

Conception et Dimensionnement d'un réseau GSM à l'aide de la Plateforme Matérielle USRP N210 et la radio logicielle OpenBTS.

Binda L. M.^{1*}, Mudiampimpa T.J.¹

ABSTRACT

Paper History

Received:
August 11, 2018

Revised:
September 18, 2018

Accepted:
September 23, 2018

Published:
November 27, 2018

Keywords:

OpenBTS, GSM, SDR,
USRP, Asterisk

Design and Dimensioning of GSM Network using the USRP N210 hardware platform and the OpenBTS software radio

Deploying a mobile network in low-income areas of developing countries is a major challenge, since the capital expenditures (CAPEX) and operations expenditures (OPEX) costs required to run the network are not justified, compared to the expected profitability. However, with the advent of low-cost hardware platforms devoted to software defined radio implementation, it becomes possible to deploy a mobile network in a low-income environment while meeting the CAPEX, OPEX and profitability constraints.

In this paper, a design and a dimensioning of a GSM mobile network is proposed, using the USRP N210 hardware platform and the OpenBTS software on the wireless access network and the Asterisk software on the core network side, which implements the PBX function. The designed network which consists of open source software tools and "off the shelf" hardware is dimensioned to provide GSM coverage to the University of Kinshasa site. A practical deployment of a single-cell GSM network was carried out at the Polytechnic Faculty of the University of Kinshasa. The results show that a cellular GSM network using the USRP N210 platform, the OpenBTS-based software defined radio and the Asterisk software can be deployed in a semi-urban environment with an acceptable quality of service, thus meeting the needs of rural areas not benefiting from mobile telecommunications services.

¹Département de Génie Electrique et Informatique, Faculté Polytechnique, Université de Kinshasa, B.P 255 KINSHASA XI Kinshasa, R. D. Congo

* To whom correspondence should be addressed : maloubinda@gmail.com

INTRODUCTION

Le Système Global de Communications radio-mobiles (GSM) est l'une des premières technologies développées dans les systèmes de télécommunication mobiles. Selon l'Association GSM, c'est la norme sans fil la plus aboutie au monde, elle couvre plus de 90% de la population mondiale [AZAD, 2013].

Les systèmes GSM ont été implémentés traditionnellement avec des composants matériels coûteux et généralement avec une partie logicielle propriétaire de la stack GSM. Le développement récent des solutions des Radio définies par logiciel (SDR-Software Defined Radio) dans le traitement du signal a ouvert la voie à la mise en œuvre des stations de base GSM en utilisant des composants matériels et logiciels non propriétaires. Avec le développement de la suite logicielle libre GNU Radio, une plateforme matérielle du genre USRP (Universal Software Radio Peripheral) [ETTUS RESEARCH, 2018]., suffit pour mettre en œuvre la pile protocolaire d'une station de base d'un réseau cellulaire. Dans le cadre d'un réseau GSM, la pile protocolaire d'une station de base peut être réalisée à l'aide d'un outil logiciel libre « OpenBTS » [BURGESS et SAMRA, 2008].

Avec l'approche logicielle, la mise en place d'un réseau GSM en utilisant la station de base logicielle OpenBTS ne requiert qu'un ordinateur et une plateforme matérielle dédiée, combinée avec les antennes pour remplir le rôle d'émetteur-récepteur. Il s'ensuit donc un déploiement rapide à faible coût du réseau en comparaison avec l'approche traditionnelle. Avec une connectivité IP, OpenBTS possède la capacité de s'interfacer avec d'autres réseaux mobiles existants. Ceci permet une introduction plus rapide de

nouveaux produits et services avec des coûts de développement considérablement réduits.

Quelques projets ont fait l'objet des études sur l'implémentation des solutions utilisant des logiciels libres avec des plates-formes matérielles pour des réseaux cellulaires. Ces solutions décrivent des idées pour fournir un accès cellulaire intermittent à des zones mal desservies, où la conception est axée sur la minimisation de la consommation d'énergie pour l'exploitation d'une station de base et la possibilité de mettre en place un système basé sur OpenBTS dans les zones rurales [HEIMERL et BREWER, 2010], [ZHELEVA et al., 2013].

Dans cet article, nous proposons la conception et le dimensionnement d'un réseau GSM à faible coût, à l'aide des outils logiciels OpenBTS, Asterisk et des plateformes matérielles USRP sur le site de l'Université de Kinshasa. La connectivité du réseau proposé peut être étendue en l'interconnectant avec le réseau local IP du site universitaire, de manière à constituer un seul réseau virtuel.

Le reste de l'article se présente de la manière suivante : la section 2 traite de l'architecture du réseau proposé, la section 3 aborde la méthodologie de dimensionnement du réseau et la section 4 analyse les résultats du drive test de ce réseau. Une conclusion termine cet article.

ARCHITECTURE DU RÉSEAU

A la différence d'un réseau traditionnel GSM, l'architecture réseau GSM utilisant l'approche OpenBTS se base essentiellement



Figure 2 | Site Universitaire

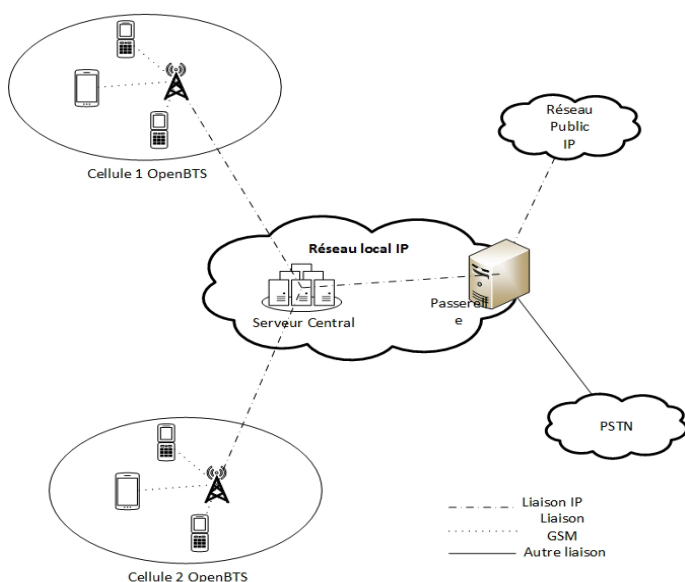


Figure 1 | Architecture du réseau OpenBTS [RANGE, 2014].

sur les logiciels et des plateformes matérielles faible coût. Contrairement à un réseau GSM conventionnel, le sous-système radio dans l'approche OpenBTS est constitué uniquement des stations de base (BTS), il n'y a donc pas de contrôleur des stations de base (BSC). Le sous-système réseau est réalisé par un ordinateur généraliste sur lequel tournent des logiciels tels que le SIPAuthServe qui remplit le rôle du HLR/AuC, le SMQueue qui fait office du SMSC et Asterisk qui fait office du Mobile Switching Center (MSC).

Avec cette architecture, le système fournit les fonctionnalités d'enregistrement et d'authentification GSM, de mise à jour. Dans un système GSM conventionnel, ces fonctions sont réparties sur plusieurs plateformes.

La figure 1 présente l'architecture générale d'un réseau OpenBTS. Les logiciels faisant office du sous-système réseau s'exécutent sur le serveur central [RANGE, 2014].

Afin d'améliorer la gestion de la mobilité et de l'évolutivité de notre réseau, une configuration localisée des services à l'intérieur de chaque cellule OpenBTS ou de chaque site cellulaire est nécessaire. Dans cette configuration, tous les serveurs des unités

OpenBTS de la cellule pointent vers un serveur local.

Le serveur local de chaque cellule peut être distinct de ceux des unités OpenBTS dans le site ou peut utiliser des ressources de calcul de l'un des serveurs d'une unité OpenBTS.

MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU

Le dimensionnement d'un réseau GSM standard est une tâche suffisamment maîtrisée [CIRTA, 2004 ; RANVIER, 2004 ; GOLDSMITH, 2005 ; BAASOU, 2010 ; PURNIMA et SINGH, 2012]. La plupart des opérateurs ont recours à des outils fournis par les équipementiers pour réaliser cette tâche. Les mesures sur terrain, appelées « drive tests » permettent d'affiner et d'optimiser le dimensionnement. Cependant pour un réseau GSM utilisant des stations de base non conventionnelles telles que les cartes USRP, le dimensionnement peut s'avérer un défi considérable dans la mesure où il n'existe pas d'outils d'aide au dimensionnement. Aux meilleures de nos connaissances, il s'agit d'une première tentative de dimensionnement d'un réseau GSM utilisant les outils libres dans le contexte d'une entité semi-urbaine. Comme tout dimensionnement d'un réseau GSM, celui-ci consiste en la détermination de la capacité et de la couverture du réseau.

Présentation du Site

L'université de Kinshasa, située au Sud-Est de la ville de Kinshasa (Latitude : $-4^{\circ} 25' 5.99''$ S Longitude : $15^{\circ} 18' 21.00''$ E), a une superficie estimée à 1.6 km². Elle abrite une population d'environ 25000 âmes (étudiants et personnel compris). D'une part le site peut être considéré comme un environnement semi-urbain vu la disposition des bâtiments et des espaces entre bâtiments comme le montre la figure 2. D'autre part, du point de vue de la capacité, elle peut être considérée comme une entité urbaine très dense.

Le processus de dimensionnement du réseau va consister à déterminer le nombre des cellules visant à assurer une couverture adéquate et optimale du site, et le nombre des canaux physiques pour prendre en charge le trafic généré au sein du site. Pour pouvoir effectuer ce dimensionnement, il est crucial d'explorer les spécifications techniques de la carte USRP N210 qui constituera la station de base.

Spécifications techniques de la station de base

La station de base se compose d'une ou de plusieurs cartes USRP N210 comportant une carte fille SBX-400MHz. Les spécifications

techniques de la carte USRP N210 comportant la carte SBX-400MHz sont les suivantes [ETTUS RESEARCH, 2017] :

- Plage de Fréquence : 400 MHz - 4.4 GHz
- Largeur de bande : 40 MHz
- Précision de fréquence avec GPSDO : 0.01 ppm
- Figure de bruit : 5 dB
- Puissance radio émise : 20 dBm
- Puissance électrique consommée : 18 W
- Tension d'entrée DC : 6V

La **figure 3** présente la carte USRP N210 avec ses différentes cartes sœurs.



Figure 3 | Carte USRP N210

La puissance radio native de la carte USRP N210 ne permet qu'une faible portée du signal, ce qui la limiterait à des utilisations à l'échelle de micro cellules. Pour un déploiement de la station de base dans le contexte macro cellule, il faut associer à la carte USRP les composants ci-après, comme le montre la **figure 4** :

Un duplexeur, permettant d'utiliser une seule antenne pour l'émission et la réception ;

Un amplificateur faible bruit « LNA » pour amplifier le signal reçu ;

Un filtre passe bande « BPF » ;

Un amplificateur de puissance « PA » pour amplifier la puissance du signal émis.

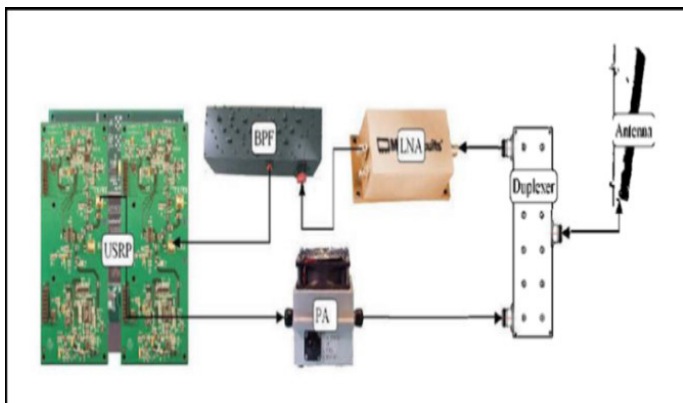


Figure 4 | Schéma RF d'une Station de Base OpenBTS

Dimensionnement de la couverture

Afin de prévoir une bonne couverture, la détermination des spécifications des équipements Radio Fréquence (RF) est nécessaire. Nous considérons une répartition de la couverture estimée à 95% sur la zone géographique. La superficie de la zone prise en compte est de 2 km².

Les spécifications des équipements (LNA-Low Noise Amplifier, PA-Power Amplifier, BPF- Band Pass Filter et le duplexeur) se

déterminent par l'analyse du bilan de puissance des liaisons.

Les caractéristiques prises en compte pour la couverture sont les suivantes, avec "m" désignant le terminal mobile [SAUNDERS, 2000 ; COUPECHOUX, 2004] :

Tableau 1 | Paramètres du bilan de liaisons

Paramètre		Uplink	Downlink
Réception	Sensibilité [dBm]	S_{BTS} -112	S_m -102
	Pertes câble [dB]	L_f 5	-
	Gain du LNA [dB]	G_{LNA} -	-
	Gain antenne de réception [dBi]	G_{BTS} 12	-
Transmission	Puissance d'émission [dBm]	P_m 33	P_{BTS} -
	Pertes câble [dB]	-	L_f 5
	Pertes d'insertion PA [dB]	-	L_{PA} 1
	Gain antenne de transmission [dBi]	G_m 0	G_{BTS} 12
Marges	Marge d'effet de masque [dB]	F_m 8	F_m 8
	Pertes dues au corps [dB]	L_b 3	L_b 3
	Marges de pénétration [dB]	P_m 10	P_m 10

Bilan de puissance de la liaison montante :

Le gain du LNA se détermine en établissant un lien entre le bruit thermique du canal GSM (-120dBm) et le bruit de l'USRP (-16 dBm). L'USRP ayant un gain interne maximal de 80 dB, le LNA doit avoir un gain au moins de 24dB pour ce lien.

Le bilan de liaison entre le mobile et le LNA est :

$$\begin{cases} S_{BTS} = EIRP_{mobile} - L_{UL} - L_f - (F_m + L_b + P_m) + G_{BTS} \\ EIRP_{mobile} = P_m + G_m \end{cases} \quad (1)$$

Où $EIRP_{mobile}$ est la puissance isotrope rayonnée équivalente du mobile et L_{UL} est la somme des pertes de parcours pour la liaison montante.

$$EIRP_{BTS} = 33dBm$$

$$-112 = 33 - L_{UL} - 5 - (8 + 3 + 10) + 12$$

Alors $L_{UL} = 131dB$, c'est à dire sur la liaison montante, la somme des pertes de parcours ne doit pas dépasser 131 dB.

Bilan de puissance de la liaison descendante :

Le gain du PA se détermine avec la puissance EIRP de la station de base. En considérant que la somme des pertes de parcours pour la liaison montante et celle descendante sont égales, le bilan puissance de la liaison montante est :

$$S_m = EIRP_{BTS} - L_{DL} - (F_m + L_b + P_m) + G_m \quad (2)$$

$$-102 = EIRP_{BTS} - 131 - (8 + 3 + 10) + 0$$

alors

$$EIRP_{BTS} = 50dBm$$

La puissance d'émission de la station de base est donnée par :

$$EIRP_{BTS} = P_{BTS} - (L_f + L_{PA}) + G_{BTS} \quad (3)$$

$$50 = P_{BTS} - (5 + 1) + 12$$

Ainsi la puissance de sortie du PA est de 44 dBm. Le gain l'USRP

étant de 20 dBm, le gain du PA doit être d'au moins de 24 dB pour atteindre le niveau de puissance de 44 dBm.

Isolation Réception/Transmission

L'isolation de la réception et de la transmission dépend des équipements choisis.

Avec le choix de l'amplificateur ZRL-1150LN comme le LNA, il faut au moins 45 dB d'isolation dans le duplexeur afin d'éviter la compression de la puissance de sortie du PA car le LNA commence à comprimer avec un niveau à l'entrée de -8 dBm [MINI-CIRCUITS, 2018].

Étant donné que la puissance de sortie du PA est délivrée dans le même câble qui apporte le signal de -112 dBm, avec le choix de l'amplificateur MGA-930 comme le PA, il faut au moins 157 dB afin d'isoler la réception et l'émission de l'USRP [RF BAY, 2018].

En considérant que le niveau du signal d'émission se situe autour de -60 dBm, il faut au moins 60 dB d'isolation dans l'unité du duplexeur pour limiter le bruit se situant en dessous de -120 dBm afin de prévenir la dégradation dans le récepteur.

En somme, Il faudrait au moins 60 dB d'isolation dans le duplexeur et un total de 157 dB de suppression de signal transmis par le duplexeur et le filtre passe-bande BPF ensemble.

Couverture de la zone

La zone d'étude contient plusieurs obstacles (bâtiments et arbres) de grande hauteur espacés les uns des autres. Avec sa densité, cette zone peut être considérée comme étant une petite citée urbaine.

En considérant la géographie de la zone (dénivellement et regroupement des bâtiments) et pour une couverture optimale de celle-ci, nous nous proposons de la diviser en trois cellules comme illustré à la **figure 5**). Nous choisissons pour la cellule CID01 (4°25'14.01"S et 15°18'39.82"E) un rayon de 0.5km afin de couvrir le bâtiment le plus éloigné du site, et pour les cellules CID02 (4°25'28.32"S et 15°18'35.16"E) et CID03 (4°24'57.85"S et 15°18'22.91"E) respectivement les rayons de 0.24km et 0.35km.

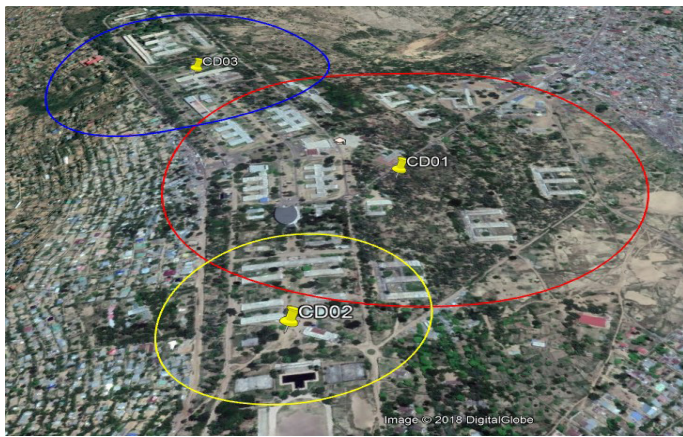


Figure 5| Disposition des cellules

Vu les caractéristiques de la zone, nous avons choisi pour les pertes de parcours le modèle Okumara-Hata [RANVIER, 2004] dont l'équation est:

$$L_{dB} = A + B \log R - C \quad (4)$$

Où A, B sont des facteurs qui dépendent de la fréquence et de la hauteur de l'antenne et le facteur C dépend de l'environnement.

Pour une citée urbaine,

$$\begin{cases} A = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b - \alpha(h_m) \\ B = 44.9 - 6.55 \log h_b \\ C = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Où (α_{h_m}) est le facteur de correction lié à la hauteur de l'antenne

du mobile, en fonction de la taille de la zone de couverture.

$$\alpha(h_m) = (1.11 \log f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log f_c - 0.8)$$

pour une petite citée.

Nous considérons une hauteur effective h_b d'antenne de la BTS et une hauteur h_m du mobile de 30m et 2m respectivement [RANVIER, 2004].

Aussi pour la cellule CID01 nous avons :

$$\begin{cases} A = 129.64 \\ B = 42.93 \Rightarrow L_{dB} = 116.75 \approx 117dB \\ C = 0 \end{cases}$$

En utilisant l'équation (2) :

$$S_m = EIRP_{BTS} - L_{DL} - (F_m + L_b + P_m) + G_m$$

alors

$$EIRP_{BTS} = 36dBm$$

Nous obtenons une puissance d'émission de la station de base de $36 = P_{BTS} - (5+1) + 12 \Rightarrow P_{BTS} = 30dBm$

Ainsi, nous enregistrons pour les différentes cellules les valeurs suivantes :

Tableau 2 Paramètres des cellules

	C ID 01	C ID 02	C ID 03
Rayon de cellule (Km)	0.5	0.24	0.35
Puissance d'émission BTS (dB)	30	16	24
Probabilité de couverture	95%	95%	95%
Pertes de parcours (dB)	117	103.1	110.11

Planification de la capacité

La capacité du système est calculée pour un taux de blocage de 2% (Grade Of Service "GOS") et un trafic de 25 mErl généré par un utilisateur dans la cellule [AJAT, 2004].

Nous dimensionnons les canaux SDCCH (Standalone Dedicated Control Channel) utilisés pour la plupart des transactions courtes, y compris l'étape d'initiation de l'établissement de l'appel, la mise à jour de localisation et le transfert des SMS (Short Message Service), ainsi que les canaux TCH (Trafic Channel) qui sont réservés pour véhiculer le trafic des communications.

Étant donné que la durée de l'authentification et du chiffrement vaut 6 secondes, ce qui pour un appel, correspond à un trafic de 1.67 mErl, nous aurons pour la cellule CD01 en considérant l'heure de pointe où il y a au moins 20000 personnes présentes sur le campus, que le nombre d'appels simultanés supportés par la cellule est de 1000, le trafic nécessaire écoulé par les canaux SDCCHs lors de la signalisation pour les appels [CIRTA, 2004] est:

$$Trafic_{SDCCH-appels} = 1000 \times 0.00167 = 1.67 Erl$$

En prenant en compte la mise à jour de localisation périodique et le trafic estimé pour le SMS(), la demande en SDCCH totale vaut [CIRTA, 2004] :

$$Trafic_{SDCCH} = Trafic_{SDCCH-appels} + Trafic_{SDCCH-SMS} + Trafic_{SDCCH-update}$$

$$Trafic_{SDCCH} = 1.67 + 1000 \times 0.001 + 1000 \times 0.00167 = 2.67 Erl$$

Le trafic total lors de l'appel des utilisateurs dans la cellule est de 25 Erlang. Ainsi, d'après la table Erlang-B, le nombre de canaux SDCCH nécessaires pour cette cellule équivaut à 8 canaux SDCCH et 36 canaux TCH. Ainsi cette cellule requiert 6TRX GSM (avec une configuration en full rate) pour lesquels nous aurons 3 USRPs, selon que chaque USRP supporte 2TRX GSM pour la cellule CD01.

Et pour les cellules CD02 et CD03 supportant 700 appels chacune,

nous aurons 8 canaux SDCCH avec 28 canaux TCH avec 4TRX GSM et 2 USRPs. En résumé pour le dimensionnement de notre réseau, nous avons :

Tableau 3| Capacité des cellules

Cellules	CD01	CD02	CD03
SDCCH	8	8	8
TCH	36	28	28
Traffic (Erlang)	25	17.5	17.5
TRXs	6	4	4
USRPs	3	2	2

Interconnexion des cellules

Le GSM utilise deux bandes de fréquences, l'une pour la voie montante (TX), l'autre pour la voie descendante (RX) auxquelles s'intègrent des canaux de signalisation. Les paires de canaux des liaisons montantes et descendantes sont identifiées par un index ARFCN (Absolute radio-frequency channel number). Avec le nombre des TRXs déterminés par cellules de notre réseau, nous disposerons de 6 ARFCN pour la cellule CD01 et de 4 pour les deux autres suivant la suite des porteuses C0, C0+2, C0+4,...

L'utilisation d'un Backbone IP filaire serait la plus adaptée comme support de transmission dans le réseau. La **figure 6** illustre l'architecture de notre réseau :

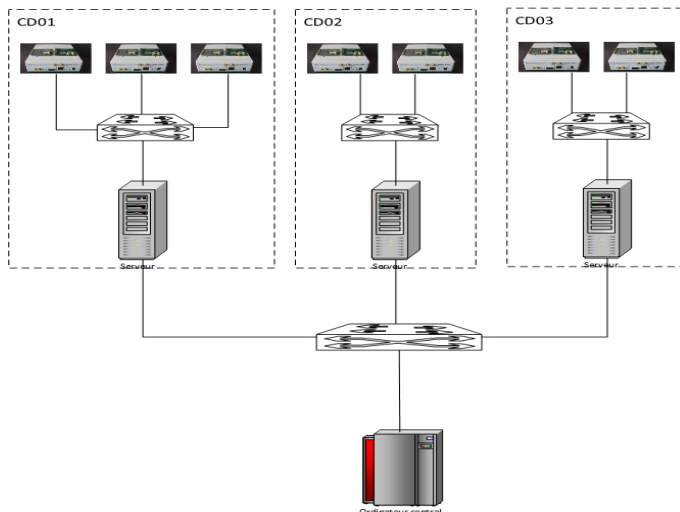


Figure 6| Architecture physique du réseau

Dans les réseaux GSM conventionnels, l'interconnexion des cellules est coordonnée par un BSC ou un MSC. Dans les réseaux OpenBTS, cette interconnexion est coordonnée par les BTS elles-mêmes en utilisant le protocole Range Peering Protocol (RPP). La **figure 7** présente la signalisation entre deux entités OpenBTS lors du handover.

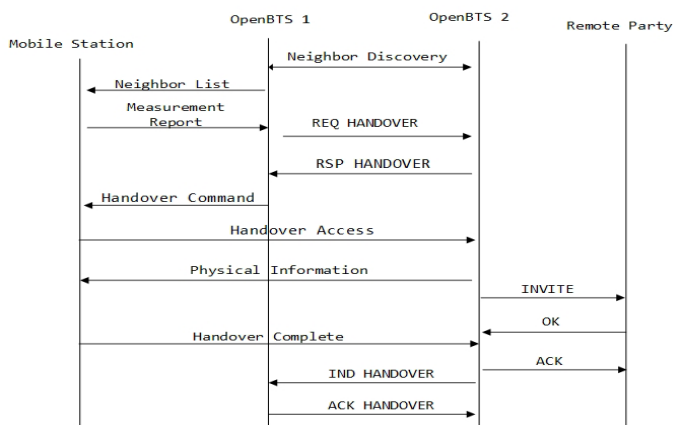


Figure 7| Signalisation RPP, GSM et SIP lors du Handover [RANGE, 2014].

Lors du handover, sur l'interface Air, la procédure ressemble à n'importe quel autre transfert GSM. Tandis que sur l'interface des réseaux SIP, cette opération consiste à un changement de l'adresse IP en cours d'appel d'un point d'extrémité SIP.

Ainsi pour une bonne interconnexion entre les cellules

- Le registre des abonnés dans les serveurs locaux pointe vers le registre des abonnés dans le serveur central.
- Le logiciel Asterisk des serveurs locaux est configuré pour renvoyer tout appel dont le numéro de destination ne peut pas être résolu localement vers le serveur central Asterisk.
- Le logiciel SMQueue des serveurs locaux est configuré pour référencer tout message dont le numéro de destination ne peut pas être résolu localement vers le serveur central SMQueue.

EVALUATION DE LA QUALITÉ DU SYSTÈME.

Cette évaluation concerne la qualité de la liaison Um. Nous avons utilisé le réseau GSM monocellulaire réalisé à la Faculté Polytechnique de l'Université de Kinshasa pour les tests (**Figure 4.1**). Le système a été testé dans un environnement de laboratoire où nous ne contrôlons pas l'environnement radio externe tels que les bruits, les interférences, et pour lequel la puissance générée n'est pas à même de perturber les réseaux des opérateurs de télécommunications présents sur le campus de l'Université de Kinshasa.

Description du système

Ce système est constitué d'un ordinateur (Intel® Core™ i5-3320M CPU @ 2.60GHz, 8GB RAM) embarquant un OS Linux (KUbuntu v10.10 Maverick, noyau Linux 2.6.35-24generic) hébergeant OpenBTS, d'un ordinateur (Intel® Core™ i7-3770 CPU @ 3.40GHz, 6Gb Ram) hébergeant les autres logiciels (SipAuthserve, SMSQueue, Asterisk), d'un commutateur Ethernet gigabit et d'une carte USRP N210. Les paramètres de configuration sont décrits dans le **tableau 4**.

Tableau 4| Paramètres de configuration du Système

Paramètres Système	Description
PCs	Hp EliteBook 8470p(i5 CPU@2.60GHz,8Gb Ram)
	Dell Vostro (i7-3770 CPU @ 3.40GHz,6Gb Ram)
USRPs	N210
	Carte SBX-400MHz
	Pas de GPSDO
Fréquence GSM	Précision de fréquence : 2.5 ppm
	900 MHz
Mobiles	ARFCN 51
	Samsung(G386T1), Nokia, Alcatel(5036A),Huawei(Y530)

Résultats

Compte tenu de l'environnement de test ainsi que de la puissance de la BTS, nous avons considéré le scénario IntraBTS pour tester la qualité des appels vocaux. Les mobiles sont enregistrés sur le serveur local qui héberge les applications comme le montre la **Figure 8**.

Pour évaluer la qualité de la liaison Um, trois types d'essais ont été réalisés :

L'évanouissement du signal reçu par les mobiles par rapport à la distance.

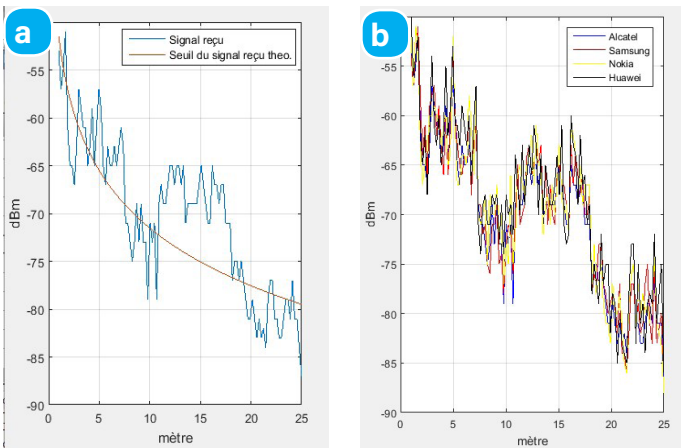
Afin d'observer l'évanouissement du signal, nous reportons le signal reçu par un mobile à mesure que l'on s'éloigne de la BTS. Les mesures ont été effectuées simultanément pour tous les mobiles



Figure 8| Prototype du Système OpenBTS

et dans les mêmes conditions (l'emplacement des mobiles et le temps d'acquisitions des mesures). Les résultats sont illustrés dans la figure 9.

L'impact du déplacement de l'utilisateur dans la cellule pendant l'appel.



(a) Niveau du signal reçu par le mobile

(b) Différents niveaux du signal reçu par plusieurs mobiles

Figure 9| Variation du signal reçu

Concernant l'impact du déplacement sur la liaison lors des appels, nous reportons pour la liaison montante le SNR (Signal Noise Rate) et le BER (Bit Error Rate) à mesure que les mobiles s'éloignent de la BTS. Nous utilisons le logiciel OpenBTS pour prélever les mesures de chaque liaison lors de l'appel. Les valeurs du BER observée sur les canaux TCH sont exprimées en pourcentage. La figure 10 illustre les résultats obtenus pour cette expérience.

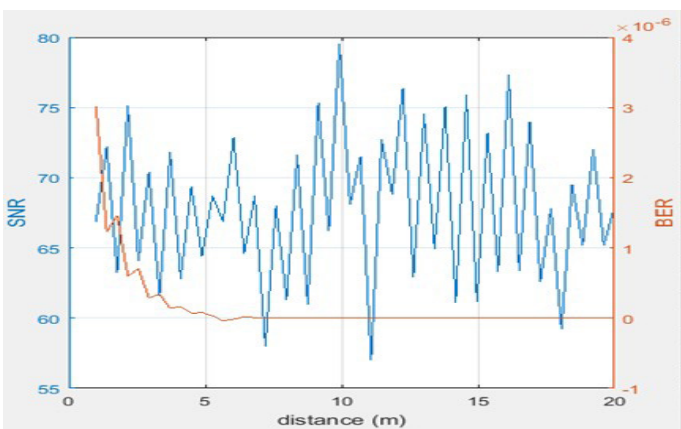
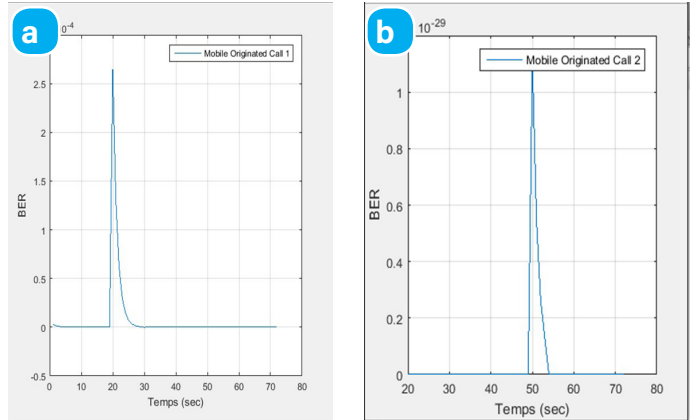


Figure 10| Impact du déplacement lors de l'appel

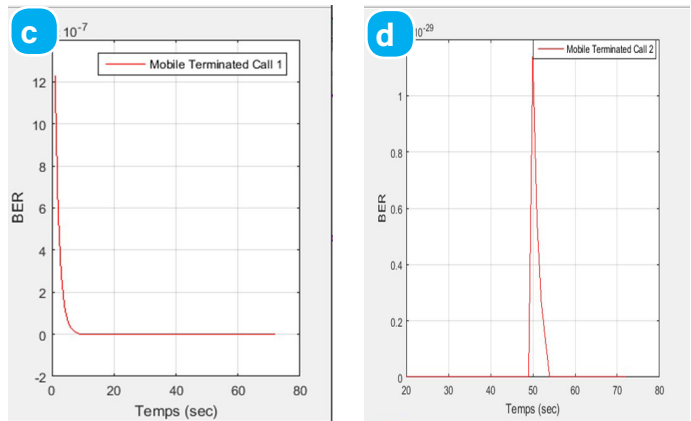
L'impact sur l'erreur des nombres de bits (BER) transmise, ainsi que sur l'erreur occasionnée dans la trame (FER) lorsqu'on augmente le nombre d'appels sur la liaison Um.

Pour chaque appel, nous avons deux liaisons TCH utilisées, une pour l'appel émis et l'autre pour l'appel reçu. Lors de l'appel les



(a) Evolution du BER du premier canal TCH pour le premier appel (appel émis)

(b) Evolution du BER du troisième canal TCH pour le second appel (appel émis)



(c) Evolution du BER du deuxième canal TCH pour le premier appel (appel reçu)

(d) Evolution du BER du quatrième canal TCH pour le second appel (appel reçu)

Figure 11| Variation du BER sur la liaison TCH lors de l'appel

valeurs du BER observée sur les canaux TCH sont exprimées en pourcentage. Les résultats sont illustrés dans la figure 11 pour les liaisons TCH pour les appels émis et les appels reçus.

Nous constatons que le système tend à stabiliser le niveau du BER à mesure que les utilisateurs s'éloignent de la BTS afin d'assurer une qualité optimale sur la liaison.

L'observation démontre que le système tend à stabiliser le BER de chaque liaison indépendamment à mesure que la connexion persiste tandis qu'il n'y a pas de changement pour le FER de chaque liaison qui est sensiblement négligeable.

CONCLUSION

Dans cet article Nous avons conçu un réseau GSM, faible coût comparativement au réseau standard GSM, avec des plateformes matérielles " off the shelf " comme la carte USRP, un PC, un routeur IP, etc.

Le réseau ainsi conçu sur le site de l'Université de Kinshasa qui a été comparé à une petite cité semi urbaine avec une superficie d'environ 1,6km² est constitué de trois cellules pour une capacité globale de 14 TRXs. Pour valider la faisabilité de ce système, un réseau GSM mono cellulaire pilote a été mis en œuvre à la Faculté Polytechnique. Les résultats du drive test obtenus montrent un niveau de signal et une qualité de service comparables à ceux d'un réseau GSM standard.

Les résultats obtenus montrent ainsi qu'un réseau GSM avec les outils libres, est une approche fiable qui peut donc être étendue

pour offrir des services de communications dans les entités où le déploiement d'un réseau GSM traditionnel ne serait pas économiquement rentable.

RÉSUMÉ

La problématique de déploiement d'un réseau mobile dans les zones à faible revenu pour les pays en voie de développement est un défi majeur dans la mesure où les frais d'investissements (CAPEX) et les frais d'exploitation (OPEX) à consentir par les entreprises de télécommunication, ne se justifient pas par rapport à la rentabilité attendue de ces réseaux. Cependant, avec le lancement des plateformes matérielles faible coût permettant de mettre en œuvre la radio logicielle il devient donc possible de déployer un réseau mobile dans un environnement à faible revenu, tout en assurant l'équilibre entre le CAPEX, l'OPEX et la rentabilité. Ainsi nous proposons dans cet article la conception et le dimensionnement d'un réseau mobile GSM, en utilisant la plateforme matérielle USRP N210 et la suite logicielle OpenBTS implémentant le point d'accès radio du réseau GSM, alors que la partie cœur du réseau est assurée par la suite logicielle Asterisk qui implémente un autocommutateur téléphonique. Le réseau conçu utilise essentiellement des outils logiciels libres, ainsi que du matériel "off the shelf", il est dimensionné pour couvrir le site de l'université de Kinshasa. Un déploiement pratique d'un réseau GSM monocellulaire a été réalisé à la faculté polytechnique de l'université de Kinshasa. Les résultats obtenus montrent qu'un réseau GSM multicellulaire, utilisant la plateforme USRP N210, la suite de radio logicielle OpenBTS et la suite logicielle Asterisk peut être déployé dans un environnement semi urbain avec une qualité de service appréciable, répondant ainsi aux besoins des contrées ne bénéficiant pas des services de télécommunications mobiles.


Mots clés

OpenBTS, GSM, SDR, USRP, Asterisk

REFERENCES

- AJAT R. [2004] "Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G/... Evolution to 4G", Ed. Wiley, Chichester, England, 2004.
- AZAD A. [2013] "OpenBTS-Implementation with Universal Software Radio Peripheral", Virginia Polytechnic and State University Falls Church, VA USA.
- BAASOU C. [2010] "Dimensionnement et caractérisation des réseaux mobiles", Université de BATNA.
- BURGESS A. et SAMRA H. [2008] "The Open BTS Project – an open source GSM base station", California, USA September 2008.

- CIRTA CONSULTING LLC [2004] "BSS Parameters", Wilmington, USA, 2004.
- COUPECHOUX M. [2007] "Bilans de liaison : de la 2G à la 4G", Telecom ParisTech. Département Informatique et Réseaux.
- ETTUS RESEARCH [2017] "SBX – Device Overview", Voir <https://kb.ettus.com/SBX>.
- ETTUS RESEARCH [2018] "Universal Software Radio Peripheral - The foundation for Complete Software Radio Systems".
- GOLDSMITH A. [2005] "Wireless Communications", Cambridge University Press New York, NY, USA, 2005.
- HEIMERL K. et BREWER E. [2010] "The Village Base Station. In NSDR'10", San Francisco, California, June 2010.
- INSA [2007] "Le GSM : planification et dimensionnement, Département Télécommunications". INSA Lyon, France, 2007-2008.
- MARTIAL COULON [2008], "CANAL DE PROPAGATION", INP ENSEEIHT Toulouse, 2007-2008.
- MINI-CIRCUITS [2018], "Data sheet: Low Noise Amplifier ZRL-1150LN+", The Design Engineers Search Engine.
- PURNIMA K. S. et SINGH R. K. [2012] "Cell Coverage Area and Link Budget Calculations in GSM System", International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol.2, Issue.2, Mar-Apr 2012 pp-170-176.
- RANGE NETWORKS [2014], "OpenBTS Application Suite Release 4.0 User Manual".
- RANVIER S. [2004] "Path loss models, S-72.333 Physical layer methods in wireless communication systems". SMARAD Centre of Excellence, HELSINKI university of technology.
- RF BAY, INC. [2018], "Data sheet: MGA Series 800MHz-1000MHz 1W RF Amplifier".
- SAUNDERS S. [2000] "Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems", Ed. Wiley, New York, USA 2000.
- ZHELEVA M., ARGHYADIP P., DAVID L. JOHNSON et BELDING E. [2013] "Kwiizya: Local Cellular Network Services in Remote Areas", University of California, Santa Barbara.

 This work is in open access, licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>