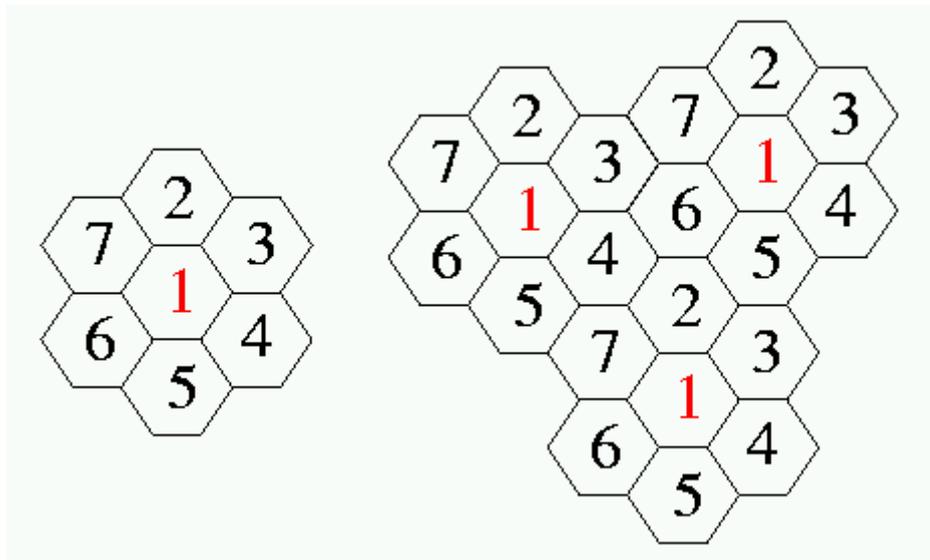


Figure 1- 6: Division cellulaire (topologie 7)

Dans la conception d'un réseau cellulaire, il faut considérer les aspects suivants:

- La topographie (bâtiments, collines, montagnes,...)
- La densité de la population (ou de communications) pour établir la dimension de cellule.
- Deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser la même bande de fréquence afin d'éviter les interférences. La distance entre deux cellules ayant la même bande doit être de 2 à 3 fois le diamètre d'une cellule.

La taille des cellules peut varier entre 0.5 et 35 km et dépend de la densité d'utilisateurs et de la topographie.

Les cellules sont regroupées en bloc (appelé motif).

Le nombre de cellules dans un bloc doit être déterminé de manière à ce que le bloc puisse être reproduit continuellement sur le territoire à couvrir. Typiquement, le nombre de cellules par bloc est de 3, 5, 7.

La forme et la dimension des blocs et le nombre de cellules fonctionnent selon le nombre de fréquences (canaux) disponibles [2].

❖ Réutilisation des ressources

Par rapport au système de première génération, les cellules étant de tailles plus petites, la puissance d'émission est plus faible et le nombre d'utilisateurs peut être augmenté pour une même zone géographique. C'est grâce au principe de réutilisation des fréquences qu'un opérateur peut augmenter la capacité de son réseau.

En effet, il lui suffit de découper une cellule en plusieurs cellules plus petites et de gérer son plan de fréquences pour éviter toute interférence.

Il y a ainsi toute une nomenclature spécifique pour classer les cellules en fonction de leurs tailles (macro, micro, pico....) [3].

Les différents types de cellules	Le diamètre de chaque cellule
macro-cellule	500 m à plusieurs Km (milieu rural)
micro- cellule	100 m à 500 m (milieu urbain)
pico- cellule	Moins de 100 m (bâtiments)

Tableau 1- 3: Récapitulatif des différents types de cellules

1.6 Transfert intercellulaire (handover)

Au cours d'un déplacement, il est possible que le MS sorte d'une cellule. Il est nécessaire alors de changer de BTS tout en maintenant la communication: c'est le transfert intercellulaire ou handover. Ce processus oblige tous les mobiles GSM à écouter les stations de base des cellules voisines en plus de la station de base de la cellule dans laquelle il se trouve.

Le Handover permet le transfert automatique des voies de parole entre cellules pour maintenir une communication établie, lorsqu'un mobile se déplace. Il existe quatre types de transfert intercellulaire (handover) en GSM :

1.6.1 Handover Intra-Cellulaire: Dans une même cellule, une interférence peut rendre impossible la transmission à une certaine fréquence. Le BSC peut alors décider de libérer le canal radio courant et en établir un nouveau.

1.6.2 Handover Intra-BSC: Il s'agit d'un scénario de handover typique. La station mobile se déplace d'une cellule à l'autre mais reste sous le contrôle du même BSC. Le BSC

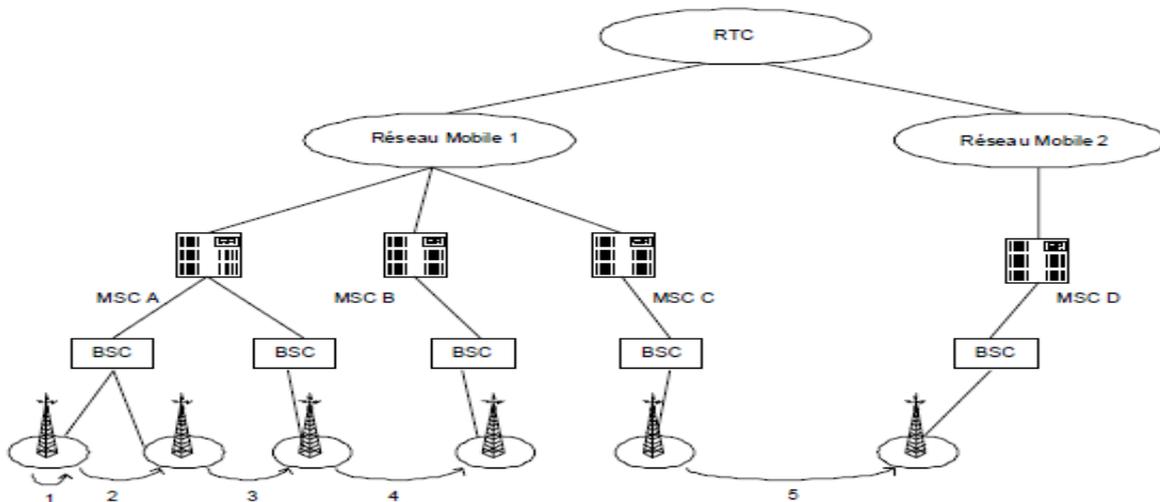
affecte un nouveau canal radio dans la nouvelle cellule et libère l'ancien. Dans le cas d'un handover qui est interne à un BSS, le contrôle est donc assuré entièrement par le BSC, qui utilise les mesures effectuées par la station mobile et qui lui sont rapportées. Le MSC est juste informé du résultat de l'opération.

1.6.3 Handover Intra-MSC: Un BSC ayant la capacité de contrôler un nombre limité de cellules (généralement quelques dizaines), le réseau GSM doit permettre le handover entre cellules contrôlées par des BSC différents.

1.6.4 Handover Inter-MSC: Un handover peut être nécessaire entre deux cellules appartenant à différents MSC. Les deux MSC réalisent alors le handover. Les deux types de handover (Intra-MSC et Inter-MSC) sont contrôlés par le MSC. Les mesures radio effectuées par la station mobile sont reportées au BSC, prétraitées par celui-ci et transmises au MSC. Ayant reçu du BSC l'indication qu'un handover externe est nécessaire, le MSC décide du moment et de la destination de ce handover.

❖ **Roaming (Handover Inter-réseaux):** Il existe enfin un cinquième type de handover qui intervient dans l'interconnexion à un autre réseau comme lors d'un passage dans un autre pays qui entraîne la connexion à un autre réseau d'accueil du nouveau pays.

Différents handovers



1: HO Intra-cellulaire, 2: HO Intra-BSC, 3: HO Intra-MSC, 4: HO Inter-MSC, 5: Roaming

Figure 1- 7: Les types des handovers

1.7 L'acheminement des appels

Deux types d'appels sont présentés pour illustrer les interactions des équipements du réseau:

1.7.1 L'appel d'un abonné du réseau GSM vers un abonné RTCP/RNIS

Pour émettre un appel, un abonné du réseau GSM compose le numéro de son correspondant, sa demande arrive à la BTS de sa cellule, puis elle traverse le BSC pour aboutir dans le commutateur du réseau, ou l'abonné est d'abord authentifié puis son droit d'usage vérifié. Le commutateur MSC transmet alors l'appel au réseau public et il demande au contrôleur BSC de réserver un canal Pour la future communication. Lorsque l'abonné demandé décroche son téléphone, la communication est établie.

1.7.2 L'appel d'un abonné du réseau RTCP/RNIS vers un abonne du réseau GSM

Quand un abonné du réseau public RTCP/RNIS appelle un abonne du réseau GSM, les traitements sont plus nombreux et différents. Lorsqu'un abonne du réseau RTCP/RNIS numérote, aucun contrôle n'est exercé a priori par le réseau, sinon pour une éventuelle restriction des appels départs. Le numéro demandé est analysé par le commutateur dont dépend l'abonné, puis la demande est aiguillée vers le réseau GSM pour interroger le HLR du numéro d'annuaire demandé, afin de localiser le destinataire. Le HLR d'un abonné du réseau mobile est la base de données capable de délivre les informations pour localiser l'abonné et connaitre l'état de son terminal (libre, occupé, hors service). Quand le demandé est libre, le réseau interroge le VLR dans lequel il est inscrit pour connaitre la cellule et le contrôleur de station BSC de la zone qui lui peut joindre le demandé. Le réseau est alors en mesure de commander la sonnerie du terminal demandé et de réserver un chemin entre le demandeur et le demandé. Afin de commander la sonnerie du terminal demandé, le contrôleur BTS de la zone fait diffuser un avis d'appel par l'ensemble de station BTS de sa zone vers le terminal demandé, lequel écoute le réseau et reconnaît son numéro, ce qui active la sonnerie du terminal c'est seulement après la pris de ligne par l'abonné demandé que le réseau affecté définitivement les ressource réservées à la communication dans le même temps les bases de données VLR et HLR mettent à jour l'état de l'abonné [4].

1.7.3 Appel sortant à destination d'un autre mobile

Un abonné mobile numérote "0778456821"; le MSC de rattachement invoque sa fonction GMSC. Le GMSC interroge le HLR qui contient le profil de l'utilisateur mobile appelé, afin de connaître la localisation du mobile. Le HLR connaît l'adresse géographique de la dernière localisation du mobile, c'est à dire le numéro du VLR.

Le HLR demande au VLR de lui fournir un MSRN (numéro de réacheminement).

Le VLR fournit au HLR un numéro de MSRN de la forme 33 6 43 56 78 90

, numéro qu'il est possible d'acheminer à travers le RTCP.

Le HLR retourne le numéro de MSRN au GMSC. La première partie de ce numéro est utilisée pour joindre, à travers le RTCP national ou international, le MSC où se trouve actuellement le mobile. Dans notre exemple, c'est le préfixe 6 43 56 du MSRN qui permet de joindre le MSC où est localisé le mobile.

Via le RTC, le GMSC achemine un message au MSC concerné (celui auquel est rattaché le mobile destinataire). Le mobile est "alerté" pour qu'il commute en interne la tonalité de "sonnerie" et si le demandé décroche la communication est alors établie.

1.8 Conclusion

Dans cette partie nous avons étudié l'architecture général du réseau GSM en décrivant ses trois sous-systèmes (BSS, NSS, OSS) en suite nous avons discuté les interfaces de réseau GSM de réseau GSM comme nous avons attiré l'attention sur le système cellulaire ainsi que le transfert inter cellulaire et nous avons terminé par expliqué l'établissement d'un appelle dans un réseau GSM.

Chapitre 2:

Interface

Radio

Chapitre 2 Interface radio

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons étudié le fonctionnement du GSM sur l'interface radio, en abordant les différents types de canaux logiques ainsi que les techniques d'accès aux canaux (TDMA et FDMA), ainsi que le traitement de parole.

2.2 Les fréquences allouées

Un système radio mobile a besoin d'une partie de spectre radio pour fonctionner. La bande passante allouée au GSM est divisé en deux sous bande égaux importantes, par le duplexage fréquentiel FDD Ces deux sous bande sont séparées par un intervalle fréquentiel qui n'est pas attribué au système, dit écart duplex.

Cette séparation entre les deux sous bandes permet de distinguer entre les bandes montantes et les bandes descendantes ce qui permet le filtrage et la séparation des voies.

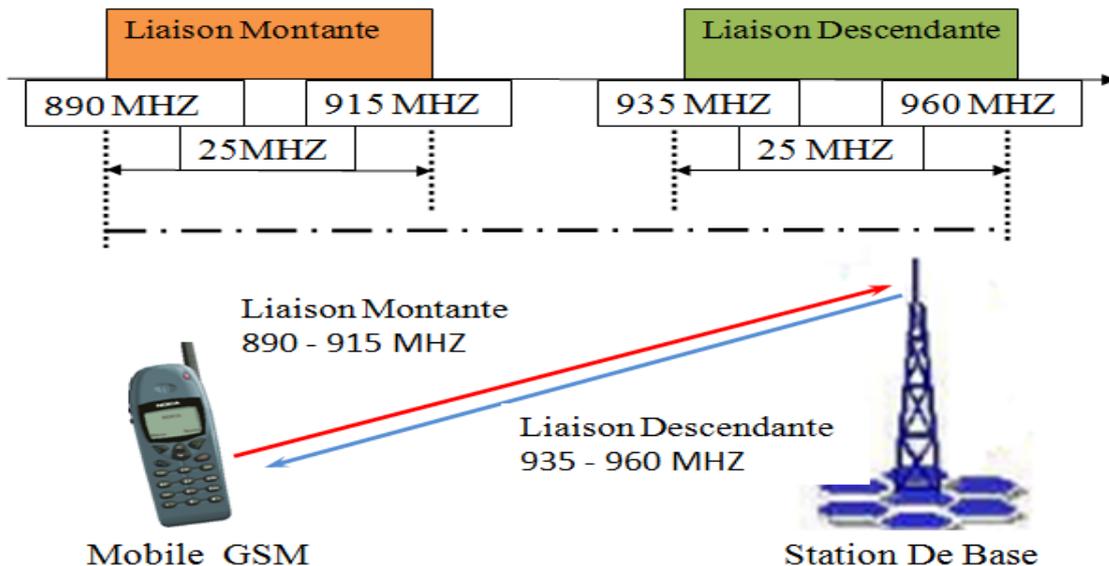


Figure 2- 1: Schéma représentant les fréquences de travaille en GSM

Le tableau suivant résume toutes les caractéristiques des deux bandes de fréquence GSM 900 et DSC 1800. En Algérie ces deux dernières sont partagées par trois opérateurs de téléphonie mobile (Mobilis, Nedjma, Djezzy).

	GSM900	DCS1800	Sens
bandes de fréquence (Mhz)	890-915 (↑)	1710-1785 (↑)	Voie montante (MS → BTS)
	935-960 (↓)	1805-1880 (↓)	Voie descendante (BTS → MS)
Largeur 2×W simplex	2×25 Mhz	2×75 Mhz	
Nombre de canaux	124	375	
Largeur des canaux	200Khz	200Khz	
écart duplex entre les deux voies Δw duplex	45Mhz	95Mhz	

Tableau 2- 1: Bandes utilisées par les systèmes GSM 900 et DSC 1800.

2.3 Typologie des paquets

Chaque trame consiste en un certain nombre de bits. Ces bits sont organisés suivant une structure qui diffère en fonction du protocole applicatif mis en œuvre pour chaque slot mais aussi de l'état intermédiaire du protocole considéré.

La durée d'un paquet (0, 577 ms) correspond à l'émission de 156, 25 bits, dont 114 bits de message "net". En admettant que les slots se suivent sans interruption, le débit maximum vaut 270 kb/s. En pratique, le débit maximum utile (en mode full-rate) ne dépasse pas 13 kb/s en raison des bits nécessaires à la correction d'erreurs. Pour la transmission des données, cette limite descend même à 9, 6 kb/s en raison de la protection nécessaire à la garantie d'un taux d'erreur acceptable.

La norme définit 5 types de paquets fonctionnels, appelés burst dans la terminologie GSM.

2.3.1 Le burst d'accès

Ce burst est émis, sur un canal dédié (qui sera défini dans ce chapitre), par la station mobile lorsqu'elle cherche à entrer en contact avec le réseau soit pour l'établissement d'une communication, soit pour un handover. Il est le plus court des quatre types car il ne contient que 77 bits (41 bits de synchronisation et 36 bits d'information). Son temps de garde est de 68, 25 bits, soit 0,252 ms. Ce temps de garde permet de tenir compte de grandes cellules et d'établir ainsi une communication avec un mobile distant jusqu'à 35 km.

2.3.2 Le burst de synchronisation

Pour ce type de burst, 78 bits d'informations sont véhiculés pour les stations mobiles. Ces bits contiennent les renseignements concernant les fréquences à utiliser et la localisation (identité de la station de base et de la zone et de la cellule).

2.3.3 Le burst normal

Ce burst transporte $2 \times 57 = 114$ bits d'information séparées par 26 bits qui sont une séquence d'apprentissage destinée à régler les paramètres de réception. De plus, la zone TB correspond à 3 bits. Enfin, il faut ajouter à cela 2 bits qui indiquent s'il s'agit d'un canal de données ou d'un canal de signalisation et 8.25 bits pour GP.

2.3.4 Le burst de correction de fréquence

Le type de burst au format le plus simple. La station de base envoie 142 bits de données servant à prévenir des interférences possibles avec des fréquences voisines.

2.3.5 Le burst de bourrage

Les bursts de bourrage (dummy packet) qui sont placés dans les espaces vides si aucune donnée ne doit être envoyée. Pour être précis, ce burst est composé de 2 salves de 58 bits préfixés interrompus par une séquence d'entraînement de 26 bits.

Tous les types de burst ont une forme semblable. Ils sont composés, dans l'ordre, de:

- bits d'en-tête (tail bit, TB), nécessaires à la synchronisation. Ils correspondent toujours au code 000 sauf pour les bursts d'accès.
- 148 bits utiles dont le format dépend du type de burst.
- bits de fin, aussi appelés tail bit, terminés par une période temporelle de garde requise, qui sert à compenser la durée de transmission qui est variable pour la réception d'un paquet au suivant si le mobile a bougé [3].

La structure des 5 types de burst est représentée à la Figure 2-2.

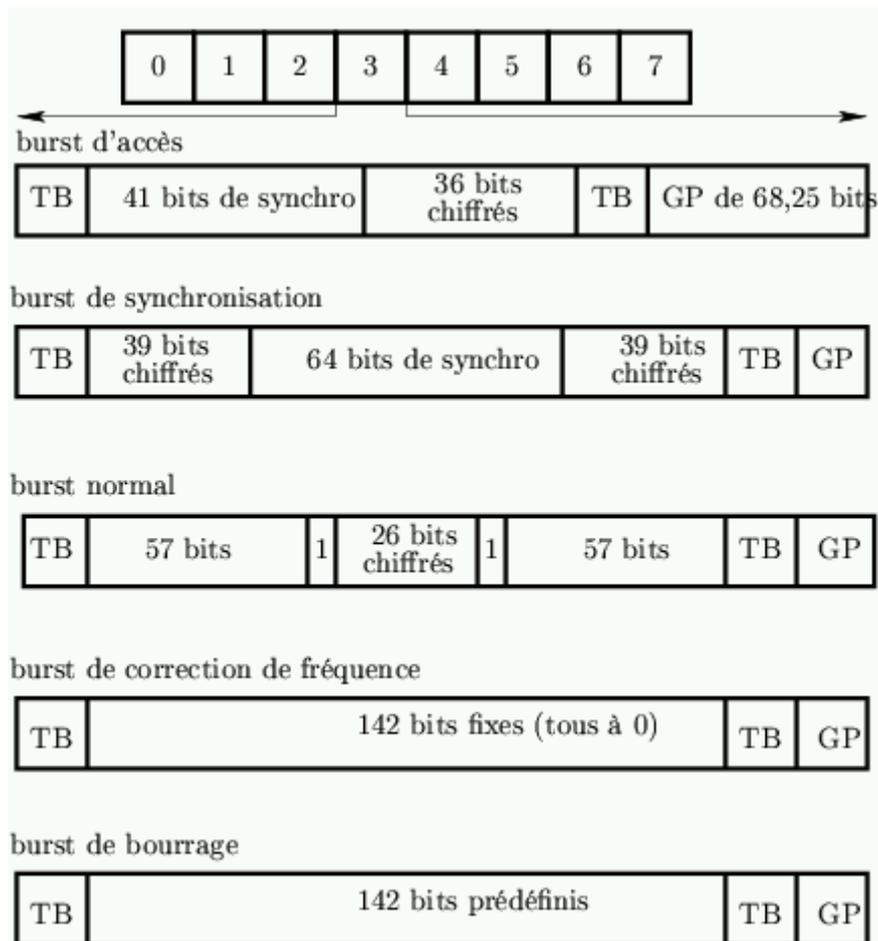


Figure 2- 2: Structures des 5 types de burst définis par la norme GSM

2.4 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, pour établir une communication, surveiller son déroulement et assurer les handovers.

Plusieurs canaux logiques sont été ainsi définis pour les différents types de fonction (veille, scrutation, mesures, contrôle...); ils forment une architecture complexe qu'il est nécessaire de la 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, A, ...

2.4.1 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".

2.4.2 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...).

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 pas donc être implanté sur cette voie;
- à un ensemble de canaux logiques en diffusion sur cette fréquence balise, généralement sur le slot 0 de la fréquence: FCCH, SCH et BCCH.

2.4.3 Type des canaux logiques

a Canaux de diffusion

Se compose de 3 canaux sont les suivants:

❖ Canal FCCH

Il permet aux mobiles de se caler sur la fréquence nominale de la station de base. C'est un signal sinusoïdal parfait de fréquence $f_1 + 67.70$ KHz, qui correspond donc à une porteuse pure légèrement décalée en fréquence permettant un calage fin de l'oscillateur du MS.

Le FCCH est émis sur un burst spécial : le burst de correction de fréquence ou frequency correction burst. Le canal FCCH est présent uniquement sur le slot (zéro) de la voie balise.

❖ Canal SCH

Fournit aux mobiles tous les éléments nécessaires à une synchronisation complète en temps. La séquence d'apprentissage est plus longue que dans un burst normal (64 bits au lieu de 26) pour permettre au mobile de faire une analyse fine du canal de transmission.

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 discriminer plusieurs BTS peu éloignées ayant la même fréquence balise

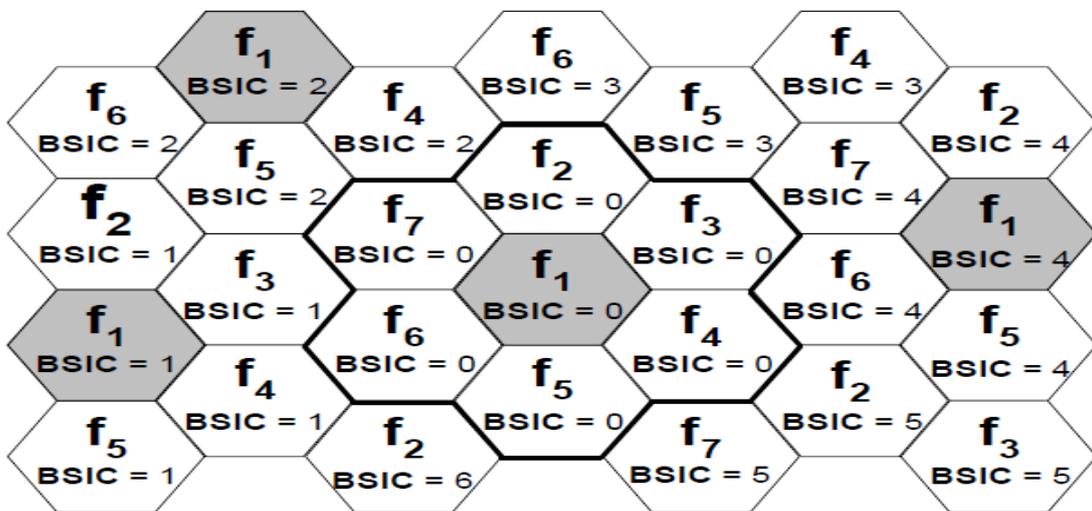


Figure 2- 3: Utilisation des codes BSIC dans un motif à 7 cellules

Le canal SCH est présent uniquement sur le slot 0 de la voie balise; il est situé juste après le canal FCCH.

❖ Canal BCCH

Permet la diffusion de données caractéristiques de la cellule. Il comprend la diffusion régulière d'informations de plusieurs types dans les messages SYSTEMINFORMATION. 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; 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.

b Canaux Communes De Contrôle

❖ Canal RACH

Lorsque les mobiles veulent effectuer une opération sur le réseau, 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 le burst d'accès 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 μ s, ce qui permet d'envisager une distance maximale entre la BTS et le mobile d'environ 35 km.

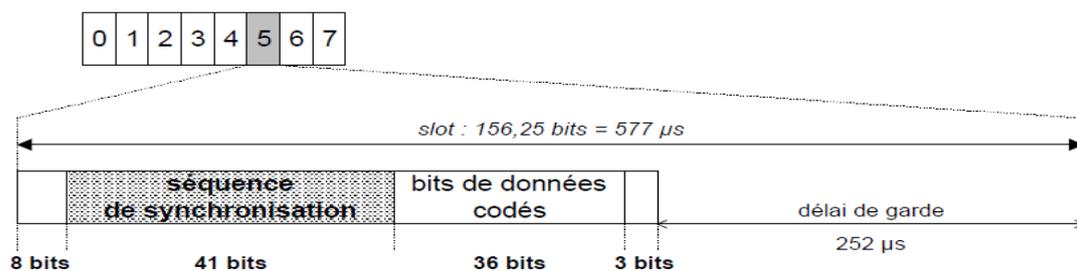


Figure 2- 4: Format du burst RACH

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.

❖ 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.

❖ Canal PCH

Lorsque le réseau désire communiquer avec le mobile, 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.

❖ 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.

❖ Les canaux de trafic (TCH)

Les canaux de trafic transportent la voix ou les données et sont bidirectionnels.

On distingue 2 types de canaux de trafic:

- les canaux plein débit ("full rate") = TCH/F avec un débit brut de 22.8 kbit/s
- les canaux demi-débit ("half rate") = TCH/H avec un débit brut de 11,4 kbit/s.

La classification selon l'usage (voix/données) est la suivante:

- Parole
plein-débit: TCH/FS (full rate: speech)

Demi-débit: TCH/HS (half rate: speech)

- données:
 - 9,6 kbit/s plein débit: TCH/F9.6
 - 4,8 kbit/s plein débit: TCH/F4.8
 - 4,8 kbit/s demi-débit: TCH/H4.8
 - 2,4 kbit/s demi-débit: TCH/H2.4

c Canaux de signalisation

❖ 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.

❖ 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:

- contrôle de puissance d'émission du mobile
- rapatriement des mesures effectuées sur les stations voisines,
- les mesures de puissance et du timing (TA) en boucle fermée,
- rapatriement des mesures effectuées sur les cellules voisines,
- la réception, en pleine communication, de messages courts SMS

❖ FACCH (Fast Associated Control Channel)

Le canal SACCH permet d'écouler différents types de contrôles ou de signalisation mais son débit étant trop faible et ne convient pas aux actions rapides comme le handover.

Tout comme le SACCH, le FACCH est toujours associée à une connexion active entre le MS et la BTS.

Contrairement au SACCH qui est envoyée une fois par multiframe 51, le FACCH est utilisé dans les actions rapides (handover) lorsque le délai d'apparition du SACCH (≈ 0.48 s) n'est plus acceptable, donc, quand il n'est pas possible d'attendre la prochaine SACCH. Si le canal alloué est un TCH, on suspend dans ce cas d'urgence la transmission des

informations usagers et on vole la capacité ainsi libérée afin d'écouler de la signalisation. On obtient donc un autre canal de signalisation, le FACCH.

Si le canal alloué est un SDCCH, il peut écouler lui-même la signalisation comme par exemple un handover et donc la FACCH est inutile [5].

2.5 Transmission sur l'interface radio

La transmission radio de GSM est assurée par l'interface radio (interface Um).c'est une des parties les plus sophistiquées du système; elle est riche en fonction variées qui sont de nature très différente.

2.5.1 Codage de la parole

Le codage de source de la parole sert à réduire le débit de façon à minimiser la quantité d'information à transmettre. 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 "codec".

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 [6].

2.5.2 Le codage des canaux

Les erreurs ne sont pas réparties de façon équivalente dans le temps. Les erreurs surviennent généralement au début du message. Ainsi le message est divisé en trois classes: Ia, Ib, II suivant le degré de sensibilité aux erreurs. La classe Ia est la plus sensible aux erreurs. Le message de 260 bits est décomposé de la façon suivante:

Classe Ia	50 premiers bits
Classe Ib	132 bits suivants
Classe II	78 derniers bits

On ajoute à la classe Ia 3 bits de contrôle. On les ajoute à la classe Ib, avec 4 bits de contrôle supplémentaire. On a au total 189 bits que l'on code 2 fois, ce qui nous donne 378 bits, auxquels on ajoute les 78 bits de la classe II. Ces derniers ne sont pas protégés. On obtient au total une séquence de 456 bits [6].

2.5.3 Détection d'erreurs par CRC

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.

Nature des informations	Canaux logiques	Taille k du champ d'inf	Taille r du CRC	Polynômes définissant le code
Bit de parole de classe I.a	TCH/FS	50	3	D^3+D+1
Signalisation et contrôle	Canaux de contrôle (SDCCH, FACCH, BCCH, PCH, AGCH, CBCH)	184	40	$(D^{23}+1) (D^{17}+D^3+1)$ (Code de Fire, possibilité de correction)
Accès	RACH	8	6	$D^6+D^5+D^3+D^2+D+1$
synchronisation	SCH	25	10	$(D^5+1) (D^7+1) / (D+1)^2$

Tableau 2- 2: Polynômes générateurs des CRC utilisés dans GSM.

2.5.4 L'encodage convolusionnel

Le codage utilisé dans GSM est principalement du type convolusionnel. C'est ce type de codage qui permet l'abaissement du seuil de C/I (rapport porteuse sur interférence) à partir duquel une liaison est de qualité acceptable. Les codes convolusionnels admettant un décodage selon l'algorithme de Viterbi.

Le schéma du codeur de base utilisé dans la plus part des cas est donné en Figure 2-5. Il comprend essentiellement un registre à décalage (rythmé par une horloge) et des portes représenté par des \oplus (ou additionneur modulo 2). Les bits d'information à coder sont présentés séquentiellement à l'entrée du registre.

A chaque impulsion d'horloge, un décalage (à droite) est effectué alors qu'un nouveau bit apparaît en entrée. Pour chaque bit u_i en entrée; un vecteur de longueur $n=2$ formé des bits codés, est calculé et présenté en sortie:

$$C_i = (c'_i, c''_i),$$

Le taux du code est $k/n = 1/2$. Chaque bit codé correspond donc à une combinaison linéaire (modulo 2) des bits de registre. Les reboyclages sont spécifiés grâce à deux polynômes binaires:

$$g'(D) = (D^4 + D^3 + 1)$$

$$g''(D) = (D^4 + D^3 + D + 1)$$

Qui sont répertoriés dans les normes par G0 et G1.

L'entrée peut être représentée par une série formelle

$$U(d) = \sum_i D_i u_i,$$

L'indice i représentant le temps ou un décompte de tops d'horloge. Chaque sortie s'exprime alors comme le résultat de la multiplication de la séquence d'entrée par un des polynômes caractérisant le code:

$$c'(D) = u(D) g'(D); c''(D) = u(D) g''(D),$$

Les calculs sur les coefficients étant faits modulo 2, comme précédemment.

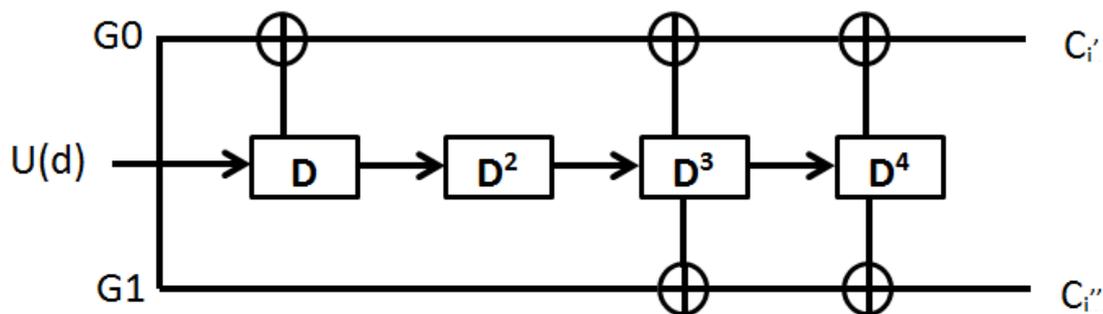


Figure 2- 5: Exemple de codage convolutionnel

Les polynômes définissant les schémas de codage convolutionnel dans GSM sont donnés sous le Tableau 2-3 les polynômes G0 et G1. Déjà présentés sont utilisés pour la parole plein débit, la transmission de données à 9600 bits/s et la signalisation et le contrôle. Dans le cas de la transmission de données à des bits inférieurs ou égaux à 4800 bits/s, d'autres polynômes sont considérés dans la norme, en particulier pour renforcer le codage dans le cas de transmission de données. Les codes résultants sont de taux 1/3 ou 1/6. Ils ont la

même longueur de contrainte au codage, et donc leur décodage s'appuie sur la même structure de treillis que le schéma de base décrit ci-dessus et spécifié par G0 et G1

Pour la parole plein débit, aux 378 bits codés sont ajoutés 78 bits non protégés pour former un bloc de 456 bits. Dans tous les cas, mis à part pour l'accès et la synchronisation, les blocs obtenus après encodage correcteurs sont de longueur 456 bits.

Nature des informations	Canaux logiques	Taux k/n	N1	n(N1+μ)	Polynômes définissant le code	
parole plein débit	TCH/FS	1/2	185	2(185+4)=378	$G0=D^4+D^3+1$ $G1=D^4+D^3+D+1$	
Données à 9.6kbit/s	TCH/F9.6		240	2(240+4)-32=456		
Signalisation et contrôle	SDCCH		224	224		2(224+4)=456
	SACCH					
	FACCH					
	BCCH					
	PCH					
	AGCH					
Accès	RACH	14	2(14+4)=36			
synchronisation	SCH	35	2(35+4)=78			
Données à 4.8 kbit/s	TCH/F4.8	1/3	148	3(148+4)=456	$G1=D^4+D^3+D+1$ $G2=D^4+D^2+1$ $G3=D^4+D^3+D^2+D+1$	
Données à 2.4 kbit/s ou moins	TCH/F2.4	1/6	72	6(72+4)=456	G1, G2, G3, G1, G2, G3	

Tableau 2-3: Polynômes définissant les schémas de codage convolutionnel

Le paramètre N1 désigne la taille du bloc d'information à l'entrée de l'encodeur convolutionnel sans prendre en compte les bits de trainée; n(N1+μ) est la taille du bloc protégé. Les données à 2.4 et 4.8 kbit/s sur un canal demi-débit sont codées respectivement comme sur le TCH/F4.8 et TCH/F9.6.

2.5.5 L'entrelacement

L'entrelacement est utilisé pour rendre plus aléatoire les positions des erreurs qui arrivent généralement en salves dans le contexte radio. Cette technique revient à brasser les symboles codés avant leur transmission pour augmenter en réception les performances de correction des codes correcteurs d'erreurs en fait l'entrelacement permet de fragmenter les paquets d'erreurs et de les transformer en erreurs "isolées" afin de faciliter leur correction. Le principal inconvénient de l'entrelacement est le délai supplémentaire introduit. Les contraintes de délai sont sévères pour la parole et plus lâches pour les données.

Dans le cas général l'entrelacement des 456 bits se fait sur 8 demi-bursts. Il se fait de la manière suivante:

1. les 456 bits de chaque bloc sont mélangés suivant un ordre défini par la norme;
2. les 456 bits sont regroupés en 8 groupes de 57 bits ($8 \times 57 = 456$);
3. 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, figure 2-7 [5].

Lecture

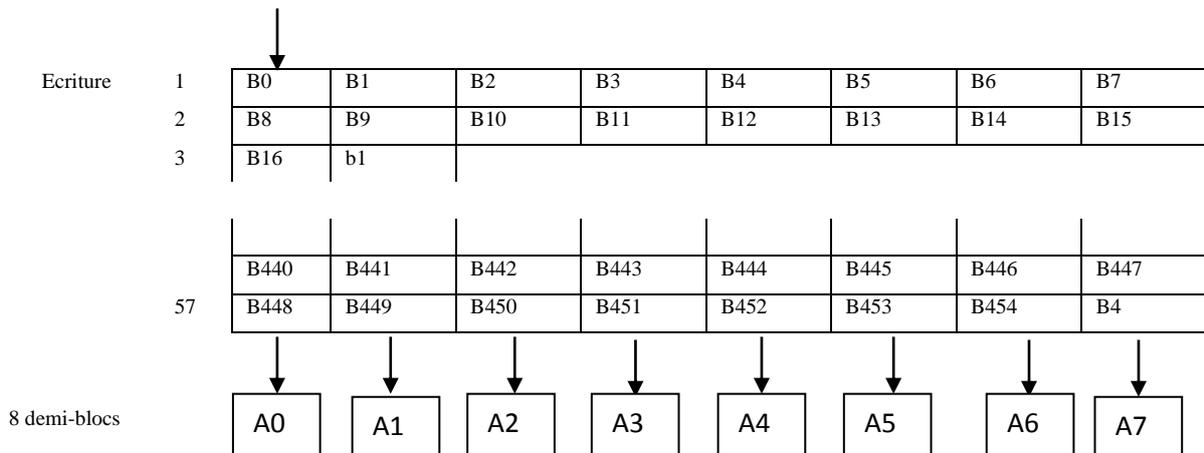


Figure 2- 6: Schéma d'entrelacement rectangulaire

Ce schéma est utilisé pour un bloc protégé de 456 bits de parole et la plupart des blocs de signalisation.

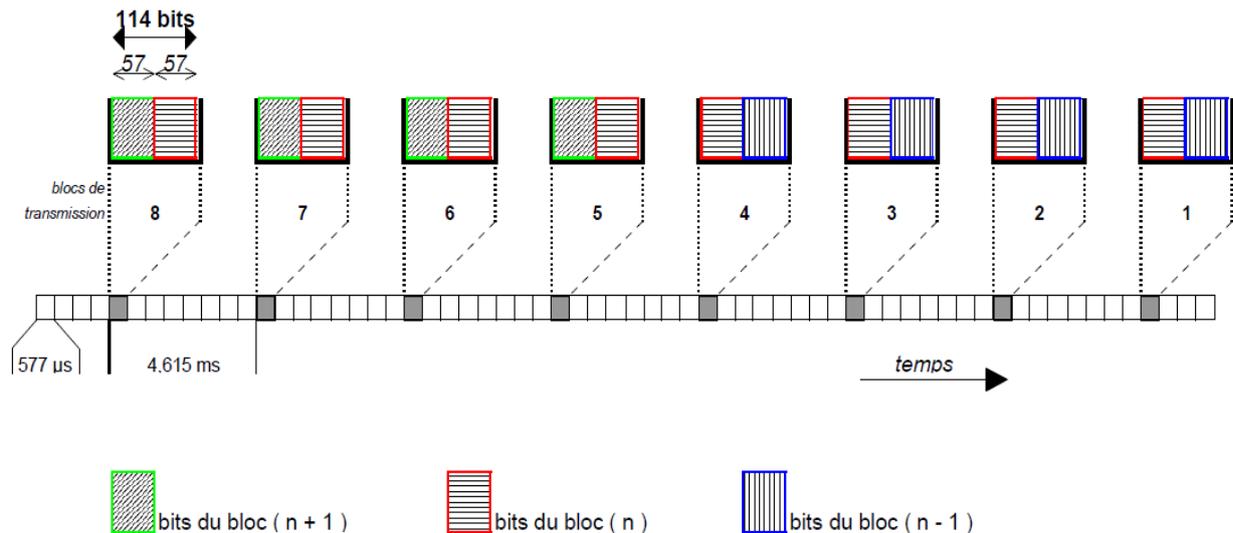


Figure 2- 7: Insertion des données dans un burst

2.5.6 Méthodes d'accès multiples

Les communications dans les systèmes radio-mobiles utilisent la bande de fréquence allouée au système dont la largeur est limitée. Cette bande de fréquence doit donc être utilisée de la façon la plus judicieuse possible afin d'écouler le maximum de communication. Elle est partagée en canaux qui sont alloués à la demande aux mobiles pour permettre l'échange d'informations d'un terminal mobile avec le réseau ou avec d'autres mobiles. Le partage d'un support de communication par plusieurs usages utilisent différentes approches, notées par des sigles du type xDMA: x Division Multiple Access.

FDMA - TDMA - CDMA sont les trois principales techniques d'accès multiple.

a ***Le FDMA: Frequency Division Multiple Acces***

La méthode d'accès multiple la plus ancienne est la méthode FDMA. Elle est utilisée principalement dans les systèmes analogiques et est combinée à la méthode TDMA dans la majorité des systèmes numériques.

Il y a plusieurs méthodes pour partager une ressource radio entre N utilisateurs. Une solution simple consiste à diviser la bande de fréquence en N sous bandes disjointes et à allouer une sous bande à chaque utilisateur. Si on introduit la largeur totale de la bande de fréquence disponible: B, chaque utilisateur peut idéalement disposer d'une sous bande de largeur: $W=B/N$.

Puissance

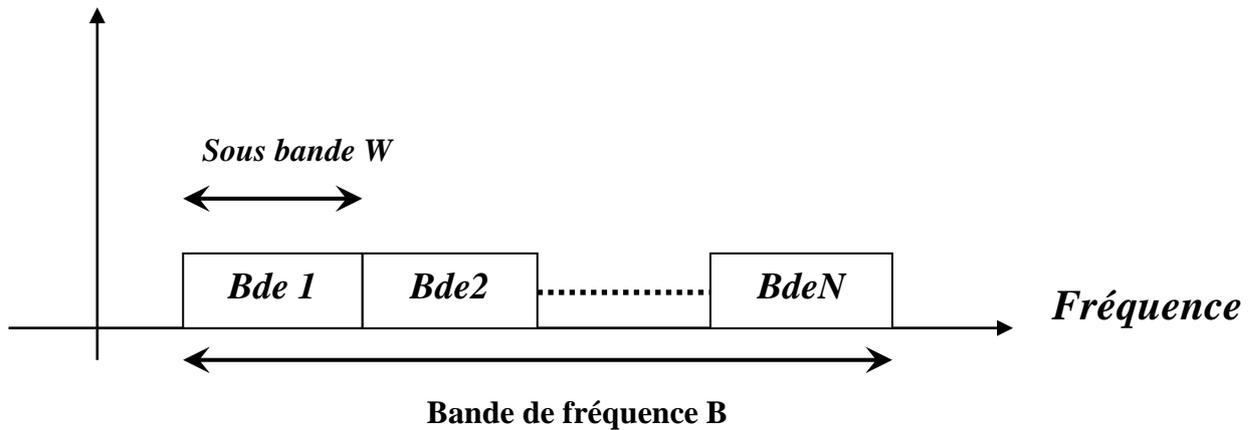


Figure 2- 8: Schéma type d'un partage FDMA

A chaque interlocuteur, ou chaque message, est alloué une bande de fréquence. En pratique le message est utilisé pour moduler une fréquence porteuse. Les différentes porteuses ainsi modulées sont juxtaposées et l'ensemble transmis sur le canal. Elle permet de différencier les utilisateurs par une simple différenciation fréquentielle. En effet, pour écouter l'utilisateur N, le récepteur ne considère que la fréquence f_N associée. L'implémentation de cette technologie est assez simple.

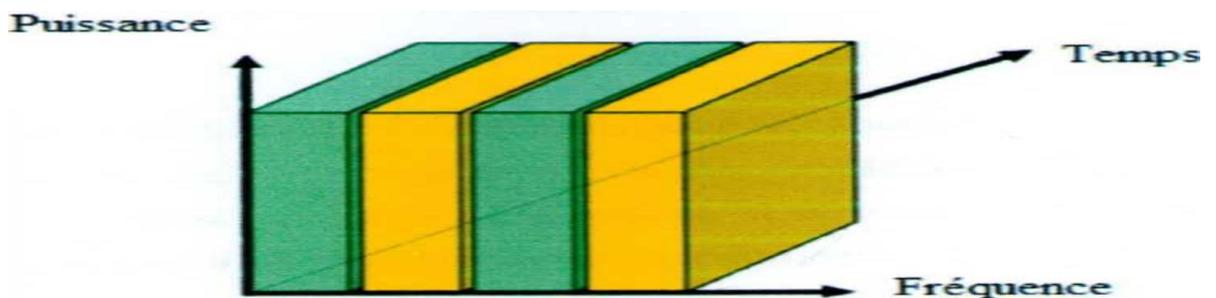


Figure 2- 9: Technique d'accès multiple FDMA

Chaque canal ou porteuse, est utilisée pour véhiculer un appel unique et dans un seul sens à la fois (sens montant ou sens descendant) en fonction de la capacité du système et des besoins en signalisation, un ou plusieurs canaux de contrôle sont utilisés.

A la réception des filtres sélectifs isolent les différentes porteuses qui sont démodulées. Si les fréquences porteuses sont parfaitement connues ou restituées, il est possible d'effectuer une démodulation cohérente (synchrone).

La difficulté majeure de mise en œuvre réside dans la séparation des différentes sous bandes de fréquence. En pratique ces dernières ne peuvent pas être jointives et sont séparées par un intervalle de garde ou bande de garde de largeur spectrale W_g .

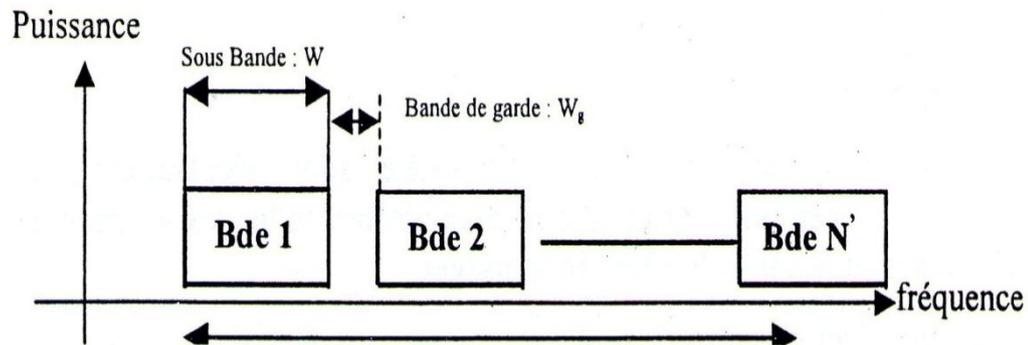


Figure 2- 10: Schéma d'un partage FDMA avec bande de garde

b La TDMA: Time Division Multiple Acces

Le multiplexage temporel permet de travailler à plusieurs émetteurs sur la même fréquence. Chaque correspondant ou message occupe la totalité de la bande mais pendant un temps très court. Chaque émetteur émet successivement son signal et nécessite une bonne gestion des périodes d'émission.

La technique TDMA est la première alternative à la technique FDMA, elle est mise en œuvre dans les systèmes numériques comme alternative principale à la technique CDMA. Elle permet de transmettre des débits d'information plus importante qu'un système FDMA.

❖ Principe de base du TDMA

La porteuse (fréquence radio) est partagée en N intervalles de temps (IT) ou Time Slots de durée $T_s = T_t / N$ et peut donc être utilisée de façon partagée par N terminaux, chacun utilisant un slot particulier distinct des slots utilisés par les autres terminaux.

Chaque utilisateur qui souhaite transmettre des données se voit allouer un time slot particulier dans chaque trame. Le nombre de slots par porteuse est choisi en fonction de plusieurs facteurs tels que la technique de modulation, la bande de fréquence disponible.

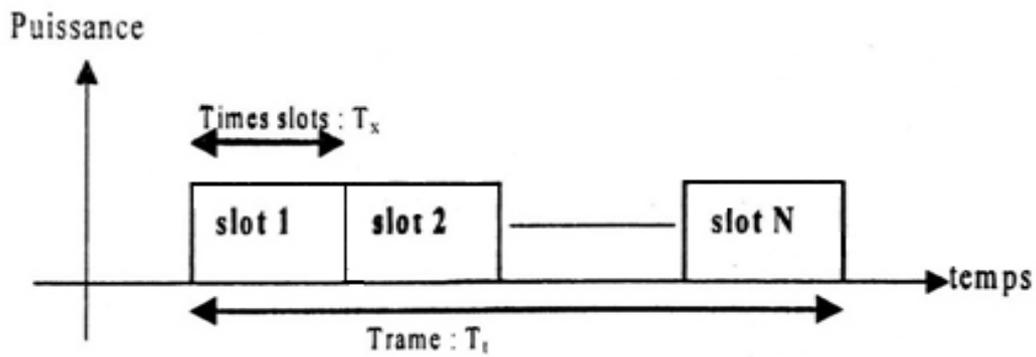


Figure 2- 11: Principe de base du TDMA

Chaque utilisateur émet ou transmet dans un intervalle de temps concret dont la périodicité est définie par la durée de la trame. Dans ce cas, pour écouter l'utilisateur N, le récepteur n'a qu'à considérer l'intervalle de temps N associé à cet utilisateur.

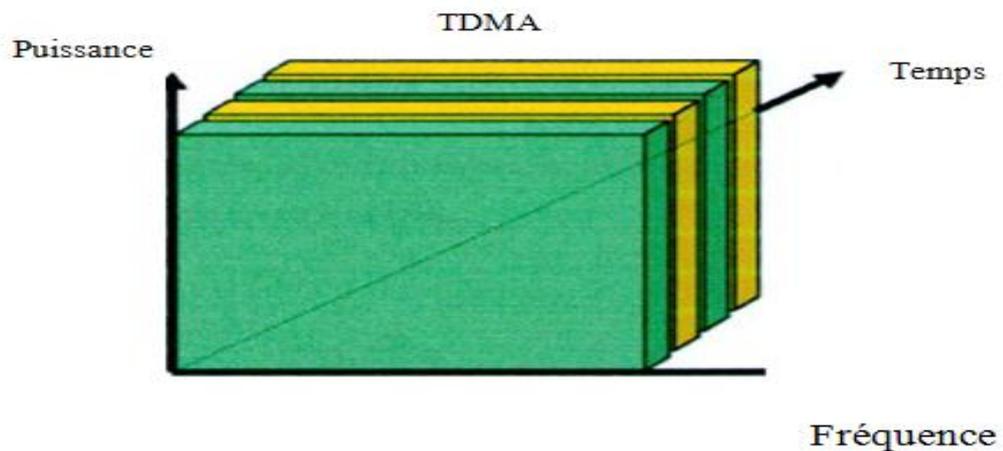


Figure 2- 12: Technique d'accès multiple TDMA

Dans le cas du téléphone GSM, on met à profit les silences du message vocal et des techniques de compression de débit pour émettre le signal par trames à un débit assez rapide de 270 Kbits/s et ainsi inscrire 8 téléphones sur la même fréquence.

La transmission en TDMA est discontinue: par exemple, le mobile émet sur le slot 1, attend pendant le slot 2 et reçoit sur le slot 3, attend pendant le slot 4 et transmet à nouveau sur le slot 1, ...

Ce type de transmission a pour conséquence que le débit binaire n'est pas égal au débit de chaque communication. Le débit du canal doit donc obligatoirement être plus rapide d'un facteur au moins égal au nombre d'intervalles de temps.

Dans les systèmes de radiocommunications avec les mobiles fonctionnant en TDMA, une des principales difficultés réside dans le fait qu'il faut synchroniser, sur la même horloge, l'ensemble des terminaux et qu'il faut éviter que les paquets de données (burst) émis par deux terminaux qui utilisent des time slots adjacents, ne se recouvrent, même partiellement, à l'arrivée à la station de base. Pour éviter ce type de problème, il faut prévoir un intervalle de garde, ce qui revient à avoir une durée du time slot supérieure à la durée du burst émis.

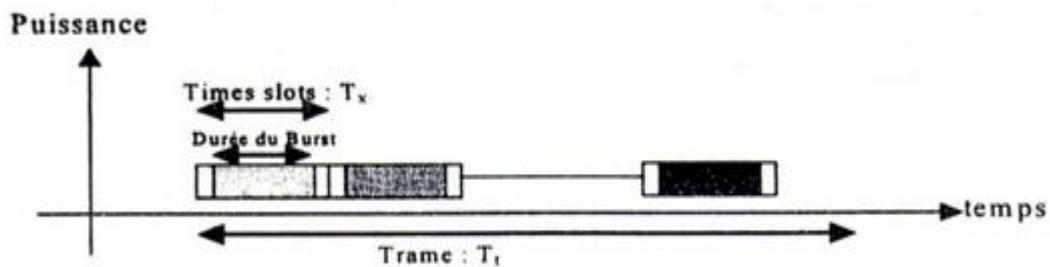


Figure 2- 13: Répartition du burst en "time slots"

2.5.7 Modulation

Le seul moyen pour un mobile d'envoyer des données est l'air ambiant. Il va donc falloir transformer ces données en onde. Mais cette onde va en rencontrer d'autres.

Les portables envoient l'information sous forme d'ondes modulées en GMSK. Plus exactement le GMSK est une nette amélioration de la modulation en FSK (Frequency Shift Keying). Le FSK utilise 2 tonalités différentes (ou fréquences) pour 1 et 0.

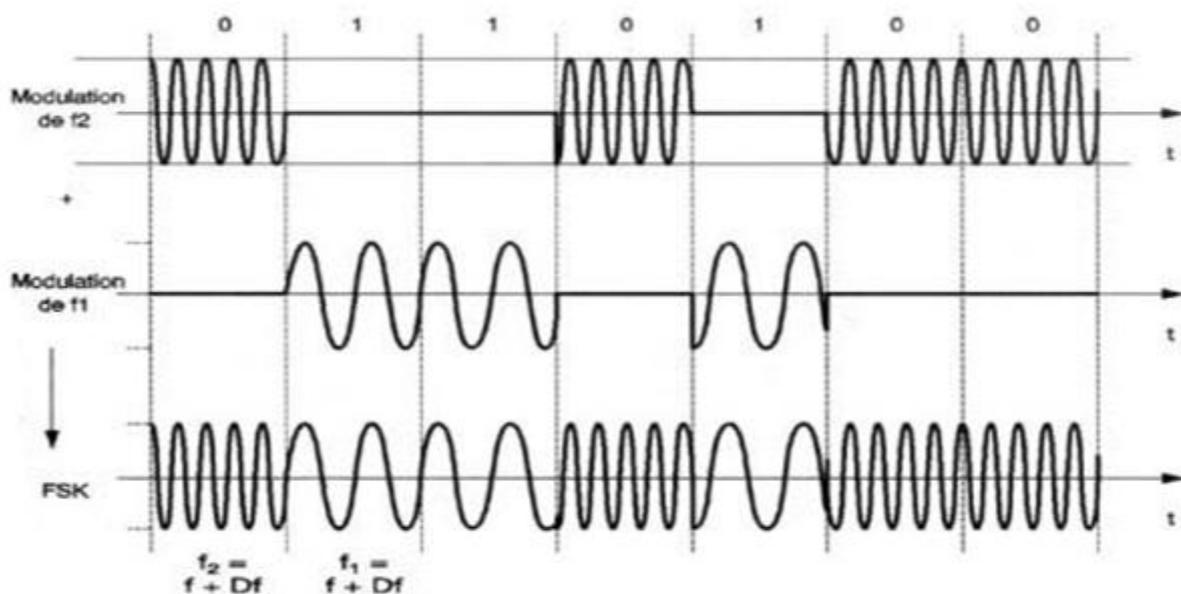


Figure 2- 14: Modulation de fréquence d'un signal (FSK)

Au signal FSK qui a une discontinuité de phase à chaque changement de fréquence, on applique des filtres sinusoidaux pour obtenir une continuité de phase. Ce signal particulier est appelé MSK.

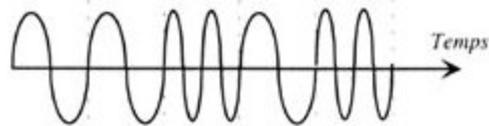


Figure 2- 15: Modulation MSK continuité de la phase

L'utilisation d'un filtre passe bas à caractéristiques Gaussiennes avec modulation MSK permet d'obtenir un signal en modulation GMSK. Cette modulation a pour intérêt de réduire les interférences sur canal adjacent.

Toutes ces modifications du signal peuvent être réalisées par des circuits électroniques. Mais actuellement on utilise plutôt des processeurs intégrés dans les portables. Ces processeurs sont programmés pour créer le signal GMSK à partir des deux fréquences différentes et du signal binaire à coder. L'étude de ces processeurs fait appel à l'étude du traitement du signal qui nécessite des notions mathématiques très complexes.

On a ainsi créé un signal correspondant aux données numériques de départ. Ce codage en modulation de fréquence est réversible. Le récepteur peut grâce à cette onde recoder l'information numérique de la voix. De plus, grâce au bit de contrôle il va pouvoir corriger s'il y a lieu les données [8].

2.6 La gestion du signal

2.6.1 Les phénomènes de dégradation du signal entre le portable et le

BTS

Les pertes qui apparaissent entre l'émetteur et le récepteur sont dues à plusieurs phénomènes: certaines s'appliquant à toutes les liaisons et d'autres propres au portable notamment à cause de sa mobilité.

Les différents phénomènes créant les pertes sont divisibles en plusieurs catégories:

a L'atténuation due à la distance

Elle dépend de plusieurs facteurs comme la fréquence et la hauteur de l'émetteur. En effet, pour les basses fréquences, les pertes sont plus faibles. Ainsi comme la puissance du mobile

est plus faible que celle de la base, le mobile émettra sur une fréquence plus basse appelée canaux montants en opposition aux canaux descendants.

Les pertes sont plus faibles quand l'émetteur est plus haut. De plus à partir d'une certaine distance apparaît un point de rupture, au-delà duquel l'atténuation est plus élevée avec la distance.

b Les effets de masque

Ils sont créés lorsque l'onde traverse des obstacles. Par exemple pour une réception à l'intérieur, il faut traverser un mur. L'atténuation due aux arbres se matérialise par une décroissance exponentielle de l'intensité du signal, par exemple à 1 GHz un barrière de 5 mètres de profondeur effectue une atténuation de 50 dB. Les constructeurs doivent donc aussi tenir compte de la saison, à savoir si les arbres ont perdu ou non leurs feuilles car la différence est importante (de 20 dB).

L'atténuation due à la pluie est relativement très faible mais n'est pas négligeable lorsque l'onde parcourt de longues distances (satellites). Le fait est qu'on n'en tient pas compte pour les communications entre les portables et le BTS car la distance est de quelques dizaines de kilomètres.

Les effets de masque peuvent, soit atténuer la puissance du signal, soit modifier les caractéristiques de l'onde.

c Les évanouissements (fadings)

Le portable dans la majorité des cas n'est pas en vision directe avec la base mais reçoit un signal grâce au réfléchissement du signal sur des obstacles. Cela permet de les contourner mais a aussi pour conséquence que cette onde peut avoir plusieurs trajets possibles. Ainsi le récepteur reçoit plusieurs signaux qui se superposent. La distance n'étant pas la même pour chaque trajet, le temps de transmission est également différent. Il s'opère donc un décalage entre les signaux. Comme les signaux sont codés en numérique, ils peuvent se compenser pouvant ainsi altérer ou détruire les données.

d Les brouillages dus aux interférences

Les interférences sont le fait qu'un autre signal utilise la même fréquence et il se passe donc des interférences co-canal. Le phénomène des interférences n'est pas propre aux portables mais s'applique pour tous les types d'onde. Deux portables peuvent avoir leurs signaux qui interfèrent car la bande passante est étroite par rapport au nombre de canaux. Les

fréquences sont très proches ainsi il se produit des interférences appelées interférences sur canal adjacent.

Le phénomène d'intermodulation produit aussi des interférences. Ces phénomènes sont dus à deux signaux de différentes fréquences (f_1 et f_2) qui interagissent ensemble, produisant un signal avec une nouvelle fréquence de la forme $f = n f_1 + m f_2$. Ce phénomène est gênant pour les premières valeurs entières de n et m . Ainsi à la réception le signal utile de fréquence f peut être brouillé par deux signaux formant une fréquence f . De même ce phénomène apparaît à l'émission pour deux émetteurs très proches. Ainsi chaque antenne émet un autre signal composé de deux fois sa propre fréquence moins celle de l'autre antenne.

e Les brouillages dus au bruit ambiant

Le bruit ambiant peut provenir du bruit extérieur au message ou des composants eux-mêmes.

f Les pertes créées par le déplacement du mobile:

Lors du déplacement du mobile, à cause de sa vitesse, la fréquence du signal reçu par le mobile change. En effet, le temps mis par l'onde pour arriver au mobile est variable. Ce temps dépend de la vitesse de déplacement du portable et de l'angle entre sa direction de déplacement et celle de la base. Ce décalage de fréquence peut être positif ou négatif.

2.6.2 Les solutions pour améliorer le signal

a La propagation de l'onde

Il est nécessaire de connaître la façon dont l'onde se propage pour pouvoir combler les pertes en certain endroit. On utilise plusieurs techniques:

Les équations de maxwell mais qui sont souvent trop compliquées à cause de toutes les conditions de topologie.

Le lancer de rayon qui assimile l'onde à une onde lumineuse.

La méthode statistique grâce à des mesures sur le terrain.

b L'égalisation

Comme on vient de le voir de nombreux phénomènes agissent sur le signal produisant une perte d'intensité, c'est pourquoi le récepteur doit filtrer le signal obtenu. Ainsi par exemple, le phénomène de pertes à cause du multi-trajet peut être réduit en prenant le signal ayant la puissance la plus élevée. Mais les erreurs ne sont pas également réparties dans le temps. Aussi, plusieurs méthodes sont utilisées pour pouvoir retrouver le signal d'origine comme le codage des canaux et l'entrelacement.

c La gestion de l'énergie

De façon à économiser de l'énergie, le portable s'éteint pendant les communications. C'est à dire que lorsque celui-ci n'émet et ne reçoit rien, il reste en veille. Pour que cela fonctionne, il doit pouvoir distinguer la voix des bruits ambiants. De plus, comme l'émetteur est éteint, le récepteur ne reçoit aucun bruit, il y a donc un silence absolu. Pour montrer que la connexion s'effectue bien et pour ne pas perturber l'utilisateur, un bruit de fond est créé artificiellement [8].

2.7 Conclusion

Nous avons traité les différentes caractéristiques de l'interface radio en présentant les types des canaux logique tels que le TCH et puis la transmission sur l'interface radio (codage parole, protection du signal parole numérisé, l'entrelacement) ainsi nous avons expliqué les multiples techniques d'accès ce chapitre intègre aussi l'étude de la modulation, la gestion de signal et les solutions pour l'améliorer.

Chapitre 3:
Conception et
implémentation de la
chaîne de transmission
GSM dans ADS

Chapitre 3 Conception et implémentation de la chaîne de transmission GSM dans ADS

3.1 Introduction

La technologie actuelle incite les chercheurs à faire plus d'efforts pour obtenir de meilleurs produits avec des petites tailles, et de plus en plus rapide et cela exige des outils et des méthodes de plus en plus puissantes. Et pour travailler dans des conditions plus proches de la réalité, on procède aux logiciels de simulation qui rendent la conception et la réalisation des systèmes électroniques et de communication plus facile.

Ce chapitre présente le logiciel de simulation ADS (Advanced design system) qui est l'un des logiciels les plus utilisés pour la simulation des systèmes de communication les plus modernes. Nous avons présenté aussi la réalisation d'une chaîne de transmission GSM à deux liaisons, montante et descendante que nous avons mises sous étude.

3.2 Généralités sur ADS

ADS est un logiciel développé par la société Agilent Technologie, destiné à aider au développement des systèmes électroniques mixtes analogiques hyperfréquences et numériques. Au travers d'une interface compacte, il dispose de nombreux modules permettant d'analyser les circuits de façon adaptée aux besoins classiques: en continu, en régime variable, en temporel, en bruit... Il dispose aussi de méthodes d'analyse spécifiques aux hyperfréquences: analyse en paramètres S, analyse des non linéarités par les méthodes « harmonique balance », analyse d'enveloppes complexes intégrant les non-linéarités, simulateur électromagnétique de circuit planaires multicouches multiconducteurs. Plus à ces analyses il fait l'analyse des circuits de télécommunication, comme notre travail (chaîne de transmission GSM).

3.3 introduction d'ADS

3.3.1 Démarrage d'une session

De façon classique: à partir de l'icône sur le bureau ou dans le menu programme. Le client ADS installé localement sur le poste de travail interroge un serveur de licence pour obtenir le jeton nécessaire à l'ouverture de session (ou lors de l'exécution des différentes simulations).



Figure 3- 1: Fenêtre de base

Pour ouvrir un projet ADS, il suffit de double cliquer sur le répertoire « racine » de ce projet ou d'utiliser le menu fichier (file), comme sur tous les logiciels standards. Pour en créer un nouveau, on utilisera le menu « file/new project » en étant attentif à l'emplacement du répertoire d'accueil et aux unités sélectionnées [9].

Dans la fenêtre de base:

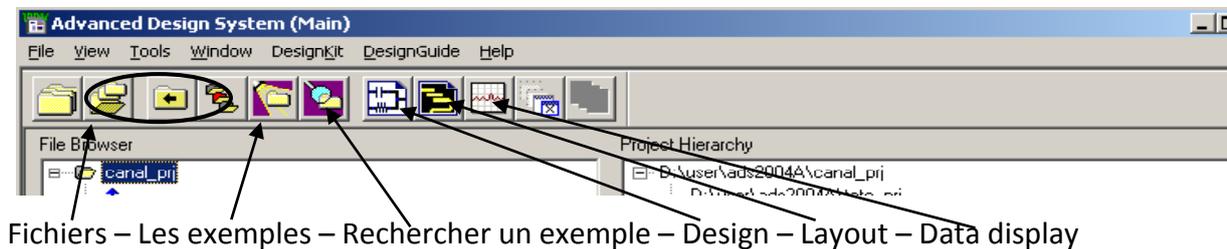


Figure 3- 2: Barre d'outils de la fenêtre de base

3.3.2 Conception

ADS utilise des fichiers design (nom.dsn) pour enregistrer les circuits de simulation et les layout. Un fichier de design est une page schematic à partir de laquelle il est possible de:

- Créer et modifier des circuits et layout
- Ajouter des équations et des variables
- Placer et modifier des composants et leurs contrôles
- Ajouter des commentaires sous forme de texte
- Générer un layout à partir du schematic (et réciproquement)

3.3.3 Créer un Design

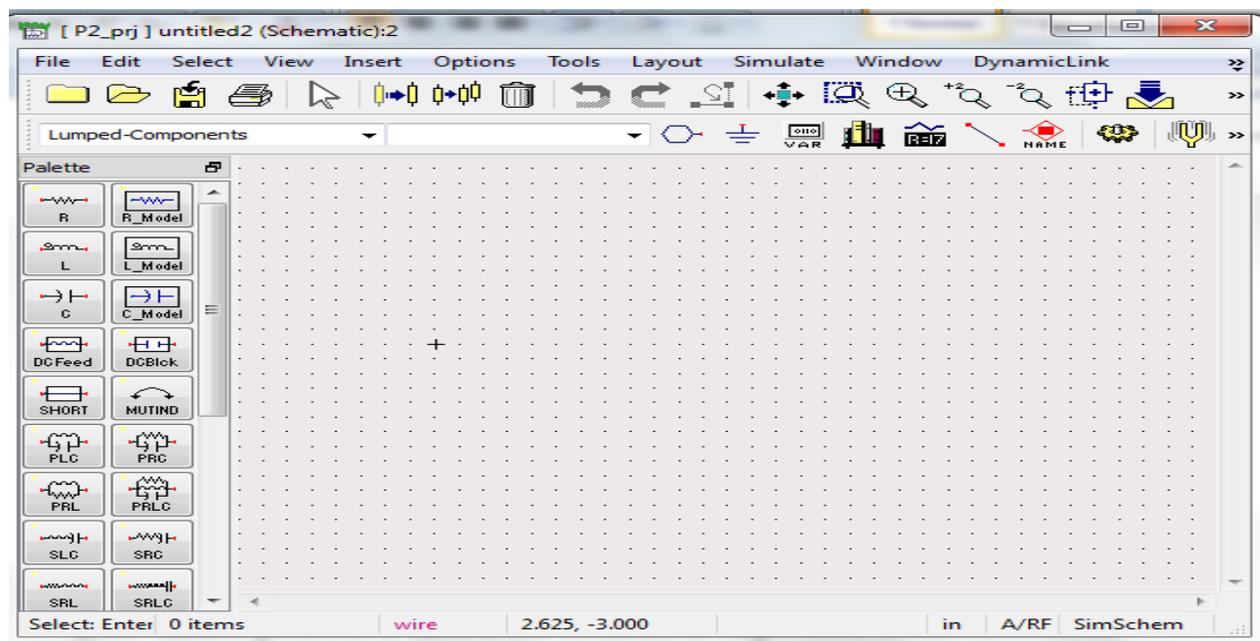


Figure 3- 3: Fenêtre design - schématique

L'ouverture d'un nouveau projet implique automatiquement l'ouverture d'une nouvelle page schematic qui sera sauvegardée dans le répertoire networks.

Pour créer un nouveau design (Figure 3-3), il est possible d'utiliser les suivantes:

- Menu Window/New Schematic dans la fenêtre principale
- Menu File/New Design dans la fenêtre principale et donner le nom de fichier à créer

Il est ensuite possible d'insérer les éléments (composants, données, sources, boîte de simulation et de contrôle, . . .) disponibles dans les bibliothèques du logiciel.

3.3.4 Ouvrir un Design

Un design existant peut s'ouvrir:

- A partir de la fenêtre principale dans le menu File/Open Design
- En utilisant l'explorateur pour localiser, sélectionner et double cliquer sur le design pour l'ouvrir
- A partir de la fenêtre schematic dans le menu File/Open Design

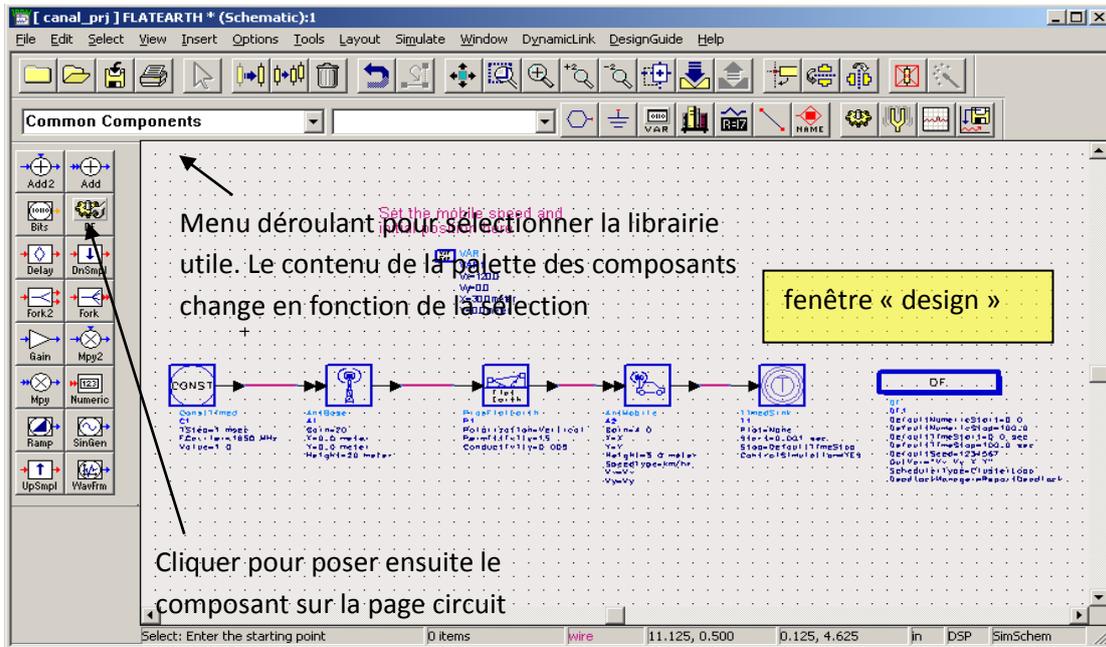


Figure 3- 4: Fenêtre design –schematic

3.4 Simulation dans ADS

3.4.1 Simulation d'un design

ADS fournit tous les éléments de contrôle pouvant être ajoutés et configurés dans la fenêtre schematic pour simuler les caractéristiques du design.

La simulation se lance en cliquant sur l'icône appropriée ou en allant dans le menu Simulate. Dans une page circuit ("design").

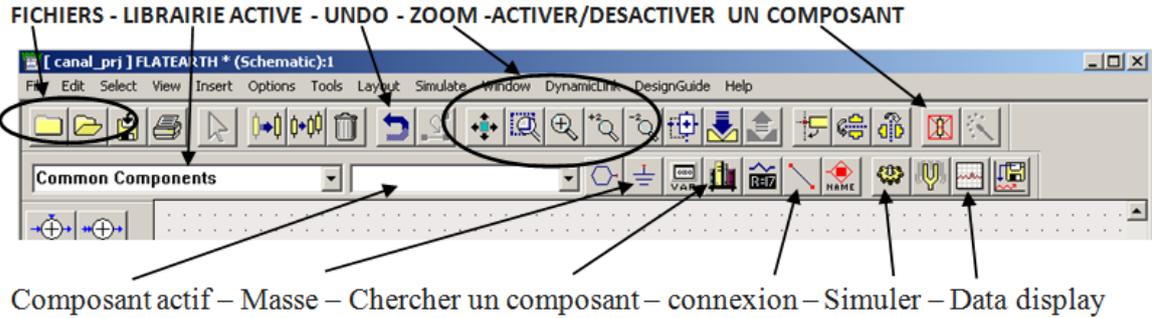


Figure 3- 5: Barre d'outils de fenêtre design

3.4.2 Visualisation des résultats

A la fin de la simulation, le logiciel ouvre une page de présentation (data display) dans laquelle les courbes (graphique linéaire/log, abaque de Smith, ...) peuvent être tracées (Figure 3-6). Il est également possible de positionner un marker sur les courbes (Insert Marker) afin de visualiser les coordonnées d'un point précis.

3.4.3 Optimisation d'un design

L'optimisation d'un design est une procédure permettant de modifier la valeur de variables pour qu'elles satisfassent un objectif défini auparavant.

L'optimisation dans ADS permet de comparer les résultats simulés à l'objectif et modifie les valeurs des variables pour qu'elles se rapprochent le plus possible de l'objectif à atteindre [10].

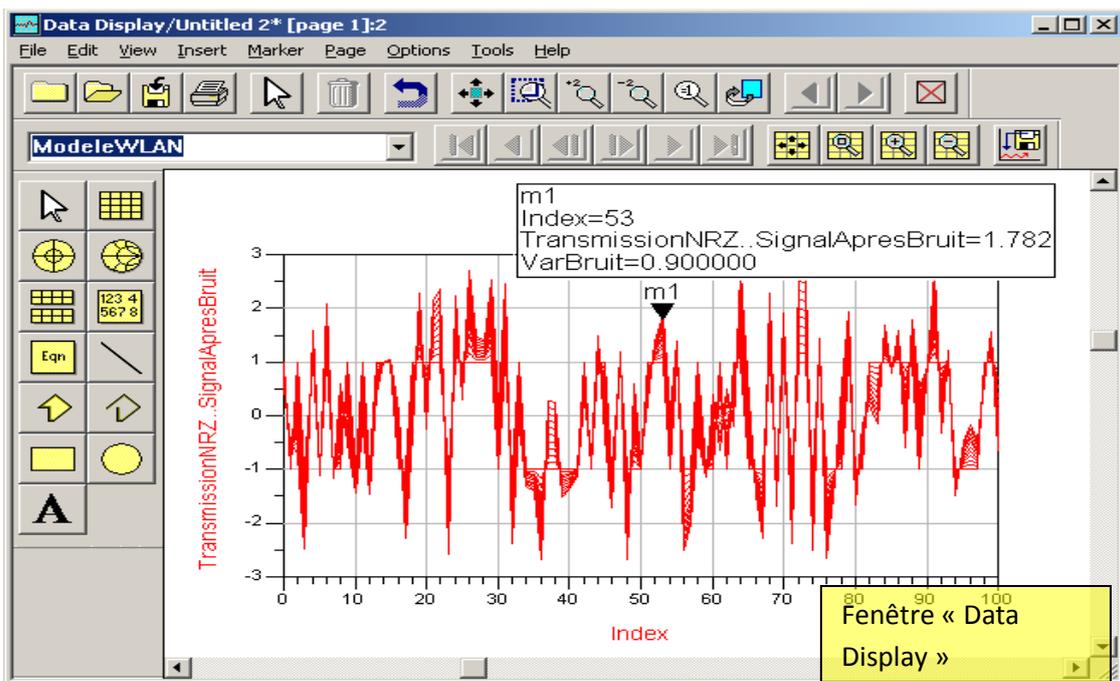


Figure 3- 6: Fenêtre d'affichage des résultats

Dans une page « data display »

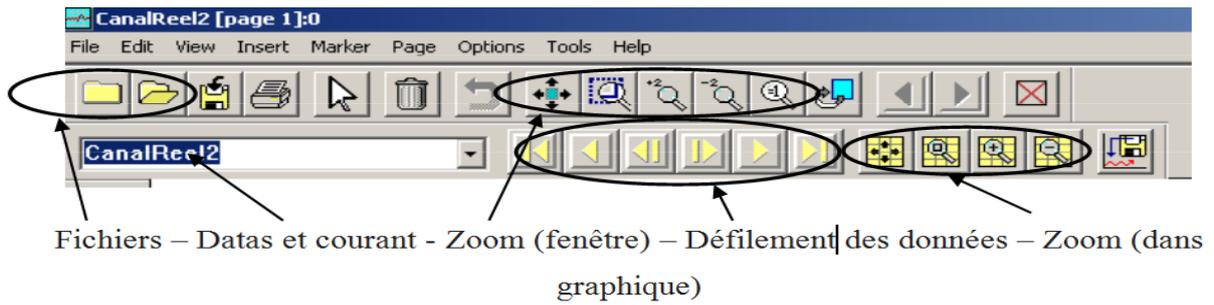


Figure 3- 7: Barre d'outils de la fenêtre d'affichage des résultats

3.5 Conception de la chaîne de transmission

3.5.1 Schéma en bloque de la chaîne

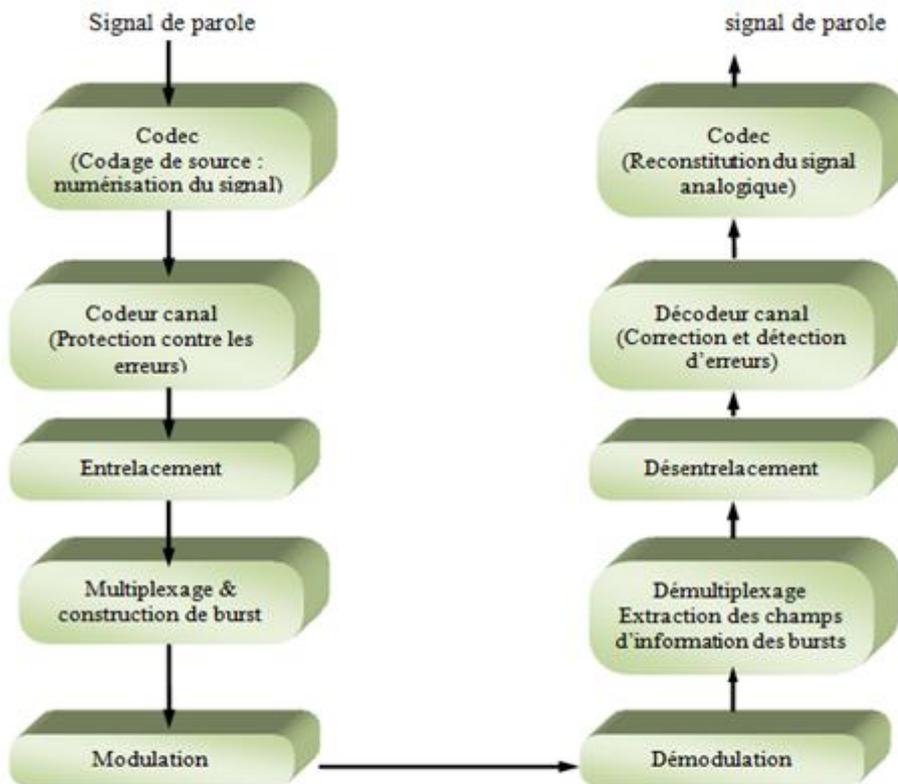
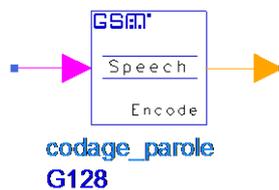


Figure 3- 8: Architecteur en bloque d'une chaîne de transmission

3.5.2 Implémentation de la chaîne dans ADS

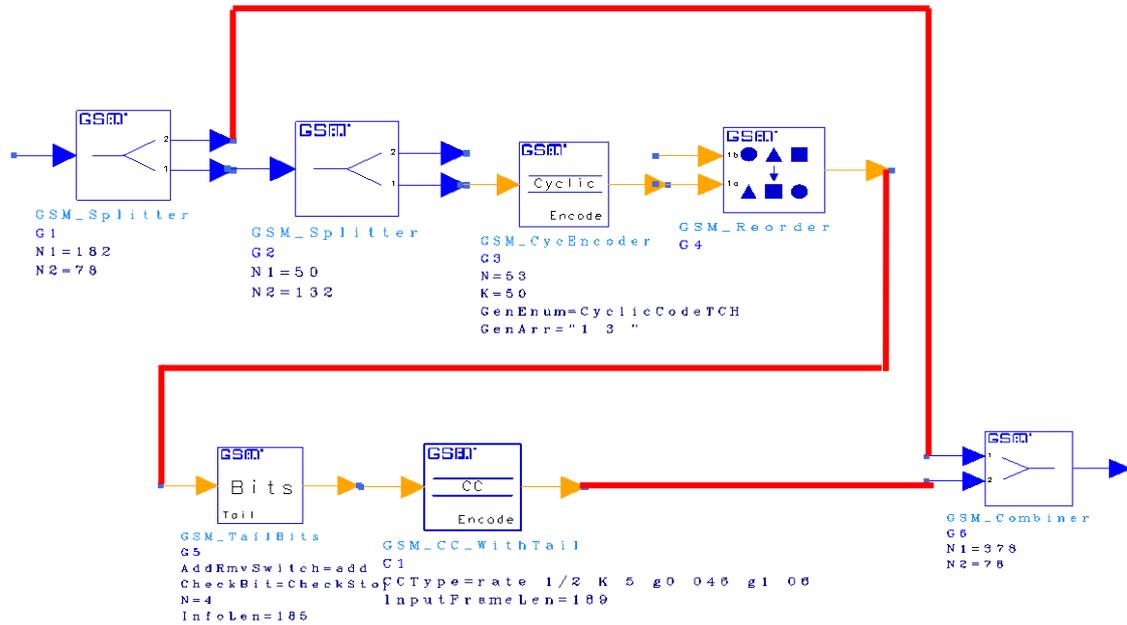
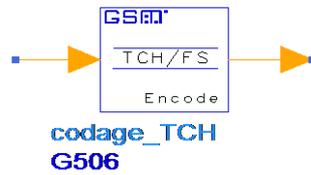


En premier lieu on utilise le bloc GSM Read File présenté ci-dessus, pour fournir une source de données PCM. Ces dernières sont lues à partir d'un fichier WAV PCM de 16 bits spécifié par File Name, et il sort sous un court format entier. Un jeton de sortie est produit à chaque tir.

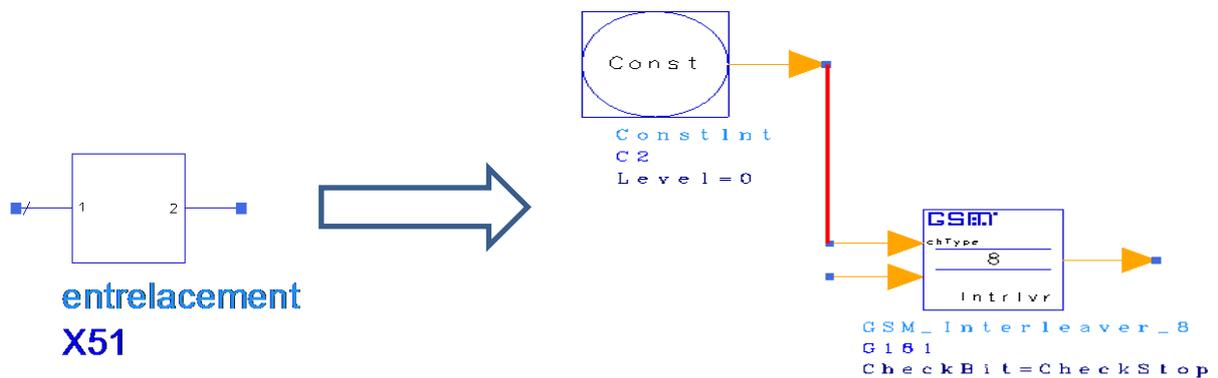


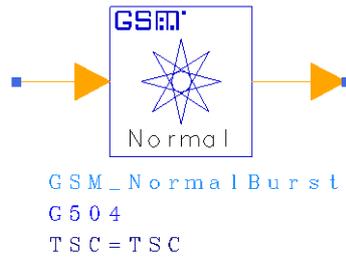
Puisque notre source est analogique, on doit la numériser car le GSM est un système numérique. Et pour cela, on utilise le bloc codage parole présenté ci-dessus.

Pour faire passer le signal numérisé par un canal, il doit être protégé par le bloc codage TCH/FS qui a pour l'encodage canal de trafic plein débit. Ce bloc contient deux diviseurs servant à la séparation entre les différentes classes, et un encodeur cyclique utilisé précisément pour la classe 1a, on trouve aussi le bloc GSM Reorder qui est destiné à l'organisation des informations des classes 1, il existe aussi le bloc GSM tail bits qui ajoute quatre (04) bits pour vider le registre de l'encodeur convolutionnel alors que le codage convolutionnel est assuré par le bloc GSM CC Withtail, on remarque que le codeur convolutionnel code les deux première classes et leur donne une forme précise. Pour assembler les trois classes, on place le bloc GSM combiner. L'ensemble des blocs formant le TCH/FS est présenté dans le schéma suivant:

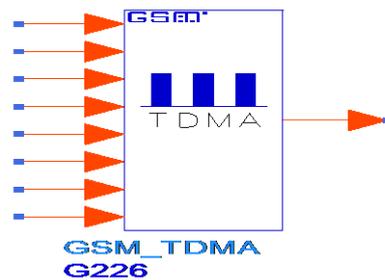


Après l'encodage canal on entrelace les bits via le bloc d'entrelacement qui figure dans le schéma suivant:



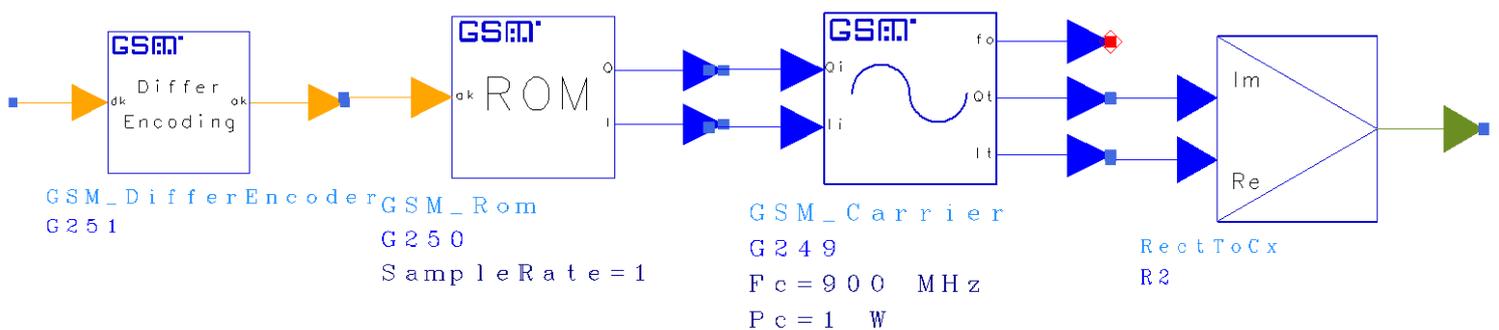


La transmission des informations dans le système GSM se fait sous forme de bursts, donc on utilise le bloc GSM normal burst qui s'occupe de la construction et l'organisation des normal bursts selon les normes.

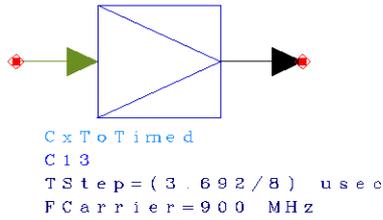


Après le passage par tous ces blocs, nous faisons le multiplexage à travers le bloc GSM TDMA qui sert à construire la trame TDMA conforme aux normes GSM.

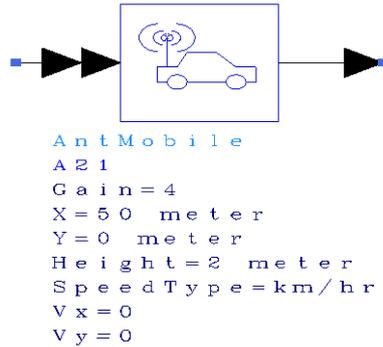
En sortant du TDMA, le signal passe par le bloc GSM GMSKMod qui se compose des blocs suivants:



- GSM_differEncoder met en œuvre un codage différentiel.
- GSM_Rom sert à générer i et q du signal modulé.
- GSM_carrier, le bloc est utilisé pour générer le signal modulé qui représente l'équivalent d'une enveloppe complexe et de la fréquence porteuse.
- RectToCx sert à convertir les entrées réelles et imaginaires en une sortie complexe.



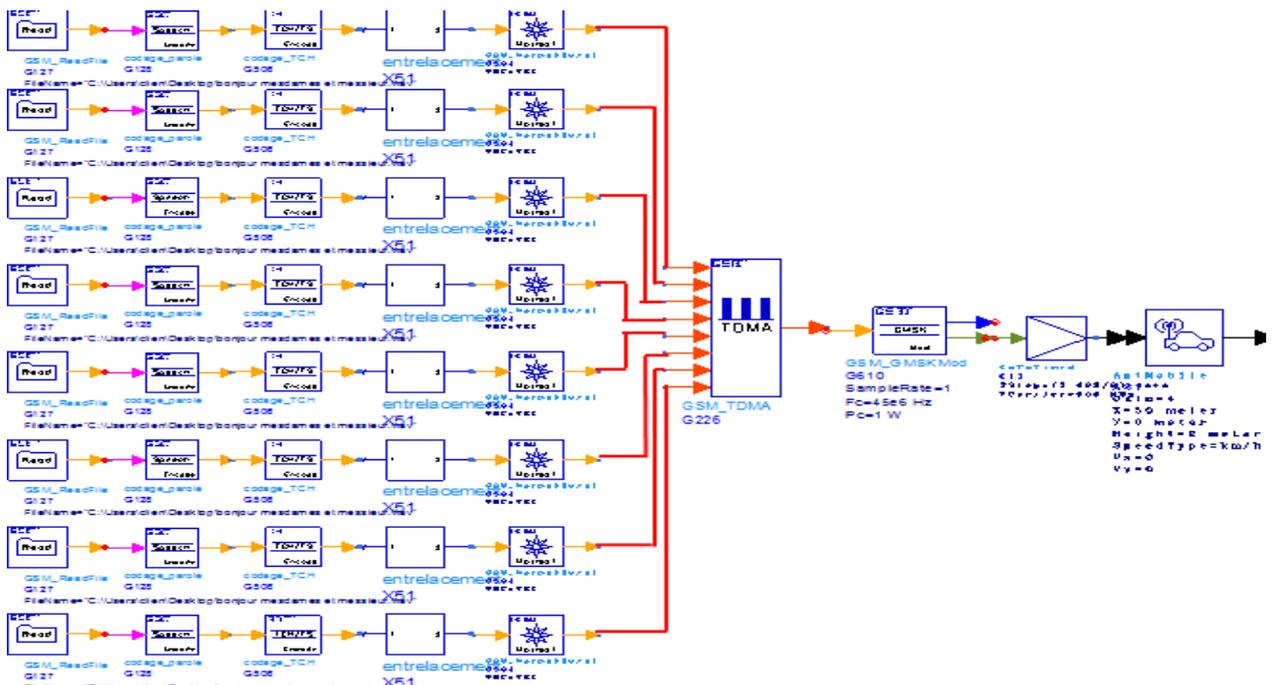
Suite à l'entrée du signal modulé GMSK dans le bloc Cx To Timed, il sera converti d'un signal complexe $x[n]$ vers un signal temporel $y[nT]$ dont le T est égale à Tstep.

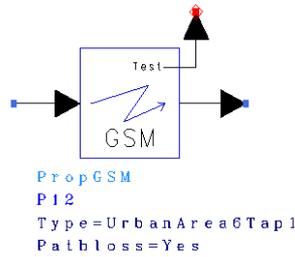


Pour transmettre notre signal il faut qu'il traverse une antenne d'émission alors on a placé une antenne qui a un gain précis (amplification de 4 dB)

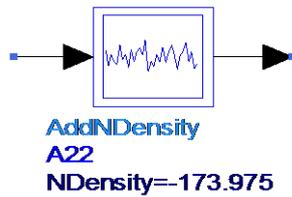
Le schéma suivant représente l'ensemble des blocs cités multiplié par huit (08) qui représente le nombre d'abonnés servant d'une même TDMA. Reliés au bloc GSM GMSKMod suivi du bloc Cx To Timed pour achever la première partie de la chaîne avec le bloc Antmobile.

1^{er} partie de la chaîne de transmission

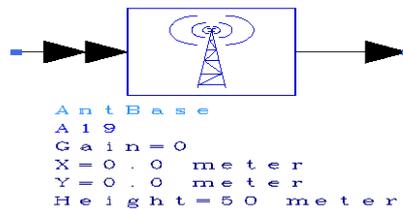




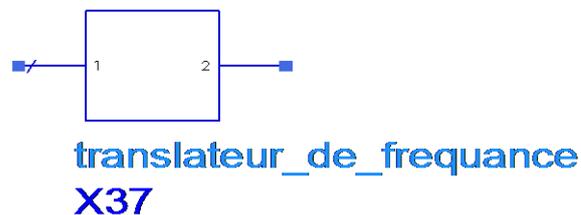
Le canal utilisé dans cette chaîne est un canal à trajets multiples modèles directionnelle basé sur les spécifications GSM ce canal est fourni par le bloc PropGSM.



Puisque les canaux parfaits n'existent qu'en théorie, et pour être plus proche de la réalité nous avons fait passer le signal dans le bloc AddNDensity qui nous fournira un bruit blanc gaussien de densité de bruit déterminé.

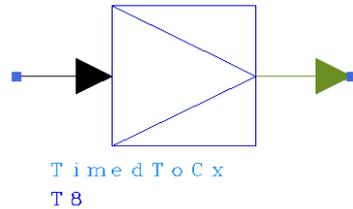
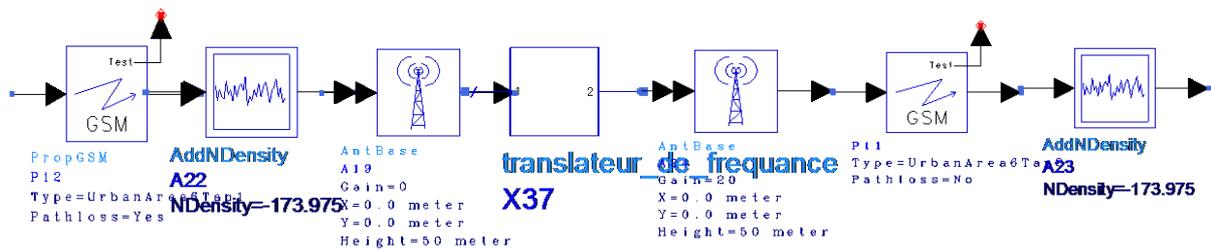


On a utilisé le bloc AntBase comme une antenne de BTS, ce bloc défini la position et la hauteur de la BTS.

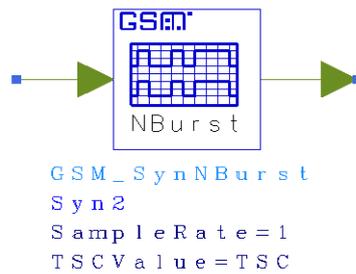


Sachant que les fréquences de la liaison montante ne sont pas les mêmes que celles de la liaison descendante, nous devons faire une translation de fréquence suivant les normes GSM en se servant du bloc translateur de fréquence représenté ci-dessus.

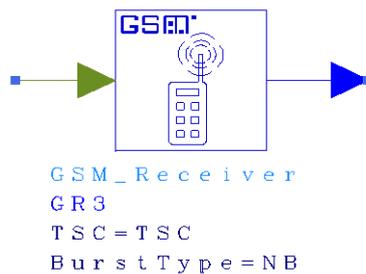
2^{eme} partie de la chaîne de transmission



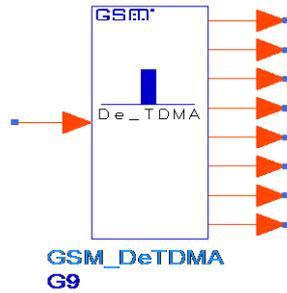
Le bloc TimedToCx convertit un signal temporisé vers un signal complexe cette opération est indispensable pour que le signal entre au bloc suivant (GSM_SynNBurst)



Le bloc GSM_SynNBurst est utilisé pour implémenter la synchronisation des bits pour le burst normal



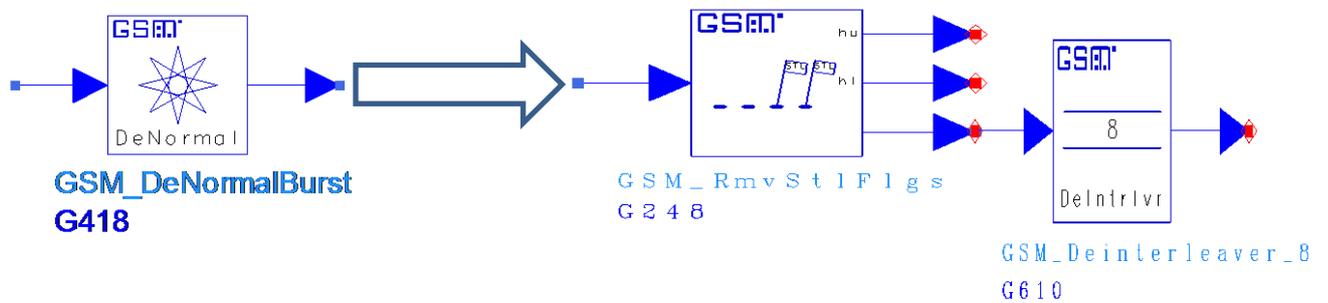
GSM_Receiver ce bloc on l'utilise pour rétablir la séquence des données à partir des signaux reçus et synchronisés ainsi que pour démoduler ces signaux.



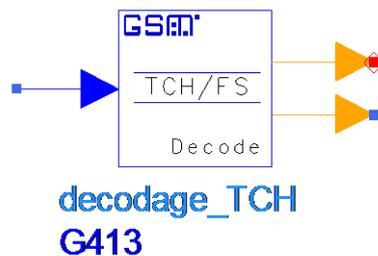
Le signal obtenu passe par le bloc GSM_DeTDMA qui sert à démonter la trame de TDMA en 8 intervalles de temps.

Le signal passe par le bloc GSM_DeNormal Burst qui démonte la salve normale de 156 bits.

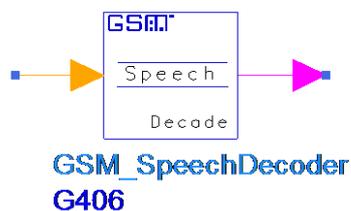
Le bloc invers_entrelacement se compose des deux (02) blocs suivants:



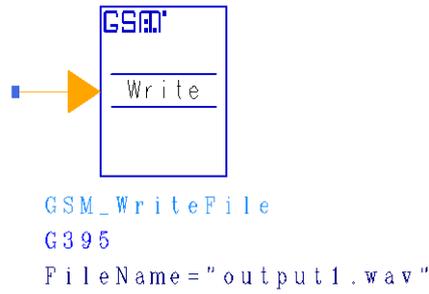
- Le bloc GSM_RmvStlFlgs supprimera les deux bits qui indiquent le type de canal
- Et le bloc GSM_deinterleaver désentrelace les données



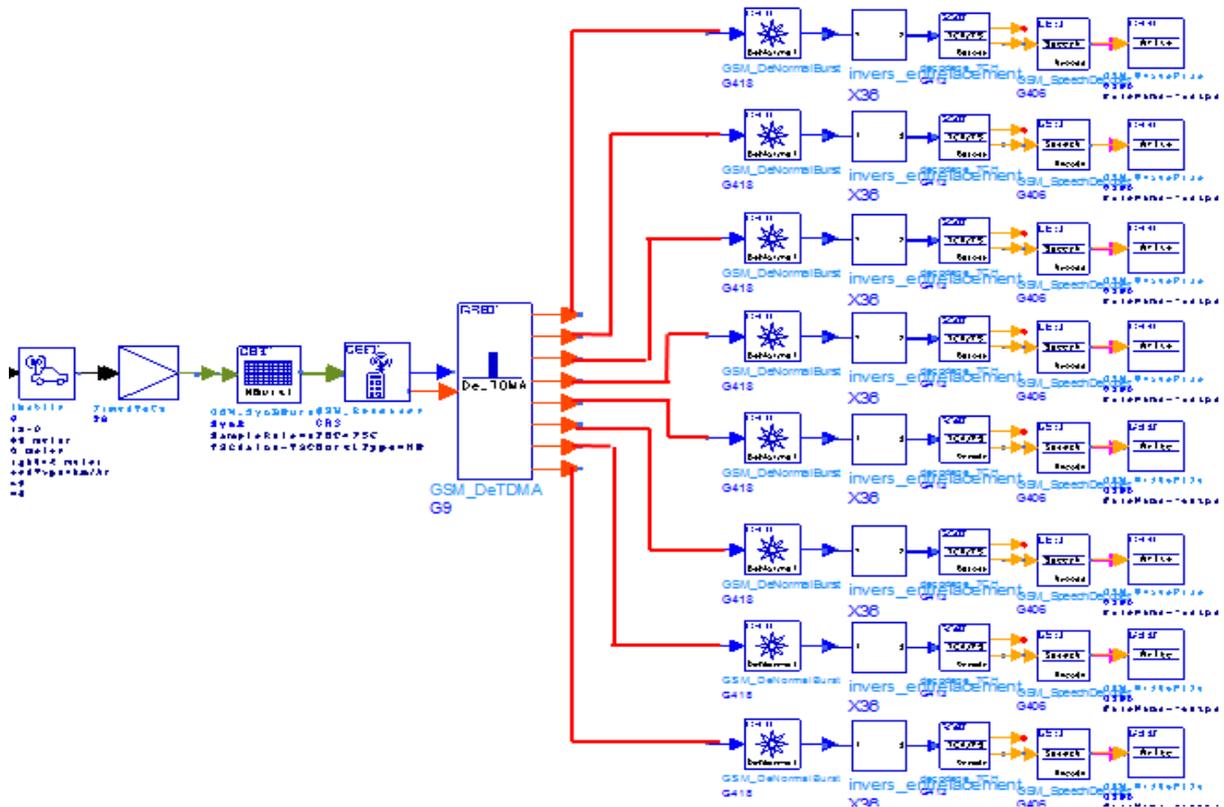
nous sommes arrivés à la phase de décodage des données du canal de trafic à plein débit (TCH / FS) qui se fait dans le bloc GSM_TCHFS_Decoder



le signal passe par le bloc GSM_Speech_Decoder à fin de rendre le signal analogique, ce dernier est enregistré par le bloc GSM_Writefile



3^{eme} partie de la chaîne de transmission



Les paramètres de la simulation sont les suivant

Nom	définition	Valeur
TSC	code de séquence d'apprentissage	0
SampleRate	nombre d'échantillons dans un intervalle de bit	1
Fc	la fréquence porteuse (liaison montante)	900 MHZ
Pc	puissance de la modulation	1W
TStep	pas de temps	3.692 /8μsec
Gain	Gain de l'antenne mobile (liaison montante)	4dB
X	coordonnée de position d'antenne mobile sur l'axe X (liaison montante)	0 m
Y	coordonnée de position d'antenne mobile sur l'axe Y(liaison montante)	0 m
Height	Hauteur de l'antenne mobile au-dessus de la hauteur plane XY (liaison montante)	2 m
Speed Type	Unité de vitesse de mobile	Km /h
Vx	Vitesse de mobile sur axes X (liaison montante liaison descendante)	0
Vy	Vitesse de mobile sur axes Y (liaison montante liaison descendante)	0
Type	Type de canal de transmission (liaison montante)	UrbanArea6Tap1
Pathloss	affaiblissement de propagation (liaison montante)	Yes
NDensity	Densité spectrale de bruit (liaison montante)	-173.975
Gain	Gain de l'antenne BTS (antenne de réception)	0 dB
X	coordonnée de position d'antenne BTS sur L'axe X (antenne de réception)	0 m
Y	coordonnée de position d'antenne BTS sur L'axe Y (antenne de réception)	0 m
Height	Hauteur de l'antenne BTS au-dessus de la hauteur plane XY (antenne de réception)	50 m
Fc	Fréquence de porteuse (liaison descendante)	945 MHZ

Gain	Gain de l'antenne BTS (antenne d'émission)	20 dB
X	coordonnée de position d'antenne BTS sur L'axe X (antenne d'émission)	0 m
Y	coordonnée de position d'antenne BTS sur L'axe Y (antenne d'émission)	0 m
Height	Hauteur de l'antenne BTS au-dessus de la hauteur plane XY (antenne d'émission)	50 m
Type	Type de canal de transmission (liaison descendante)	UrbanArea6Tap2
Pathloss	L'inclusion de grande envergure affaiblissement de propagation (liaison descendante)	No
NDensity	Densité spectrale de bruit en sortie (liaison descendante)	
Gain	Gain de l'antenne mobile (liaison descendante)	0dB
X	coordonnée de position d'antenne mobile sur L'axe X (liaison descendante)	50 m
Y	coordonnée de position d'antenne mobile sur axe Y (liaison descendante)	0 m
Height	Hauteur de l'antenne mobile au-dessus de la hauteur plane XY (liaison descendante)	2 m

Tableau 3- 1: Les paramètres de la simulation

3.6 Conclusion

Nous avons donné une introduction sur l'ADS, défini les différents modules nécessaire pour la chaîne de transmission et enfin établi les résultats qui montrent la fonctionnalité de cette chaîne

CHAPITRE 4:

Résultats de la simulation

Chapitre 4 Résultats de la simulation

4.1 Introduction

Après la réalisation de notre chaîne, nous allons mettre les résultats obtenus en évidence dans ce chapitre.

❖ Aboutissements

La figure 4-1 représente le signal analogique fourni par le bloc GSM Read File

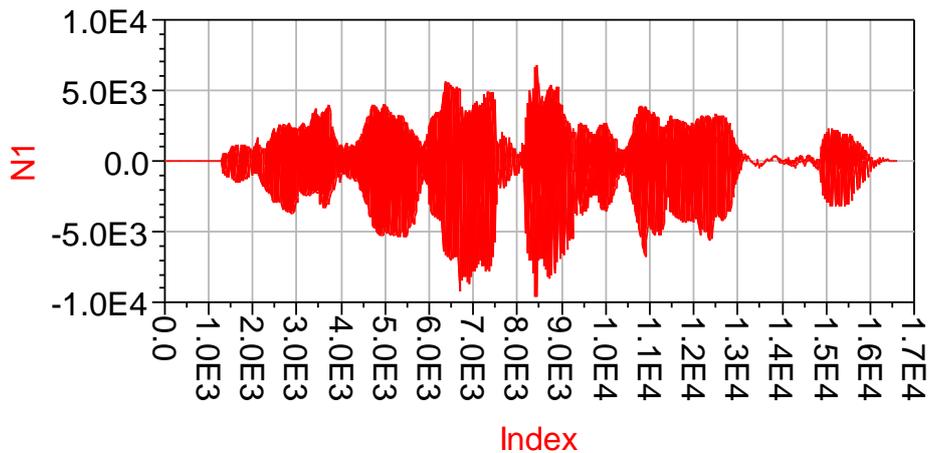


Figure 4- 1: Signal analogique de parole (N1)

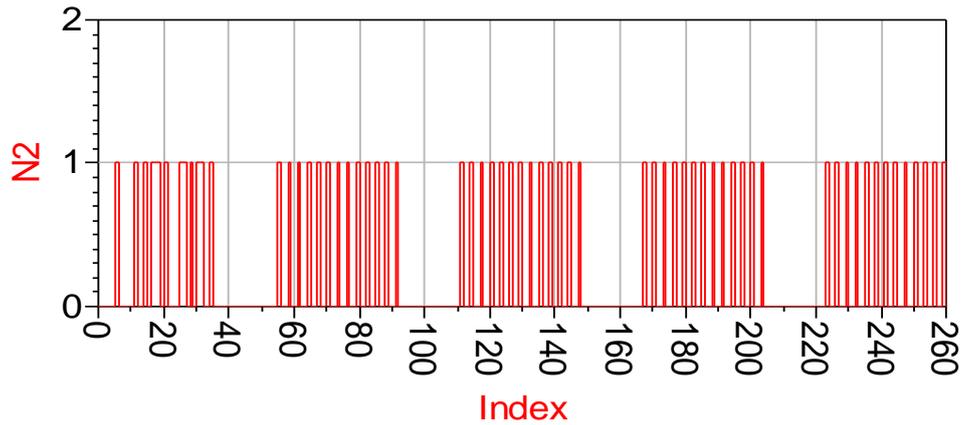


Figure 4- 2: Signale numérique (N2)

Dans la figure 4-2 nous remarquons la transformation du signal analogique en un signal numériques et cela après son passage par le bloc codage_parole.

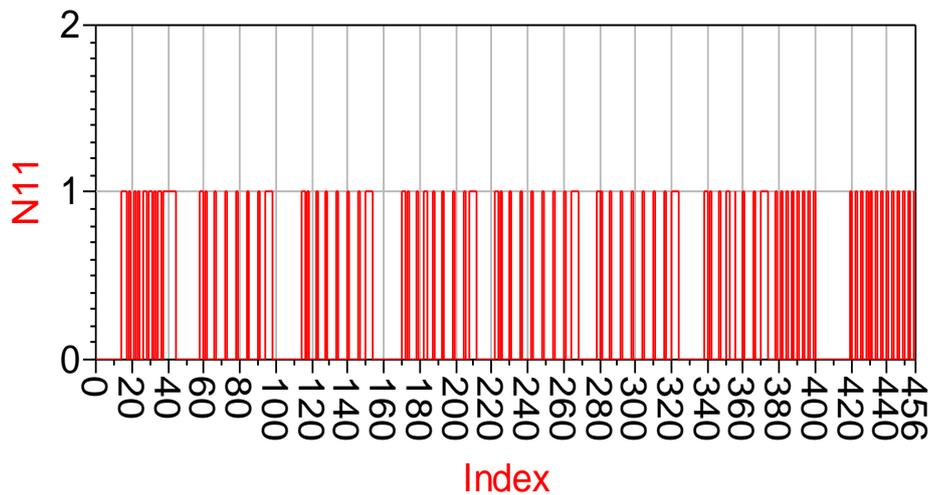
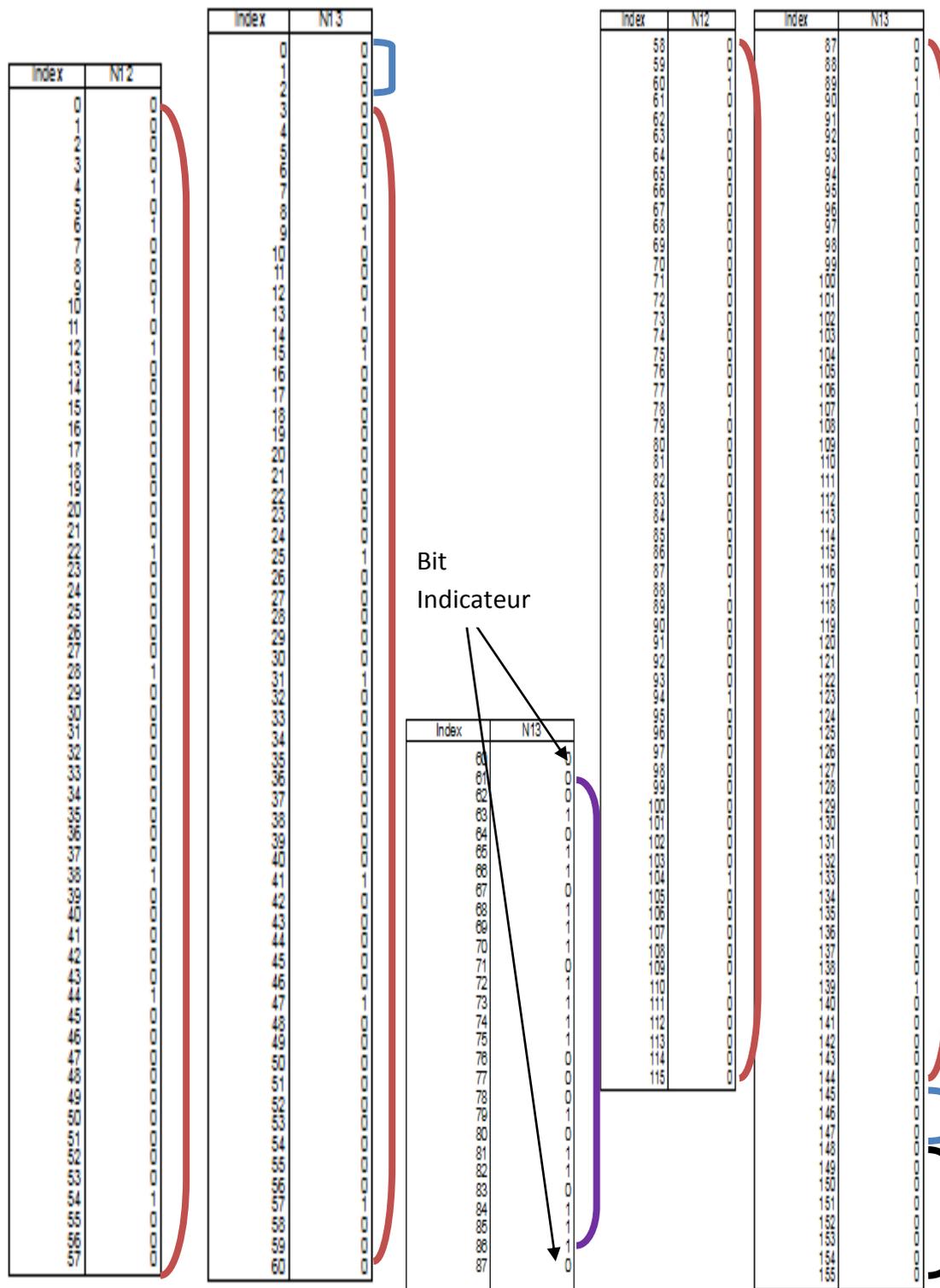


Figure 4- 3: Le signal après le codage TCH (N11)

Le signale représenté à la figure 4-3 nous montre que les 260bit existant sont devenus 456 bit selon le codage TCH/FS que nous avons expliqué dans le 2^{eme} chapitre.



■ TB
 ■ les bits d'information
 ■ séquence d'apprentissage
 ■ GP

Tableau 4- 1: Format d'un burst normale bien détaillé

Le tableau ci-dessus expose les détails d'un burst avec 114 bit d'information utile et 26 bit de séquence d'apprentissage et les deux bits indicateurs de type de canal (trafic ou signalisation) ainsi que les 6 bits de TB et les 8 bits de GP.

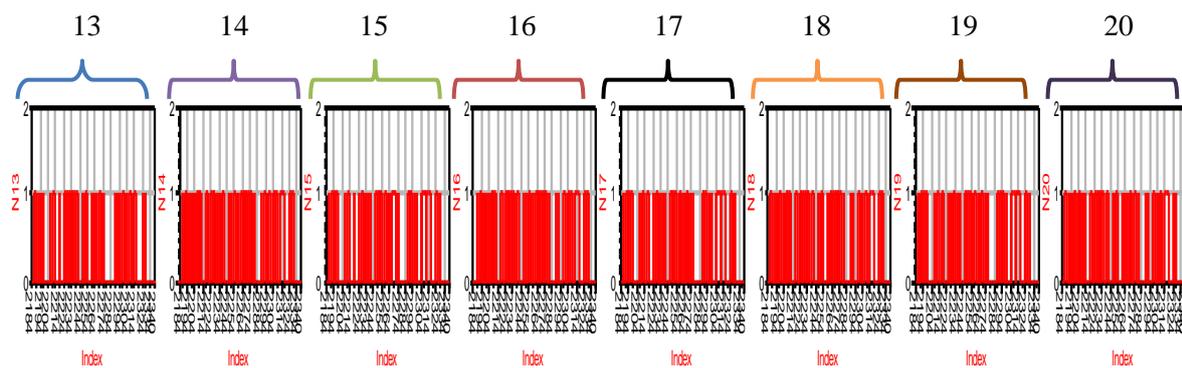


Figure 4- 4: Schéma représentatif des signaux d'entrée de TDMA

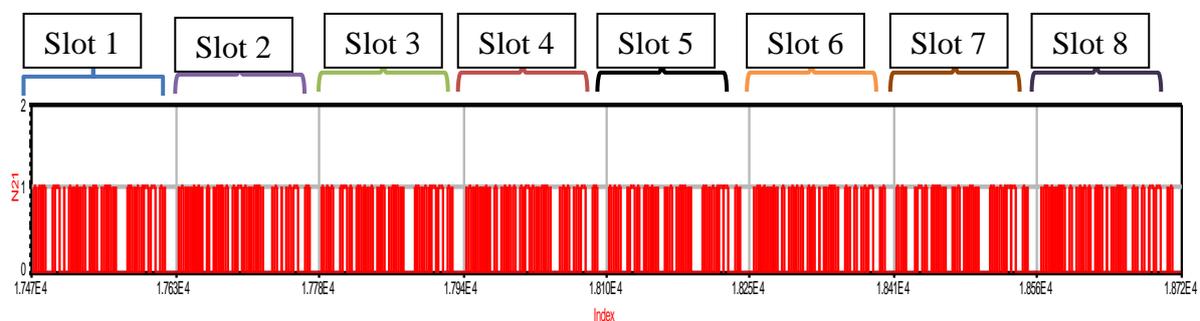


Figure 4- 5: Schéma représentatif de signale de sortie TDMA(N21)

Les figures 4-4 et 4-5 représentent le fonctionnement de TDMA qui prend un slot de 156 de chaque abonné afin de les transmettes dans le canal.

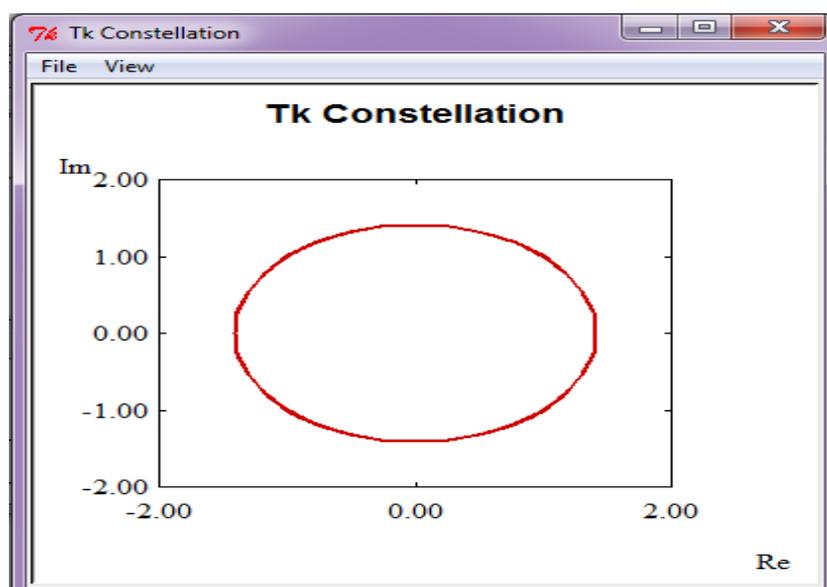


Figure 4- 6: diagramme de constellation

La figure 4-6: illustre les deux parties de signal modulé GMSK (partie imaginaire et real) sous forme de constellation.

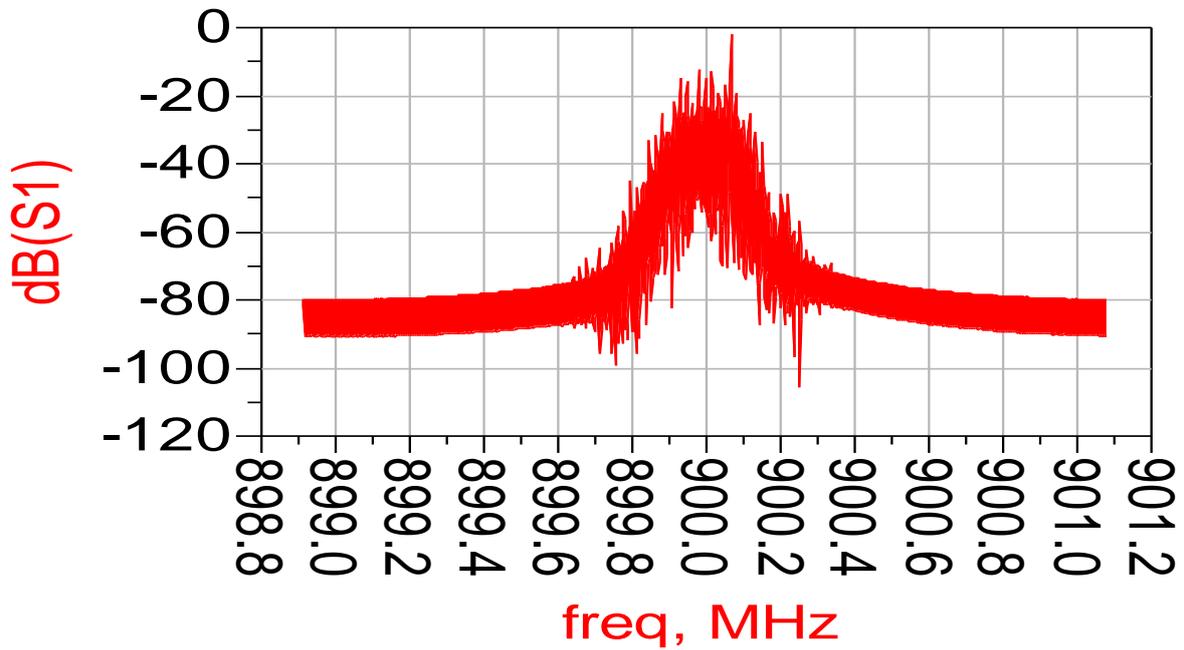


Figure 4- 7: Spectre de modulation GMSK

Dans la figure 4-7 on présente la modulation GMSK dans le domaine temporel, la lobe principale se situe au niveau de la fréquence 900 Mhz (fréquence de porteuse).

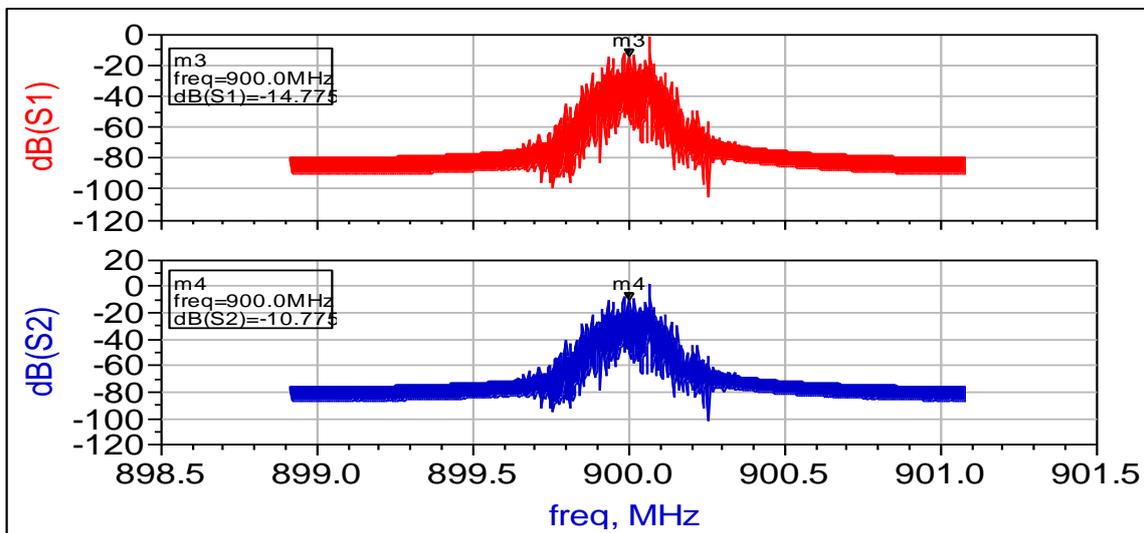


Figure 4- 8: Signal avant et après l'amplification

La figure 4-8 nous permet de distinguer l'effet d'amplification du signal au niveau de l'antenne d'émission avec une valeur de 4 dB.

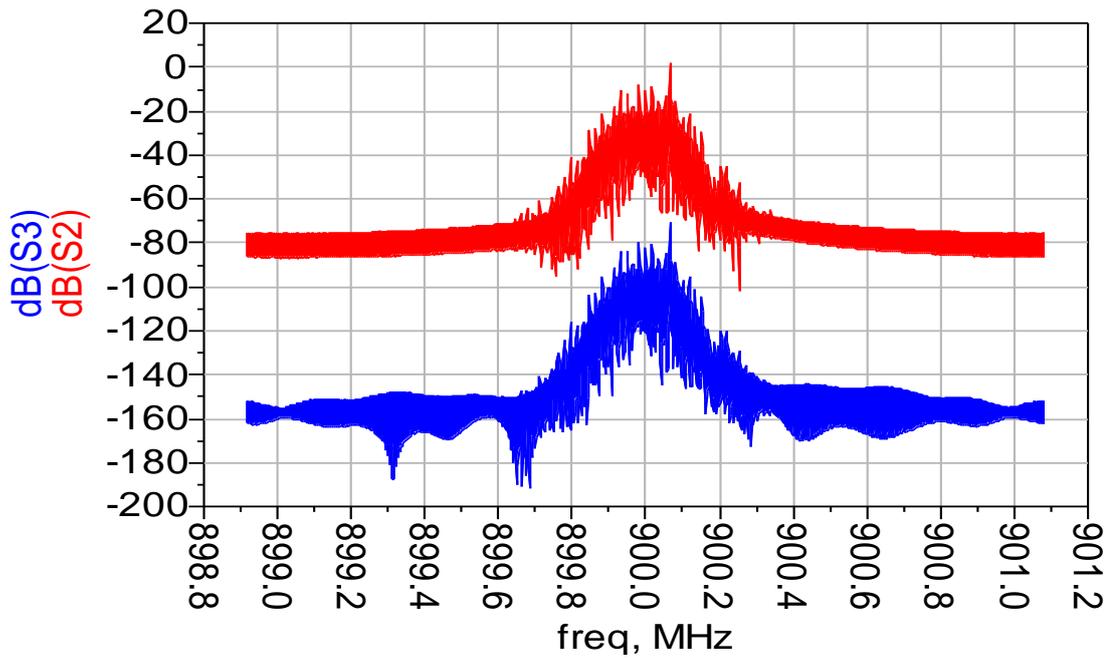


Figure 4- 9: Les effets de propagation dans un canal

Dans cette figure on visualise les perturbations qui se sont passé lors d'addition du bruit et la diminution de la puissance.

La figure suivante 4-10 représente la translation fréquentiel entre la liaison montante 900 Mhz et la liaison descendante 945 Mhz.

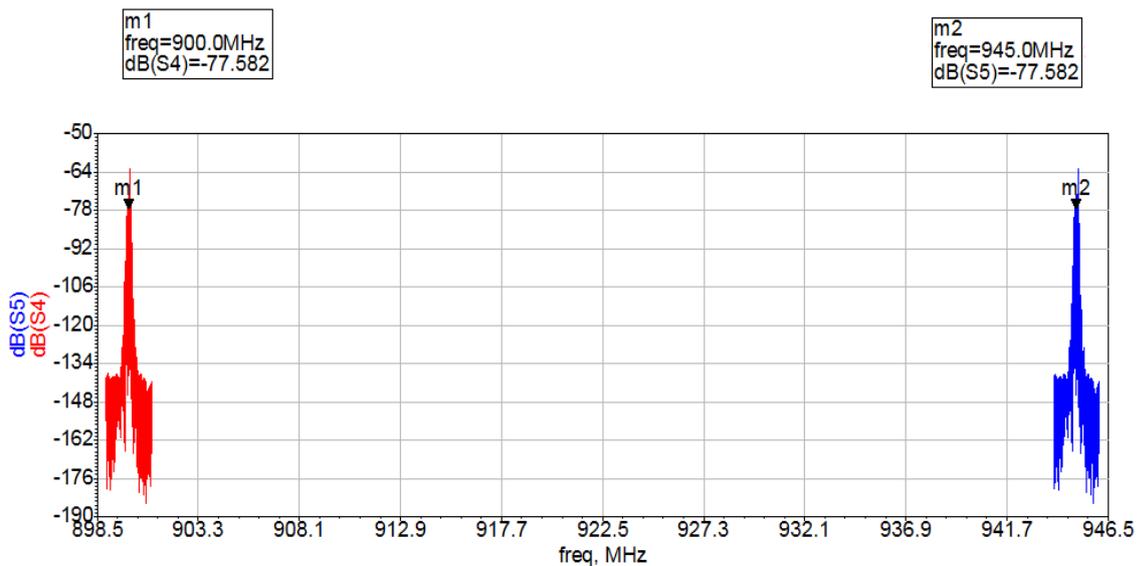


Figure 4- 10: Translation fréquentiel

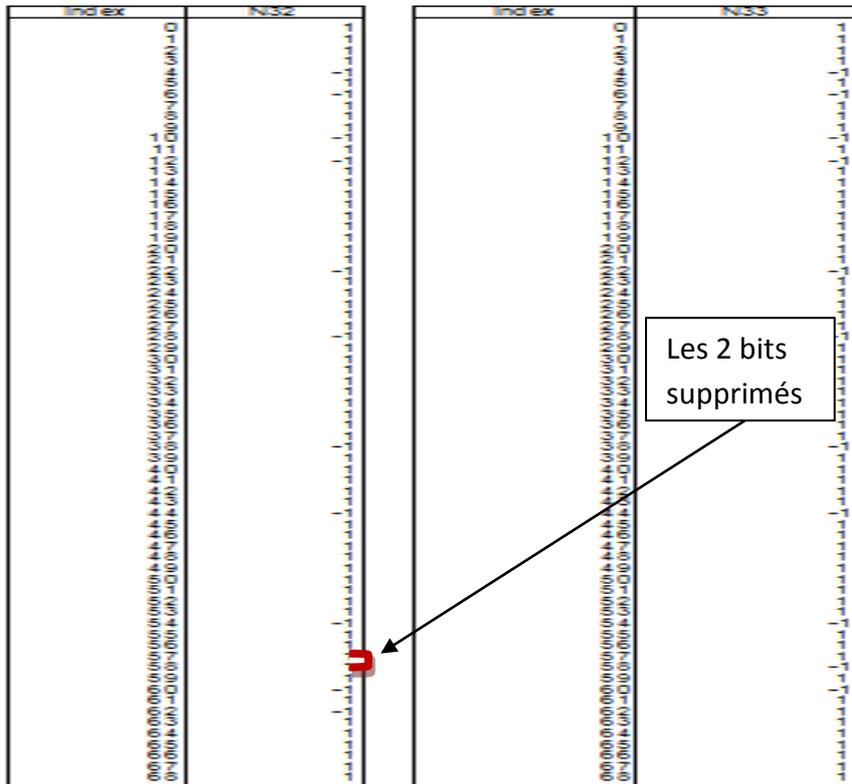


Tableau 4- 2: Représentation du rôle du bloc removestealing flags

Ce tableau représente l'effet de bloc removestealing flags dans la partie de réception supprime les deux bits indicateur du canal.

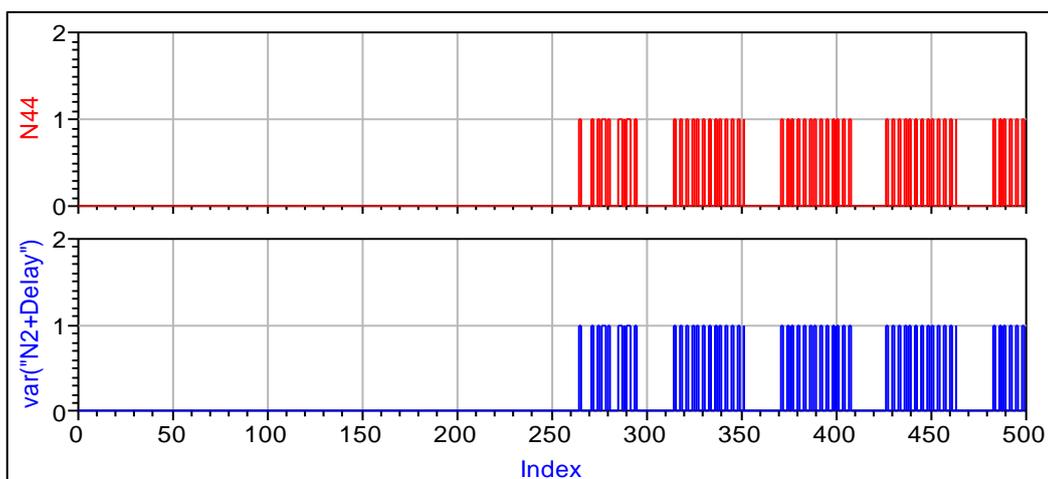


Figure 4- 11: Comparaison de signale avant le codage et après décodage

On a fait une comparaison entre le signal numérique d'entrée et le signal de sortie on remarque qu'il y a un retard de 260 bits et que les deux signaux sont identiques, ce qui prouve que l'information est bien reçue.

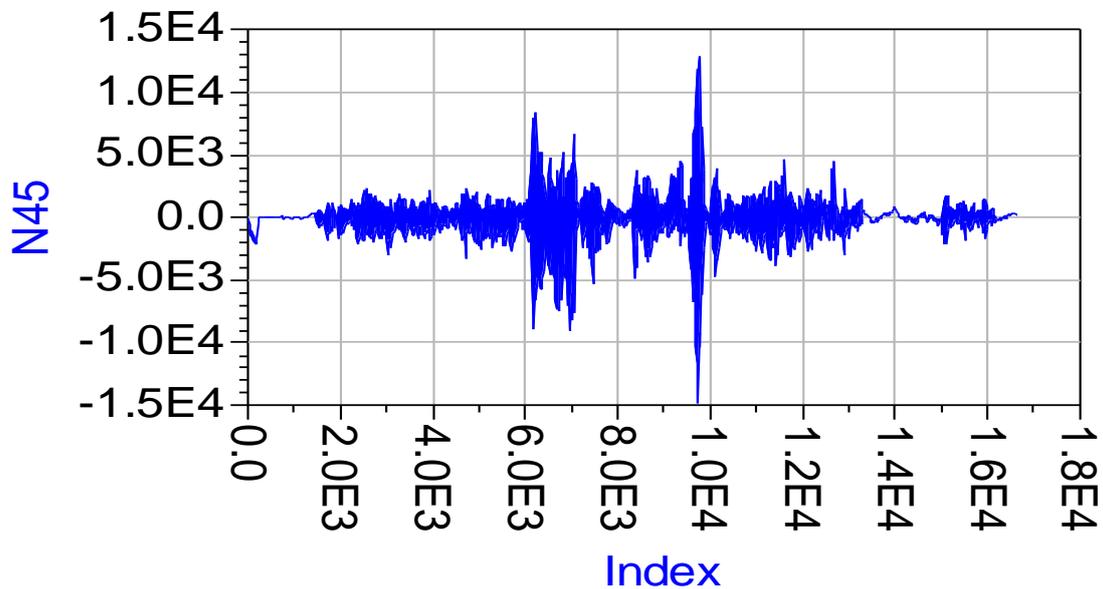


Figure 4- 12: Signal analogique de parole de sortie (N45)

Cette figure présente le signal analogique de sortie après le décodage source.

La chaîne étudiée peut affronter des obstacles lors de son fonctionnement et pour les résoudre, on procède à quelques techniques. Et à fin de démontré cela, nous avons créé des exemples de problèmes et nous les avons traité.

D'une manière générale, la grande distance peut provoquer des problèmes qui empêchent la transmission correcte des informations.

Par exemple dans notre chaîne, une fois la distance dépasse 1090 m avec un gain de 5db, on remarque l'apparition des erreurs comme représente la Figure 4-14. Qui affiche la différence entre le premier cas:

Distance = 1090m, gain = 5db

Et le deuxième cas, où nous avons pris le même gain = 5db, mais nous avons augmenté la distance à 1500m. Et dans ce dernier cas nous avons inscrit 1550 bits erronés.

1^{er} cas:
 Distance = 1090m,
 Gain = 5db

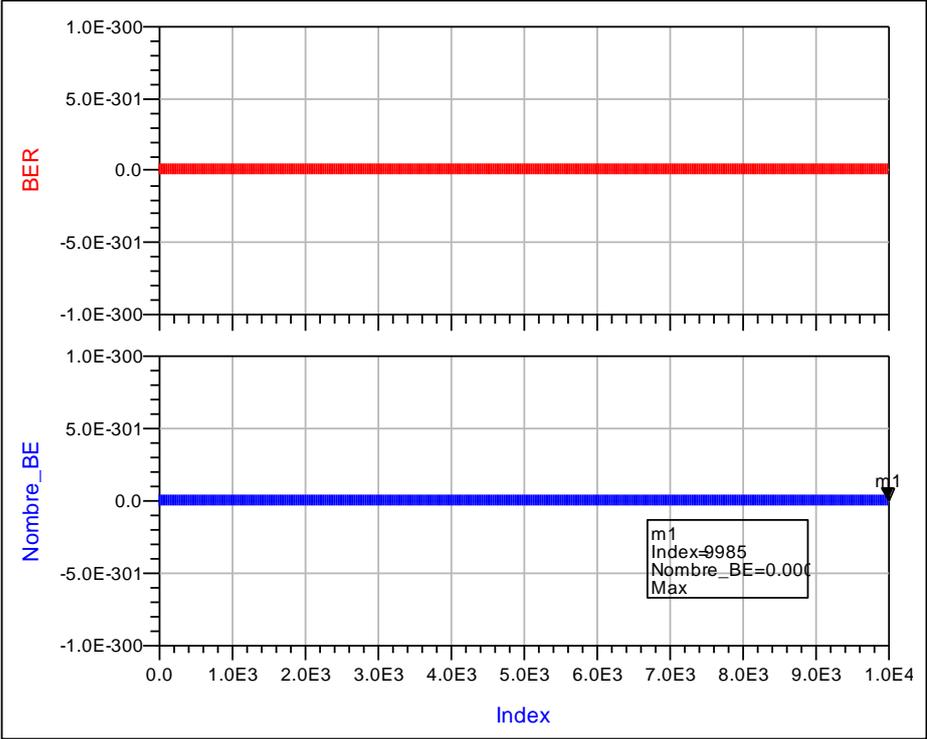


Figure 4- 13: Nombre de BE et le BER de 1er cas dans problème 1

2^{eme} cas:
 Distance = 1500m,
 Gain = 5db

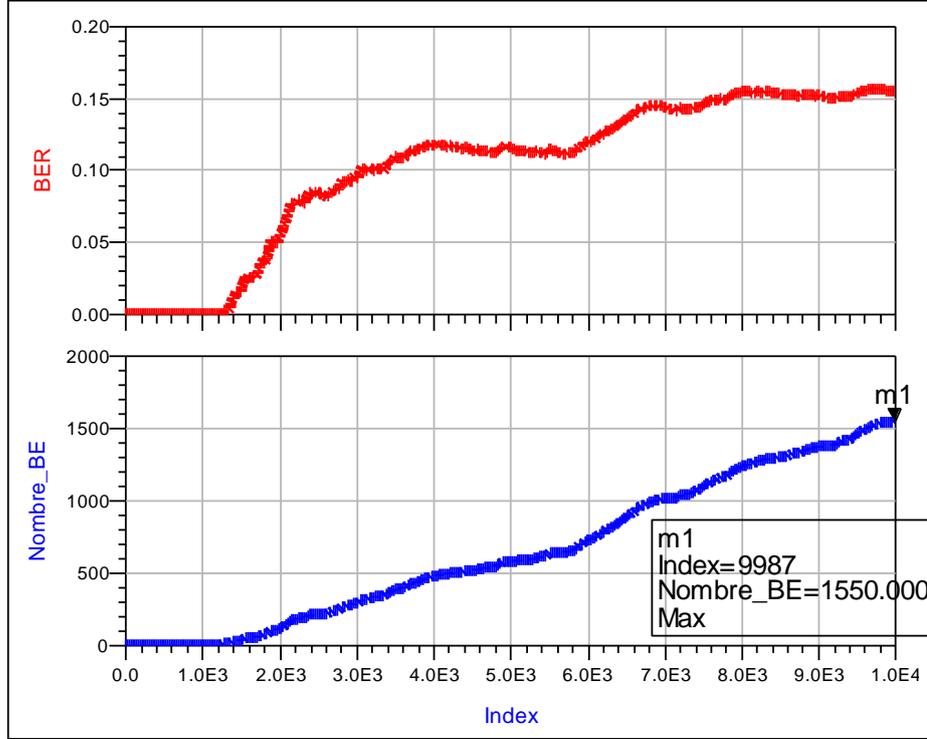


Figure 4- 14: Nombre de BE et le BER de 2ème cas dans problème 1

D'après le graphe ci-dessus, on remarque que l'apparition des bits erronés est directement proportionnelle avec l'augmentation de la distance, et comme solution pour ce problème, nous avons essayé d'augmenter la valeur du gain de la BTS. En donnant le gain = 10db, nous avons remarqué la diminution des bits erronés (5bits) Figure 4-15.

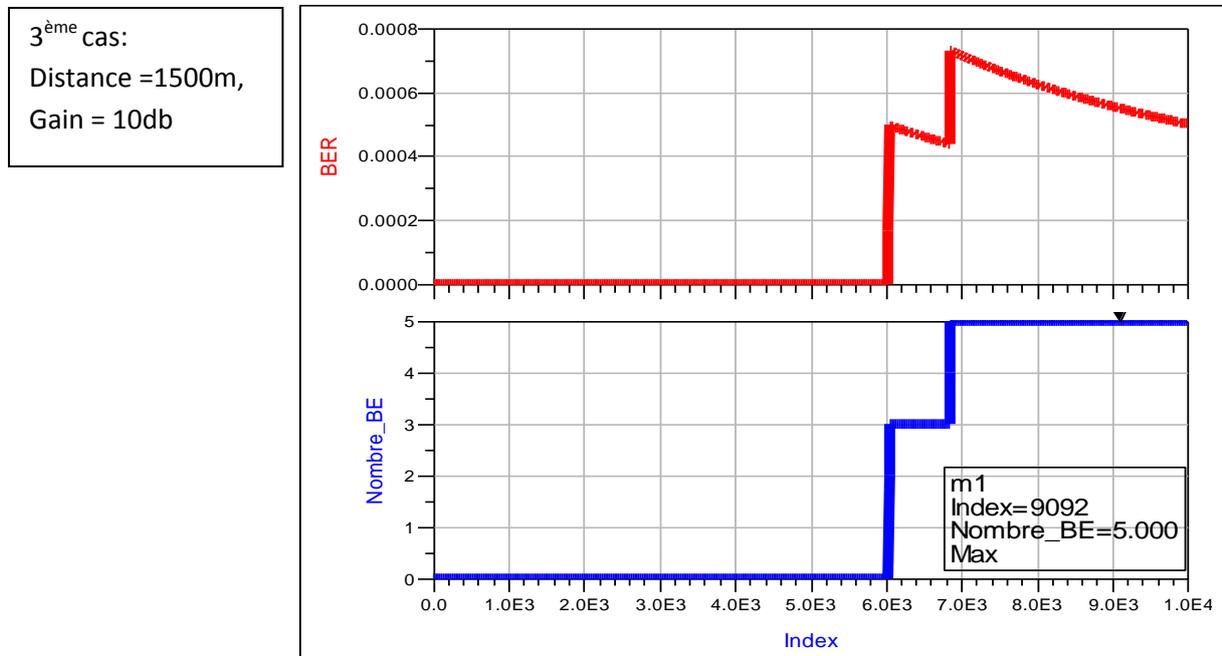


Figure 4- 15: Nombre de BE et le BER de 3^{ème} cas dans problème 1

Qui veut dire qu'on doit augmenter la valeur du gain jusqu'à l'obtention des résultats appropriés.

En second lieu, nous avons proposé le problème de bruit. En prenant $N_d = -134$ nous n'avons inscrit aucun bit erroné, Figure 4-16; mais dès que nous avons augmenté la valeur du bruit $N_d = -125$ nous avons obtenu 3729 bits erronés comme représente la Figure 4-17

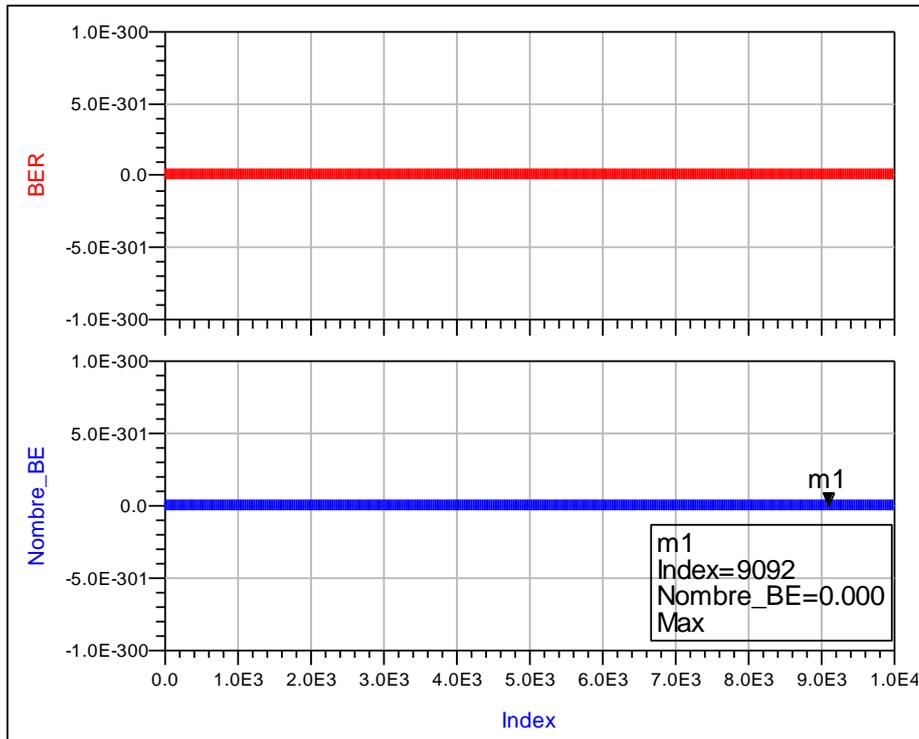


Figure 4- 16: Nombre de BE et le BER de 1er cas dans problème 2

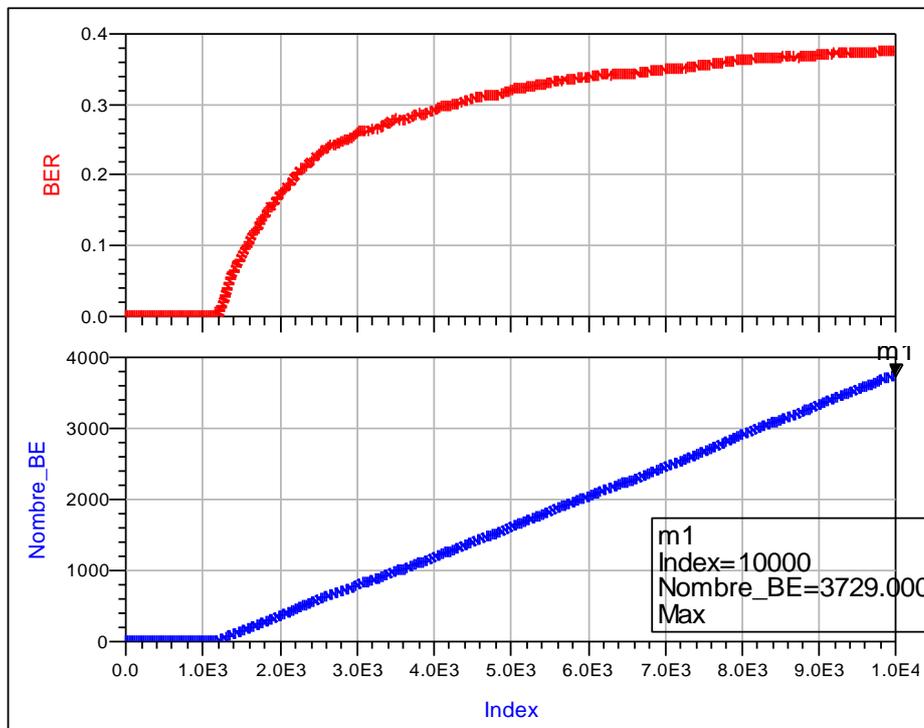


Figure 4- 17: Nombre de BE et le BER de 2ème cas dans problème 2

Afin de résoudre ce problème, nous avons intégré un filtre en bande de base au niveau de la liaison descendante. Nous avons remarqué la disparition des bits erronés, tels qu'illustre la Figure 4-18.

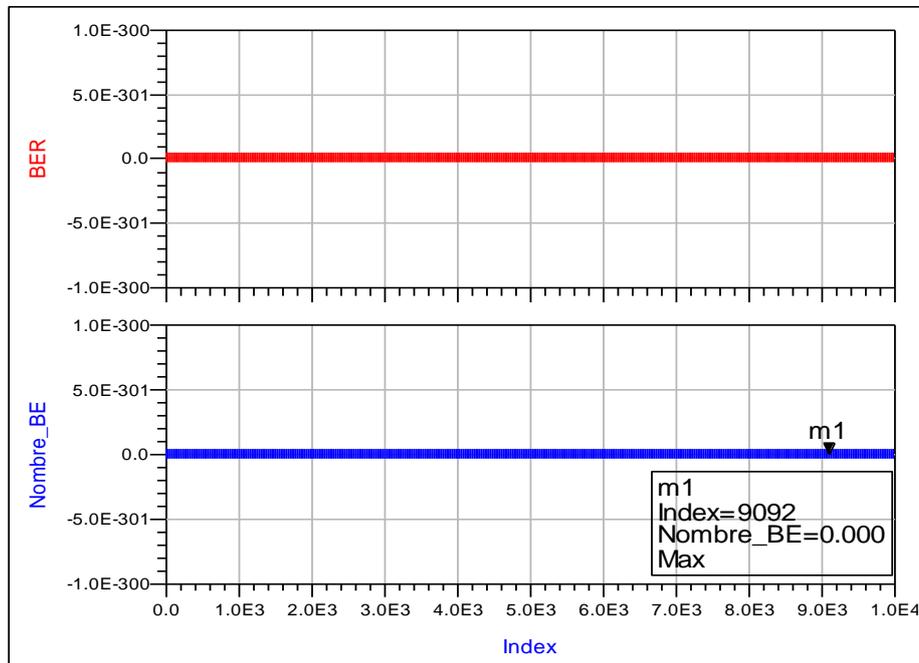


Figure 4- 18: Nombre de BE et le BER de 3ème cas dans problème 2

La figure suivante 4-19 représente l'effet du filtre que nous avons intégré.

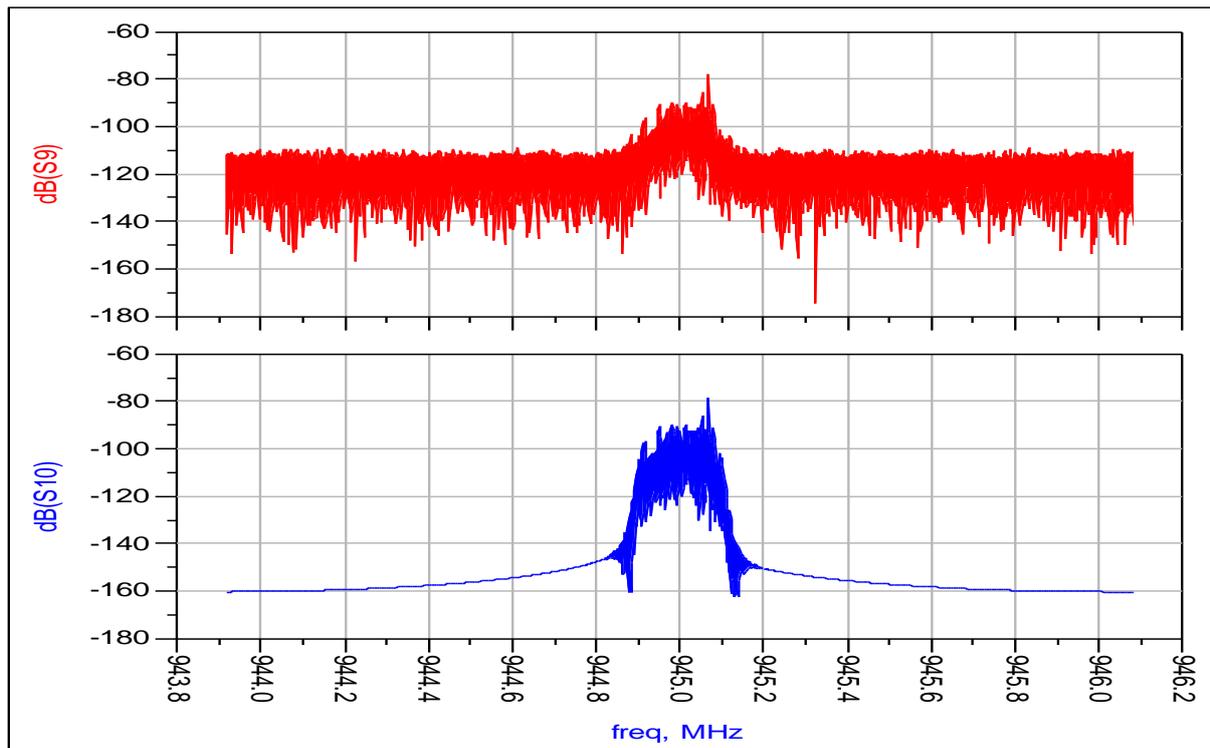


Figure 4- 19: L'effet du filtre

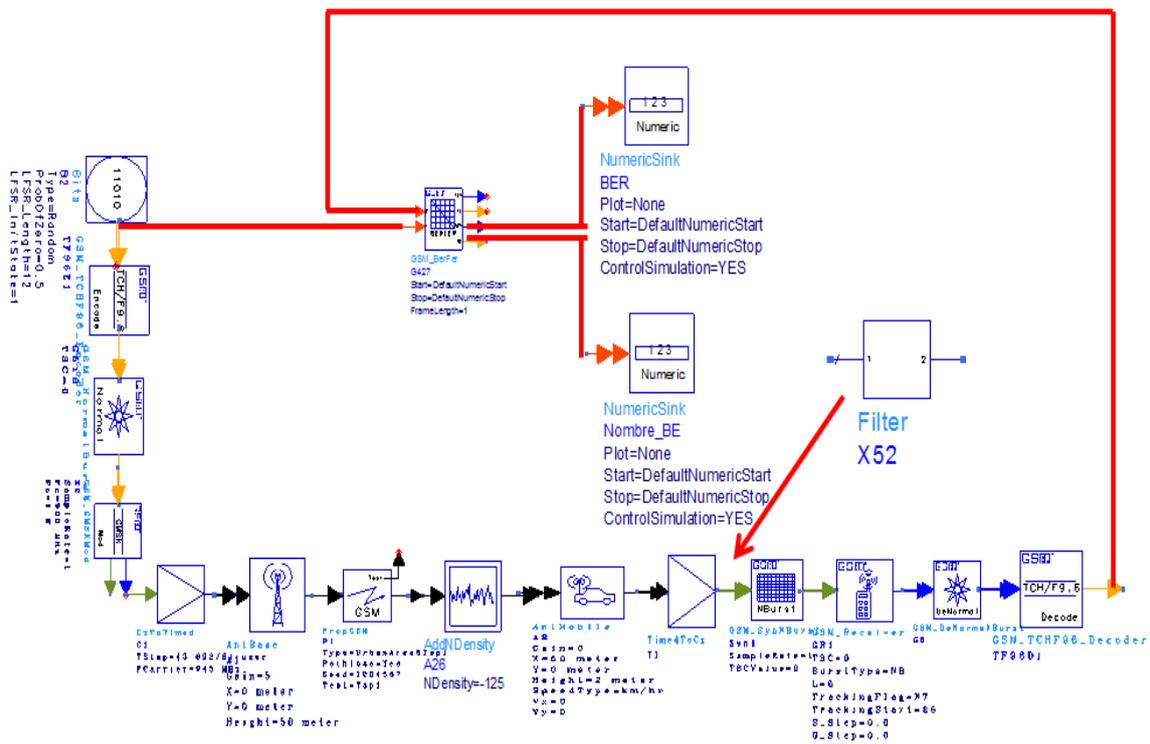


Figure 4- 20: Chaîne utilisée pour traiter les problèmes précédant

4.2 Conclusion

Enfin dans ce chapitre nous avons inscrit les résultats finals de la simulation de notre chaîne de transmission pour montrer les étapes poursuivies par le signal à fin d'arriver au récepteur.

Conclusion générale

Dans ce travail, une chaîne de transmission GSM a été conçue. Elle consiste à transférer des données (appel) d'un mobile vers un autre à travers la voie montante et descendante. Différents blocs ont été choisis pour le bon fonctionnement de la communication. Une voie a été enregistrée, numérisée, codée, modulée, décodée, démodulé et rétablie au niveau du récepteur. Les différents blocs de la chaîne sont bien détaillés dans ce mémoire pour faciliter la compréhension de la chaîne.

Les résultats obtenus montrent le bon fonctionnement de cette chaîne.

Comme perspective, nous pensons que ce travail (implémentation d'une chaîne de transmission GSM sous ADS) offrira une solution avancée et simple dans le domaine de la transmission cellulaire et précisément en ADS, et qui consiste une chaîne pour les futures travaux, notamment pour les nouvelles générations 3G, 4G.

Vocabulaire de télécommunication

Timing advance: Mécanisme consistant, pour le mobile, à anticiper l'émission du burst pour qu'il soit reçu par la BTS à l'intérieur d'un slot, compte tenu du délai de propagation. Le sigle TA désigne aussi la valeur d'anticipation codée sur 6 bits qui est transmise au mobile par la BTS. Elle est exprimée en durée bit. Un bit correspond à 3,69 ms d'aller-retour, soit une distance BTS-MS d'environ 550 m

Etalement de spectre: C'est une technique où un signal est transmis sur une bande passante considérablement plus large que l'ensemble des fréquences composant le signal original, si celui-ci était transmis par des méthodes classiques de modulation. Cette technique diminue le risque d'interférences avec d'autres signaux reçus tout en garantissant une certaine confidentialité

Codage Viterbi: Celui-ci proposait alors une solution optimale pour le décodage de code convolutionnel. Depuis ce temps, les applications de cet algorithme n'ont cessées de se développer. En témoigne aujourd'hui l'utilisation importante de cet algorithme dans le domaine des télécommunications.

Technique aloha: Protocole d'accès sur un canal où une station émet un message de façon aléatoire sans se préoccuper de l'état du canal.

Burst: Élément de signal transmis par un équipement à l'intérieur d'un slot en TDMA

Slot: Intervalle de temps élémentaire en TDMA qui peut accueillir un burst la durée d'un slot est environ 577µs

Trame: Ensemble d'intervalles de temps répété périodiquement. La durée de la trame TDMA de GSM est 4,651ms donc dans chaque trame il y a 8 slot.

Multitrame: Suite de 26 ou 51 slot occupant la même position des trames TDMA successives sur lesquels sont définis les différents canaux logiques.

Transfert de communication: Opération par laquelle un abonné transforme une communication établie avec un correspondant en une nouvelle communication entre son correspondant et un troisième participant ; le complément de service offrant cette possibilité

Brouillage: Trouble apporté à la réception d'un signal utile par des phénomènes indésirables dus à la présence d'autres signaux ou de bruits se superposant à ce signal.

Démultiplexage: Action de restituer les signaux originaux à partir d'un signal composite obtenu par Multiplexage

Évanouissement: Diminution momentanée de la puissance d'un signal radioélectrique à l'entrée d'un récepteur par extension, variation de la puissance du signal, due aux conditions de propagation des ondes.

Interférence: Phénomène résultant de la superposition d'au moins deux oscillations ou ondes cohérentes de même nature et de fréquences égales ou voisines ; ce phénomène se manifeste par une variation dans l'espace ou dans le temps de l'amplitude de la résultante des ondes ou oscillations superposées.

Multiplexage: Action d'assembler des signaux indépendants en un seul signal composite à partir duquel ils peuvent être restitués.

Code Division Multiple Access: Le CDMA appartient à la classe des multiplexages dits à étalement de spectre. En effet, chaque utilisateur émet sur toute la largeur de bande du canal de communication. Le principe est le suivant: à chaque utilisateur correspond une clé (ou code) à l'aide de laquelle son message est codé avant d'être émis

Protocole: Ensemble des conventions nécessaires pour faire coopérer des entités généralement Distantes, en particulier pour établir et entretenir des échanges d'informations entre ces entités.

Paging: Technique consistant à diffuser un appel sur l'ensemble de la zone ou est susceptible de se trouver le mobile demandé.

Bibliographie

- [1] M. Chaker MEZIOUD, Thèse Recherche sur la Résolution des Problèmes Complexes d'Affectation de Fréquences Basses Bandes pour les Opérateurs de la Téléphonie Mobile, année2011
- [2] Pierre Brisson, Peter Kropf, Global System for Mobile Communications
- [3] Cédric DEMOULIN, Marc VAN DROOGENBROECK, Principes de base du fonctionnement du réseau GSM, année2004
- [4] J. Tisal. *Le réseau GSM. L'évolution GPRS: une étape vers UMTS*, Dunod, troisième édition, 1997.
- [5] Michel Terré, Radio Communications, Année2008-2009
- [6] X. Lagrange, P. Godlewski, et S. Tabbane, *Réseaux GSM*, Cinquième édition, 2000
- [7] BOUKLIF. Aoued, Communication mobiles
- [8] Jean-Louis Langlois, Le GSM, Édition 2003
- [9] *Le Pennec François*, Modèles du canal de propagation radio: implémentation et usage dans le simulateur, circuits RF/systèmes ADS", 2007
- [10]Jean-Daniel ARNOULD, Conception d'un amplificateur RFSimple, Mai 2007
- [11] Virgile Garcia & Matthieu Gautier, Chaîne de transmission GSM simulation sous ADS et analyse vectoriel, mars 2010
- [12] Vocabulaire des techniques de l'information et de la communication, 2009