

Ministère des Enseignements Secondaire et Supérieur
(MESS)

Secrétariat Général

Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B.)

Ecole Supérieure d'Informatique (E.S.I)



Cycle des Ingénieurs de Travaux Informatiques (C.I.T.I)
Option : Réseau et Maintenance Informatique (Ré.M.I)

Rapport de fin de cycle

THEME : *«Etude pour le déploiement d'un système d'interconnexion
des structures de l'Université Ouaga II»*

Période du 04 janvier au 04 mai 2013

Auteurs: KINDA Pêgwendé Brice Parfait
NAZANGA Koubadariwè

Maitre de stage

M. Souleymane MILLOGO
Informaticien à l'Université
Ouaga II

Superviseurs

Dr. Tiguiane YELEMOU
M. Wilfried KIELEM
Enseignants à l'Ecole Supérieure
d'Informatique

Année académique : 2011-2012

Ministère des Enseignements Secondaire et Supérieur
(MESS)

Secrétariat Général

Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B.)

Ecole Supérieure d'Informatique (E.S.I)



Cycle des Ingénieurs de Travaux Informatiques (C.I.T.I)
Option : Réseau et Maintenance Informatique (Ré.M.I)

**THEME : «Etude pour le déploiement d'un système d'interconnexion
des structures de l'Université Ouaga II»**

Période du 04 janvier au 04 mai 2013

**Auteurs: KINDA Pêgwendé Brice Parfait
NAZANGA Koubadariwè**

Maître de stage

M. Souleymane MILLOGO
Informaticien à l'Université
Ouaga II

Superviseurs

Dr. Tiguiane YELEMOU
M. Wilfried KIELEM
Enseignants à l'Ecole Supérieure
d'Informatique

Année académique : 2011-2012

Dédicace

A

- ☞ *Dieu le Tout Puissant, qui nous a conçu et nous guide dans tout. Que son nom soit loué;*
- ☞ *nos parents, pour leurs sacrifices, leurs dévouements inconditionnels et leur soutien infailible. Qu'ils trouvent ici le témoignage de notre amour profond et de notre gratitude certaine. Que Dieu les préserve de toute peine et de tout malheur;*
- ☞ *tous nos amis, pour la merveilleuse ambiance qui caractérise notre amitié. Qu'ils soient heureux sur les plans personnel, professionnel et social;*
- ☞ *tous ceux qui ont été là pour nous quand nous avons eu besoin de leur soutien et surtout ceux qui ont été, qui sont et qui seront toujours là pour nous soutenir;*

Nous dédions ce travail.

Remerciements

C'est un devoir bien agréable que de venir rendre hommage, au terme de ce travail, à ceux sans lesquels il n'aurait pas pu être réalisé. L'occasion nous est offerte de remercier ici, les personnes qui nous feront l'honneur de participer à la présentation de ce travail.

Nous tenons tout particulièrement à exprimer notre profonde gratitude à:

- ☞ Pr. Stanislas OUARO, président de l'Université Ouaga II et à l'ensemble de ses collaborateurs;*
- ☞ notre maître de stage M. Souleymane MILLOGO, informaticien à l'Université Ouaga II, pour son soutien, ses conseils et son suivi ;*
- ☞ Mlle Sylviane LALLOGO, informaticienne à l'Université Ouaga II, pour l'attention portée à notre égard ;*
- ☞ Dr. Tiguiane YELEMOU et M. Wilfried KIELEM, tous enseignants à l'ESI en leur qualité de superviseurs pour leurs apports et conseils;*
- ☞ l'ensemble du personnel de l'Université Ouaga II, pour leur collaboration ;*
- ☞ l'ensemble du personnel administratif et enseignant de l'Ecole Supérieure d'Informatique pour la formation reçue et les conseils prodigués.*
- ☞ nos amis(es) et camarades, pour leur solidarité incontestable dans les difficiles épreuves de notre formation ;*
- ☞ tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué pour la réussite de projet.*

Table des matières

Sigles et abréviations	vi
Liste des tableaux	viii
Liste des figures	ix
Avant-propos	x
Introduction générale	1
1. Présentation de la structure d'accueil	3
1.1. Historique	3
1.2. Missions et objectifs	3
1.3. Organisation.....	4
1.4. Répartition géographique des sites.....	7
2. Etude du projet	10
2.1. Analyse et critique de l'existant.....	10
2.1.1. Analyse de l'existant.....	10
2.1.2. Critique de l'existant	16
2.2. Objectifs et résultats attendus.....	18
2.2.1. Objectifs	18
2.2.2. Résultats attendus.....	18
2.3. Contraintes dans le choix de la technologie.....	18
3. Etude des solutions d'interconnexion	21
3.1. Les solutions filaires.....	21
3.1.1. Les liaisons louées ou liaisons spécialisées.....	21
3.1.2. La fibre optique.....	23
3.2. Les solutions sans fils	25
3.2.1. Les réseaux privés virtuels	26
3.2.2. La boucle locale radio	28

3.3. Choix de solution optimale	31
3.3.1. Les critères de choix.....	31
3.3.2. La solution optimale.....	33
4. Etude approfondie de la technologie retenue.....	36
4.1. Présentation du WiMAX	36
4.2. Principe de fonctionnement et équipements nécessaires	37
4.2.1. Principe de fonctionnement	37
4.2.2. Les principaux équipements de l'interconnexion	37
4.3. Normes, catégories et couches du WiMAX.....	38
4.3.1. Les normes.....	38
4.3.2. Les catégories de WiMAX	40
4.3.3. Les couches protocolaires du WiMAX	40
4.4. Techniques radios du WiMAX.....	41
4.4.1. La modulation	42
4.4.2. Les codes correcteurs d'erreurs	44
4.4.3. Le contrôle de puissance.....	44
4.4.4. L'architecture Multiple-Input Multiple-Output	44
4.5. Les mécanismes de sécurité et la notion de qualité de services.....	46
4.5.1. Les mécanismes de sécurité	46
4.5.2. La notion de la qualité de service	46
4.6. Facteurs influents sur une liaison WiMAX.....	47
4.6.1. Les caractéristiques des équipements d'interconnexion	47
4.6.2. Les facteurs d'atténuation	48
4.6.3. Le bilan de liaison.....	50
4.7. Les Domaines d'application du WiMAX	52
5. Déploiement et sécurisation.....	54
5.1. Déploiement.....	54

5.1.1. Démarche générale à suivre pour le déploiement	54
5.1.2. Etude du terrain	55
5.1.3. Détermination des caractéristiques de transmission	56
5.1.4. Choix des équipements d'interconnexion	61
5.2. Sécurisation	63
5.2.1. Sécurité physique du réseau	63
5.2.2. Sécurité logique du réseau	64
5.2.3. Règles générales de sécurité	67
5.3. L'architecture de l'interconnexion	67
5.4. Gestion du réseau	68
5.5. Coût estimatif	69
Conclusion générale	70
Bibliographie.....	71

Sigles et abréviations

ACL :	Access Control List
ADSL :	Asymmetrical Digital Subscriber Line
AES :	Advanced Encryption Standard
AMPS :	Advanced Mobile Phone System
ARCE :	Autorité de Régulation des Communications Electroniques
ARQ :	Automatic Repeat reQuest
AU :	Access Unit
BE :	Best Effort
BLR :	Boucle Local Radio
BPSK :	Binay Phase Shift-Keying
BTS :	Base Transceiver Station
CID :	Connection IDentity
CPS :	Common Part Sublayer
CSMA/CD :	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DES :	Data Encryption Standard
DHCP :	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS :	Domain Name System
ETSI :	European Telecommunications Standard Institute
FAI :	Fournisseur d'Accès Internet
FFT :	Fast Fourier Transform
GNU :	GNU is Not Unix
GPL :	General Public License
GPS :	Global Positioning System
IEEE :	Institute of Electrical and Electronic Engineer
IETF :	Internet Engineering Task Force
IP :	Internet Protocol
IPsec :	Internet Protocol SECurity
LAN :	Local Area Network
L2F :	Layer Two Forwarding
L2TP :	Layer Two Tunneling Protocol
LDAP :	Lightweight Directory Access Protocol
LMDS :	Local Multipoint Distribution Services
LOS :	Line Of Sight
MAC :	Medium Access Control
MAN :	Metropolitan Area Network
MIMO :	Multiple-Input Multiple-Output
MMDS :	Multichannel Multipoint Distribution Services
NAS :	Network Access Server
NLOS :	No Line Of Sight
nrPS :	non real-time Paquet Service

OFDM :	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA :	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
PAT :	Port Address Translation
PPTP :	Point to Point Tunneling Protocol
PS :	Privacy Sublayer
QAM :	Quadrature Amplitude Modulation
QoS :	Quality of Service
QPSK :	Quadrature Phase-Shift Keying
RADIUS :	Remote Authentication Dial-In User Service
RAID :	Redundant Array Inexpensive Disks
RSA :	Rivest Shamir Adleman
RTC :	Réseau Téléphonique Commuté
rtPS :	real-time Paquet Service
SC2 :	Single Carrier 2
SOFDMA :	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
SSCS :	Service Specific convergence Sublayer
STP :	Shielded Twisted Pair
SU :	Subscriber Unit
SVT :	Science de la Vie et de la Terre
TDR :	Termes De Référence
TEB :	Taux d'Erreur Binaire
UGS :	Unsolicited Grant Service
VPN :	Virtual Private Network
WiMAX :	World Wide Interoperability for Microwaves Access
WLAN :	Wireless Local Area Network
WMAN :	Wireless Metropolitan Area Network

Liste des tableaux

Tableau 1 : Légende de l'organigramme	7
Tableau 2: Répartition du matériel informatique de la présidence de l'UO2	14
Tableau 3: Inventaire du matériel informatiques des UFR SEG et SJP	15
Tableau 4: Tarifs d'accès aux liaisons spécialisées	22
Tableau 5: Tarifs des redevances mensuelles des liaisons spécialisées permanentes.....	22
Tableau 6: Récapitulatif des caractéristiques des technologies sans fils	33
Tableau 7: Les différentes normes du WiMAX.....	39
Tableau 8: Coordonnées géographiques des sites à interconnecter.....	56
Tableau 9: Estimation des pertes de propagations	57
Tableau 10: Récapitulatifs des caractéristiques minimales des équipements	60
Tableau 11: Liste du matériel nécessaire pour l'interconnexion	61
Tableau 12: Caractéristiques du produit Alvarion BreezeAccess VL.....	62
Tableau 13: Récapitulatif des coûts de la solution	69

Liste des figures

Figure 1: Organigramme de l'UO 2.....	6
Figure 2: Répartition géographique des sites.....	8
Figure 3: Etat des liaisons entre la présidence et les UFR.....	11
Figure 4: Architecture du réseau actuel de la présidence	12
Figure 5 : Architecture envisagée pour réseau de la présidence UO II	13
Figure 6: La fibre optique.....	23
Figure 7: Environnement VPN	26
Figure 8: Schéma de principe de la boucle locale radio	29
Figure 9: Logo du WIMAX.....	37
Figure 10: Adaptation du codage.....	44
Figure 11: Fonctionnement du MIMO	45
Figure 12: Fonctionnement du MIMO (suite)	45
Figure 13: Illustration de la zone de Fresnel	49
Figure 14: Illustration du bilan de liaison.....	52
Figure 15: Propriétés du réseau en environnement de simulation	58
Figure 16: Paramétrage de la station dans le simulateur Radio Mobile	59
Figure 17: Simulation de la liaison Présidence →Gonsé	60
Figure 18: Game des produits de la série BreezeAccess-VL.....	63
Figure 19: Segmentation du réseau par l'IPCOP	65
Figure 20: Interface web d'administration de l'IPCOP.....	66
Figure 21: Architecture du réseau futur	68

Avant-propos

L'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso est un Etablissement public de l'Etat à caractère scientifique, culturel et technique (EPSCT). Elle est chargée de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique. Elle a été créée en septembre 1995 sous le nom «Centre Universitaire Polytechnique de Bobo-Dioulasso (CUPB) ». Le CUPB aura le statut d'université en mai 1997 sous le nom d'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). L'UPB comprend à ce jour cinq (05) instituts et une école qui sont :

- l'institut universitaire de technologie (IUT) ;
- l'institut du développement rural (IDR) ;
- l'institut des sciences de la nature et de la vie (ISNV) ;
- l'institut des sciences exactes et appliquées (ISEA) ;
- l'institut supérieur des sciences de la santé (INSSA) ;
- l'école supérieure d'informatique (ESI).

L'Ecole supérieure d'informatique (ESI) a été créée en 1991 suite au besoin exprimé par le Premier Plan Directeur Informatique (1991-1995) dans son volet : « édification de compétences nationales par la formation de spécialistes (analystes et ingénieurs) concepteurs de système d'information ». D'abord implantée au sein de l'Université de Ouagadougou, elle a été transférée à l'université polytechnique de Bobo-Dioulasso en septembre 1995. L'Ecole Supérieure d'Informatique forme des ingénieurs de travaux et de conception informatiques. Le cycle des ingénieurs de travaux informatiques comporte deux options à savoir l'option Analyse et Programmation (AP) créée en 1990 et l'option Réseaux et Maintenance Informatique (RéMI) créée en 2000.

Pour faciliter l'insertion socio-professionnelle des étudiants, la formation à l'ESI doit être validée par un stage pratique suivi d'une soutenance publique. C'est dans le cadre du stage de fin de cycle que nous avons produit ce document qui est un résumé de nos travaux sur le thème qui nous a été soumis à l'Université Ouaga II (UO2), la structure qui nous a accueillis .

Introduction générale

L'information est au centre de toutes les décisions, qu'elles soient du domaine économique, politique ou éducatif. La bonne marche de toute société passe alors par une bonne gestion de ses informations. C'est dans cette optique qu'est apparue l'informatique, la science de traitement automatique de l'information. Pour relever ce défi, l'université Ouaga II depuis sa création, s'est lancée dans une politique d'intégration des technologies de l'information et de la communication dans son système de gestion des communications. La répartition et le besoin de la disponibilité de l'information à tous les services de l'entreprise a entraîné l'émergence des réseaux locaux. Mais l'entreprise étant appelée à grandir, les réseaux locaux n'ont tardé à dévoiler leurs limites face à la multiplicité des succursales des entreprises. C'est ainsi qu'est née le besoin d'interconnecter les réseaux locaux. Ce nouveau challenge a poussé les professionnels de l'informatique à la mise en place de plusieurs technologies dites de réseaux étendus.

La jeune université Ouaga II, exemple parfait d'une institution parsemée est confrontée aux limites en termes de zone de couverture des réseaux locaux. En effet, les services de l'université sont répartis sur des sites éloignés entre eux. Ainsi, pour parvenir aux objectifs de la structure, elle doit se doter d'un système d'interconnexion permettant d'outrepasser le handicap qu'est la répartition géographique de ses services. C'est dans ce contexte que nous avons été accueillis au sein de la vice-présidence chargée des enseignements et innovations pédagogiques de l'UO 2. Le thème qui nous est soumis est intitulé: « **Etude pour le déploiement d'un système d'interconnexion des structures de l'Université Ouaga II** ».

Le présent document, synthèse de nos différents travaux d'étude, s'articule en cinq (05) chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'université, le deuxième est consacré à l'étude du projet et permet de mieux cerner le thème. Au niveau du troisième chapitre, nous menons une analyse comparative des différentes technologies envisageables. Dans le quatrième chapitre, nous présentons l'étude approfondie de la technologie que nous avons retenue, nous terminerons par le cinquième chapitre destiné à l'application de l'étude au cas pratique de l'université ainsi qu'à la sécurisation de la solution choisie.

1

**PRESENTATION DE LA STRUCTURE
D'ACCUEIL :
UNIVERSITE OUAGA II**

1. Présentation de la structure d'accueil

A notre arrivée à l'université Ouaga II, nous avons été présentés aux différentes structures et services de l'établissement. Cela dans le but de faciliter notre insertion sociale, mais aussi de nous permettre de découvrir les réalités des services. Dans ce chapitre, il sera question de faire une présentation de l'historique, des missions et de l'organisation des services de l'UO2.

1.1. Historique

L'université de Ouagadougou (UO) enregistre depuis l'an 2000, une arrivée massive de nouveaux bacheliers. L'accroissement rapide des effectifs a conduit à l'insuffisance et l'inadaptation des infrastructures d'accueil. Pour faire face à ce problème des effectifs devenus pléthoriques, le gouvernement burkinabé a décidé par décret le 12 décembre 2007 de la création de l'université Ouaga II qui sera dans la commune de Saaba (Gonsé), localité située à environ 25 km de Ouagadougou.

Cette Université regroupe depuis l'année universitaire 2007-2008, les unités de formation et de recherche (UFR) en Sciences Juridiques et Politiques (SJP) et en Sciences Economiques et de Gestion (SEG). Ces unités étaient précédemment rattachées à l'université de Ouagadougou.

La présidence de l'Université Ouaga II est située sur le boulevard Charles De Gaulle coté Est de la gare de la société de Transport Sana Rasmané (TSR). Certaines promotions d'étudiants et les services de scolarité partagent les mêmes infrastructures que ceux de l'Université de Ouagadougou. Par contre, d'autres promotions prennent leurs cours sur le site du salon international de l'artisanat de Ouagadougou (SIAO).

1.2. Missions et objectifs

L'Université Ouaga II est un établissement public de l'Etat à caractère scientifique, culturel et technique (EPSCT). Elle a pour mission fondamentale, l'élaboration et la transmission de la connaissance pour la formation des hommes et des femmes, afin de répondre aux besoins de la nation.

Pour ce faire, elle poursuit les objectifs suivants :

- la formation des cadres dans divers domaines notamment en Droit et en Economie;
- la recherche scientifique et la vulgarisation des travaux de recherche;
- la contribution au développement économique, social et culturel du pays;
- la collation des titres et diplômes;
- la valorisation des compétences dans les secteurs d'activités à son actif;
- la coopération en matière de formation et de recherche;
- la promotion des échanges interuniversitaires.

1.3. Organisation

Du fait du contexte de sa création et de son jeune âge, l'UO2 est un organisme en pleine structuration. Ainsi, certaines directions de son organigramme sont en attente de création ou assurées pour l'instant par celles de l'Université de Ouagadougou. Comme organes fonctionnels, on a trois (03) organes délibérants, un président, deux (02) vice-présidents, des services centraux pour les finances et les procédures administratives et les administrations des UFR.

✓ Les organes délibérants

Ce sont les instances de décisions pour la bonne marche de l'université. Parmi ces instances nous pouvons citer :

- **Le Conseil d'Administration** : qui assure la haute responsabilité de l'administration de l'université. Elle est l'instance chargée de la bonne marche générale de l'université.
- **Le Conseil de la formation et de la vie universitaire (CFVU)** : C'est l'instance qui délibère sur la définition de l'orientation générale de l'université.
- **Le conseil scientifique** : Cet organe, placé au centre des activités académiques et pédagogiques est une structure qui propose au Conseil de la formation et de la vie universitaire (CFVU), des politiques de recherche, de documentation scientifique ainsi que la répartition des moyens de recherche.

✓ **Le président**

Le président de l'université est le premier responsable de l'institution. Il est chargé de contribuer à définir, à élaborer et à mettre en œuvre la politique nationale en matière d'enseignement supérieur. Il coordonne et contrôle toutes les activités académiques et pédagogiques de l'université. Il est également tenu du maintien de l'ordre, de la bonne gestion des infrastructures ainsi que du respect des franchises universitaires. Le président est aidé dans sa mission par trois vice-présidents, dont deux sont effectivement en service.

✓ **Le vice-président chargé de la recherche et de la coopération internationale (VP-RCI)**

Il est l'animateur de la vie interne de l'université au plan de la recherche, de la vulgarisation des résultats de la recherche et de la coopération interuniversitaire bilatérale et multilatérale et de la promotion des enseignants.

✓ **Le vice-président chargé des enseignements et des innovations pédagogiques (VP-EIP)**

Le VP-EIP est l'animateur de la vie interne de l'Université au plan de la pédagogie, de la scolarité et des nouvelles technologies de l'enseignement. A ce titre :

- il organise, coordonne et contrôle les activités pédagogiques des établissements d'enseignement et de recherche de l'université ;
- il veille au respect et au suivi de l'exécution des programmes d'enseignement ;
- il veille à la régularité des inscriptions des étudiants ou des stagiaires, au suivi de leur cursus, à la délivrance des titres et des diplômes et à l'application des règles disciplinaires à l'égard des étudiants ou stagiaires et des enseignants ;
- il veille à la régularité du recrutement des enseignants et au respect de la déontologie de leur métier.

✓ **Les administrations des UFR**

Au niveau de chaque UFR, il y a une administration qui coordonne les différentes activités académiques et pédagogiques. Il faut ajouter à cette administration la scolarité qui s'occupe des dossiers d'inscriptions et de la gestion du cursus des étudiants.

✓ **Les autres services**

Pour la gestion des finances et des actes administratifs, les services suivants sont rattachés à la présidence :

Tableau 1 : Légende de l'organigramme

AC	Agence Comptable	DEP	Direction des Etudes et de la Planification
ACM	Atelier Central de Maintenance	DFOAD	Direction de la Formation Ouverte à Distance
BUC	Bibliothèque Universitaire Centrale	DFPC	Direction de la Formation Professionnelle et Continue
CA	Conseil d'Administration	DIP	Direction des Innovations Pédagogiques
CF	Contrôleur Financier	DPE CAMES	Direction de la Promotion des Enseignants et des relations avec le CAMES
CFVU	Conseil de la Formation et de la Vie Universitaire	DPNTIC	Direction de la Promotion des nouvelles technologies, de l'information et de la communication
DLMD	Direction du LMD	DPU	Directeur de la Presse Universitaire
CN	Campus numérique	DRH	Direction des Ressources Humaines
CS	Conseil Scientifique	DRV	Direction de la recherche et de la vulgarisation
DAF	Direction de l'Administration et des Finances	LU	Librairie Universitaire
DAOI	Direction des Affaires académiques, de l'Orientation et de l'Information	UFR/SEG	Unité de Formation et de Recherche en Sciences Economiques et de Gestion
DCU	Direction de la Coopération Universitaire	UFR/SJP	Unité de Formation et de Recherche en Sciences Juridiques et Politiques

1.4. Répartition géographique des sites

Comme présenté plus haut, actuellement les activités socio-académiques se déroulent sur plusieurs sites (Campus de l'UO, SIAO, Présidence). Pour ce qui est des sites à venir, l'université envisage ouvrir une école doctorale dont le site sera à l'actuelle agence de la BSIC de Wemtenga tandis que le véritable site de Ouaga II est en construction à Gonsé. La figure suivante schématise la disposition des sites abritant des services de l'UO2.

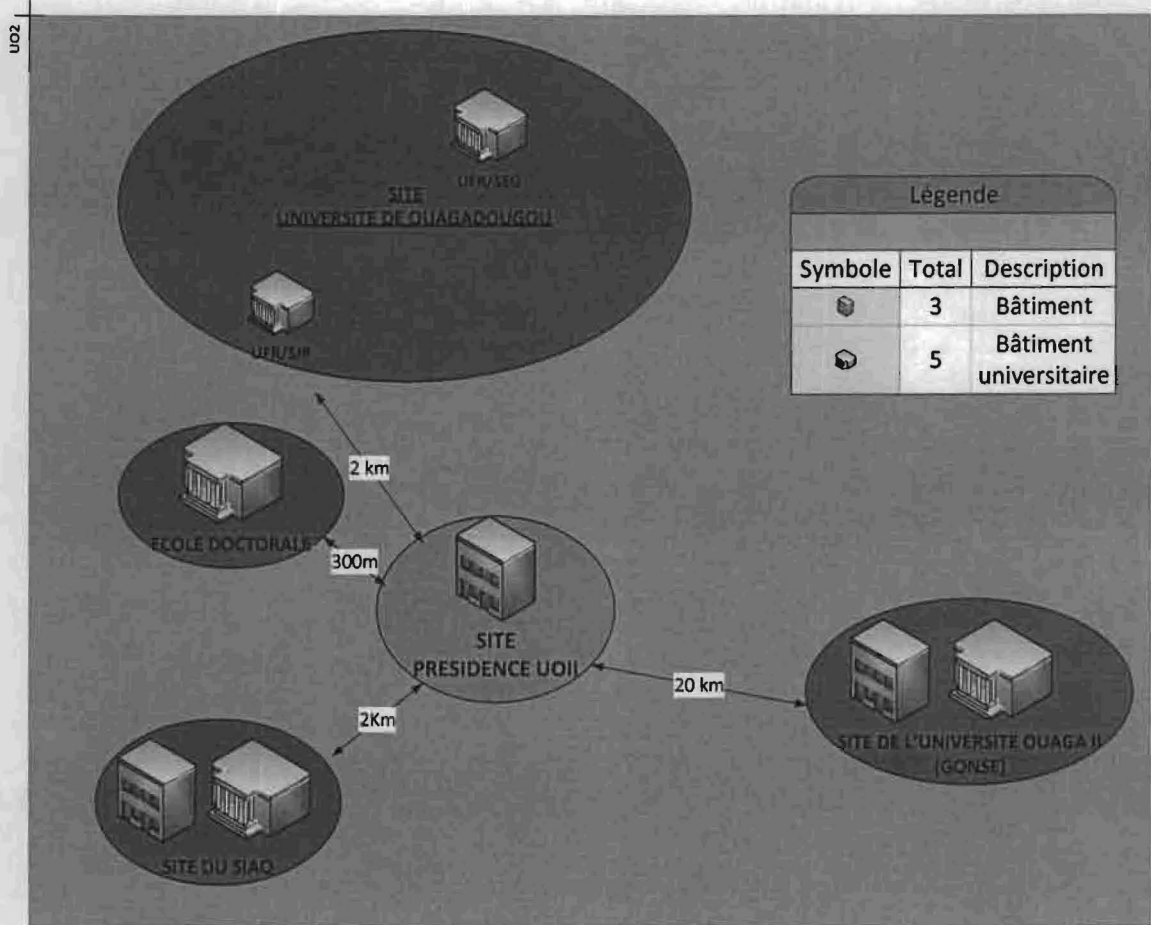


Figure 2: Répartition géographique des sites

Avec cette répartition géographique des différentes infrastructures de l'université, il existe un problème de communication entre les différents services. C'est dans le souci de pallier ce problème que nous avons été accueillis à la vice-présidence chargée des enseignements et des innovations pédagogiques pour mener une étude afin de proposer une solution optimale pour l'interconnexion de ces sites.

2

ETUDE DU PROJET

2. Etude du projet

Pour mieux cerner notre thème qui est l'« Etude pour le déploiement d'un système d'interconnexion des structures de l'Université Ouaga II », nous devons faire un état des lieux des services informatiques au niveau de cette université. Ainsi, nous pourrions déceler les faiblesses de ce système, étape nécessaire pour parvenir aux résultats escomptés.

2.1. Analyse et critique de l'existant

Pour que notre étude puisse cadrer avec les ambitions et objectifs de l'université, nous devons prendre connaissance de son système informatique actuel. Il s'agit notamment d'avoir une vue globale des infrastructures réseau et des ressources matérielles et logicielles de l'université.

2.1.1. Analyse de l'existant

2.1.1.1. Répartition géographique des sites

Comme dit dans le chapitre précédent, les services de l'UO2 sont repartis sur plusieurs sites qui sont :

- le site de l'université de Ouagadougou, où l'on trouve les administrations des UFR et des scolarités ;
- le site du SIAO (essentiellement utilisé pour les cours) ;
- le site de la présidence sur le boulevard Charles De Gaulles (à environ 3Km de l'université de Ouagadougou) ;
- le site de l'école doctorale (immeuble de l'agence BSIC à environ 300m de la présidence ;
- le site en construction à Gonsé (à 25Km sur la nationale N°4, à la sortie Est de Ouagadougou).

Cependant, notons que les services informatiques sont actuellement concentrés entre les scolarités des UFR (à l'UO) et la présidence.

La figure 3 représente la répartition géographique des sites de l'UO 2, ainsi que les différentes liaisons réseaux entre eux.

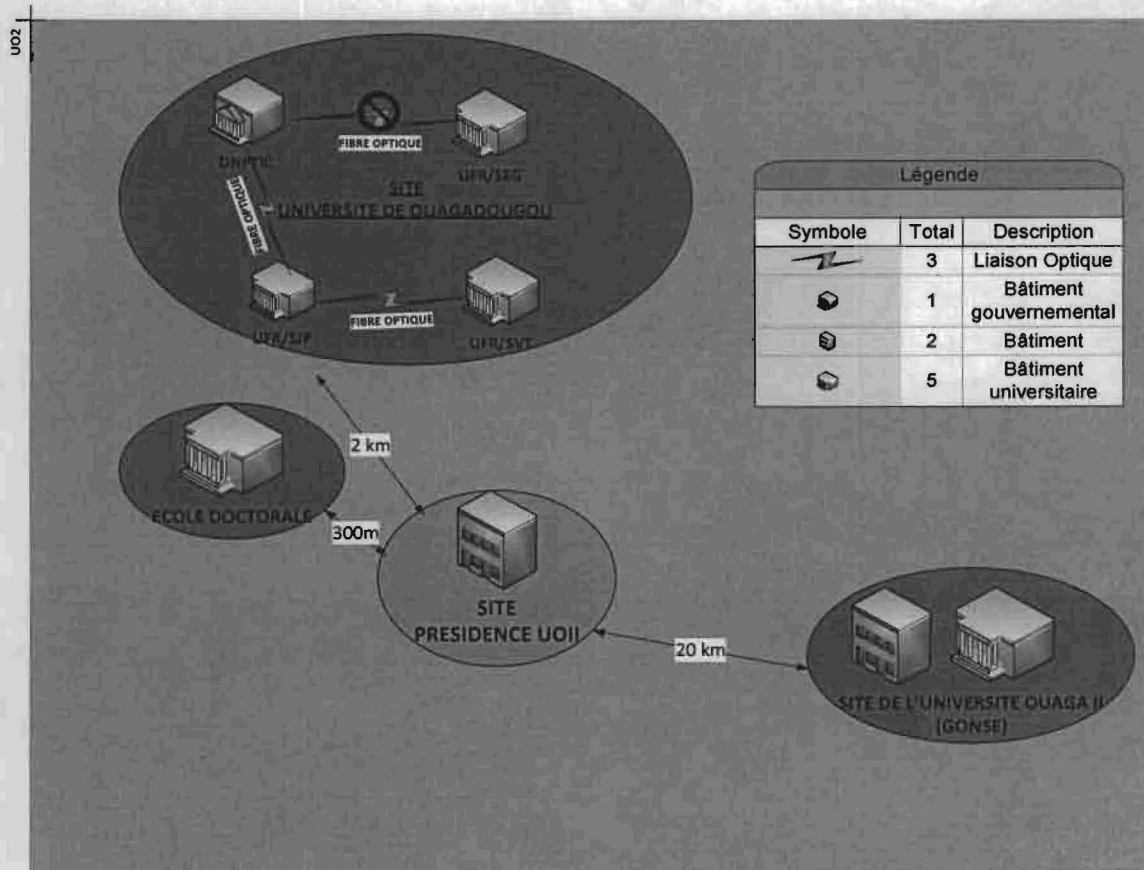


Figure 3: Etat des liaisons entre la présidence et les UFR

Les UFR sont toujours dans le réseau informatique de l'université de Ouagadougou par lequel l'UFR/SJP bénéficie d'un accès à Internet. En effet, l'UFR/SJP est relié à la DPNTIC et à l'UFR/SVT de l'UO par fibre optique, tandis que l'UFR/SEG se trouve isolé suite à une panne de sa liaison avec la DPNTIC.

Il faut noter qu'au niveau de chaque site, il existe un réseau local à l'exception de l'école doctorale ouverte récemment.

2.1.1.2. Le réseau local de la présidence de l'UO 2

La présidence de l'université Ouaga II est constituée d'un immeuble R+2 et d'un bâtiment annexe, abritant l'agence comptable et le contrôle financier. Au sein de cette présidence, il y a un réseau local avec un accès à internet via la technologie ADSL d'un débit de 2 Mbits/s fournit par l'Office National des Télécommunications (ONATEL.SA). Ce réseau est composé d'un réseau Ethernet et d'un WLAN. L'architecture de ce réseau est la suivante :

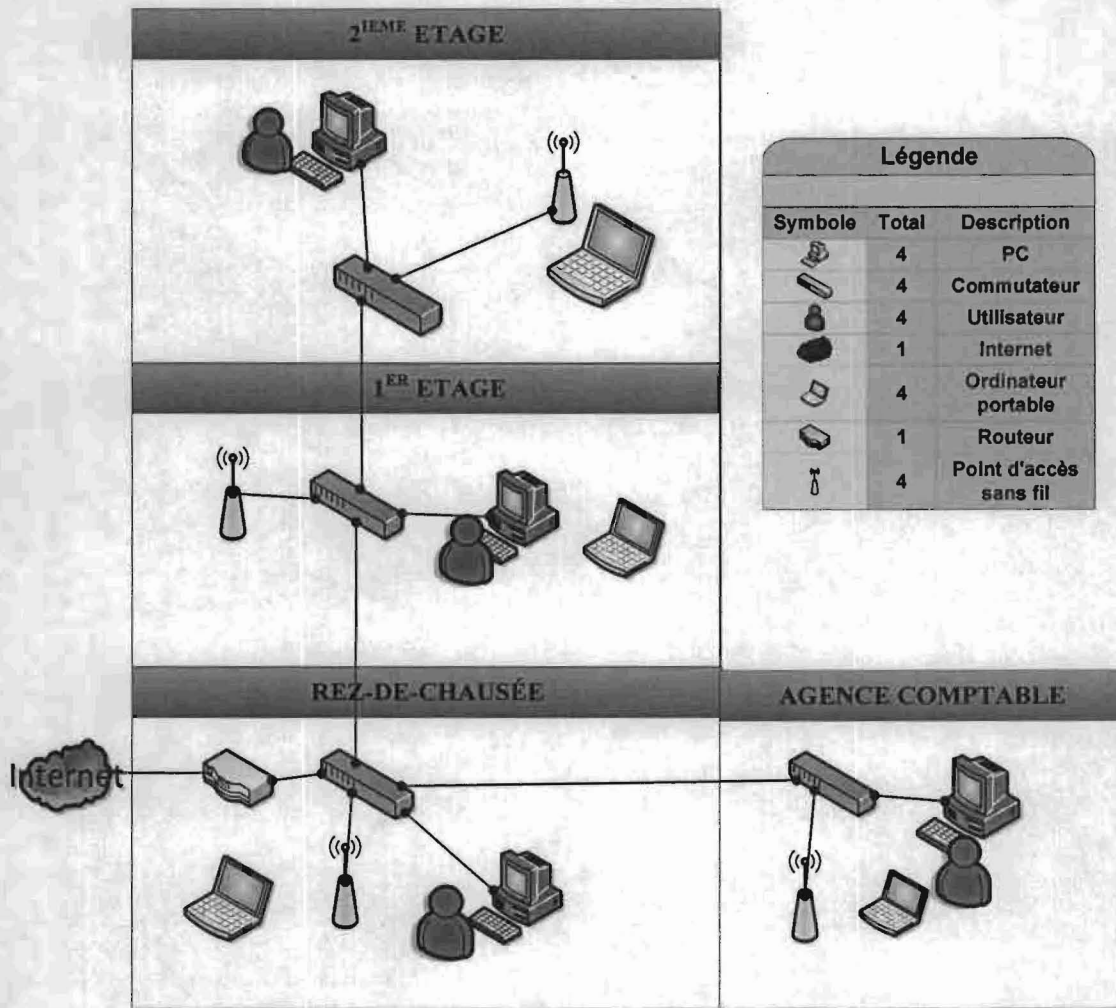


Figure 4: Architecture du réseau actuel de la présidence

Dans ce réseau de topologie en étoile étendue, les ordinateurs de bureau ont un adressage fixe, tandis que les points d'accès sans fil font office de serveurs DHCP pour les ordinateurs portables. Il faut signaler qu'à l'état actuel, ce réseau n'est utilisé que pour le partage des ressources, les imprimantes en général. Mais, l'université envisage mettre sur ce réseau des applications de gestions qui pour l'instant sont utilisées individuellement par chaque service. Dans cette optique, l'architecture actuelle évoluera à l'architecture réseau illustré ci-dessous :

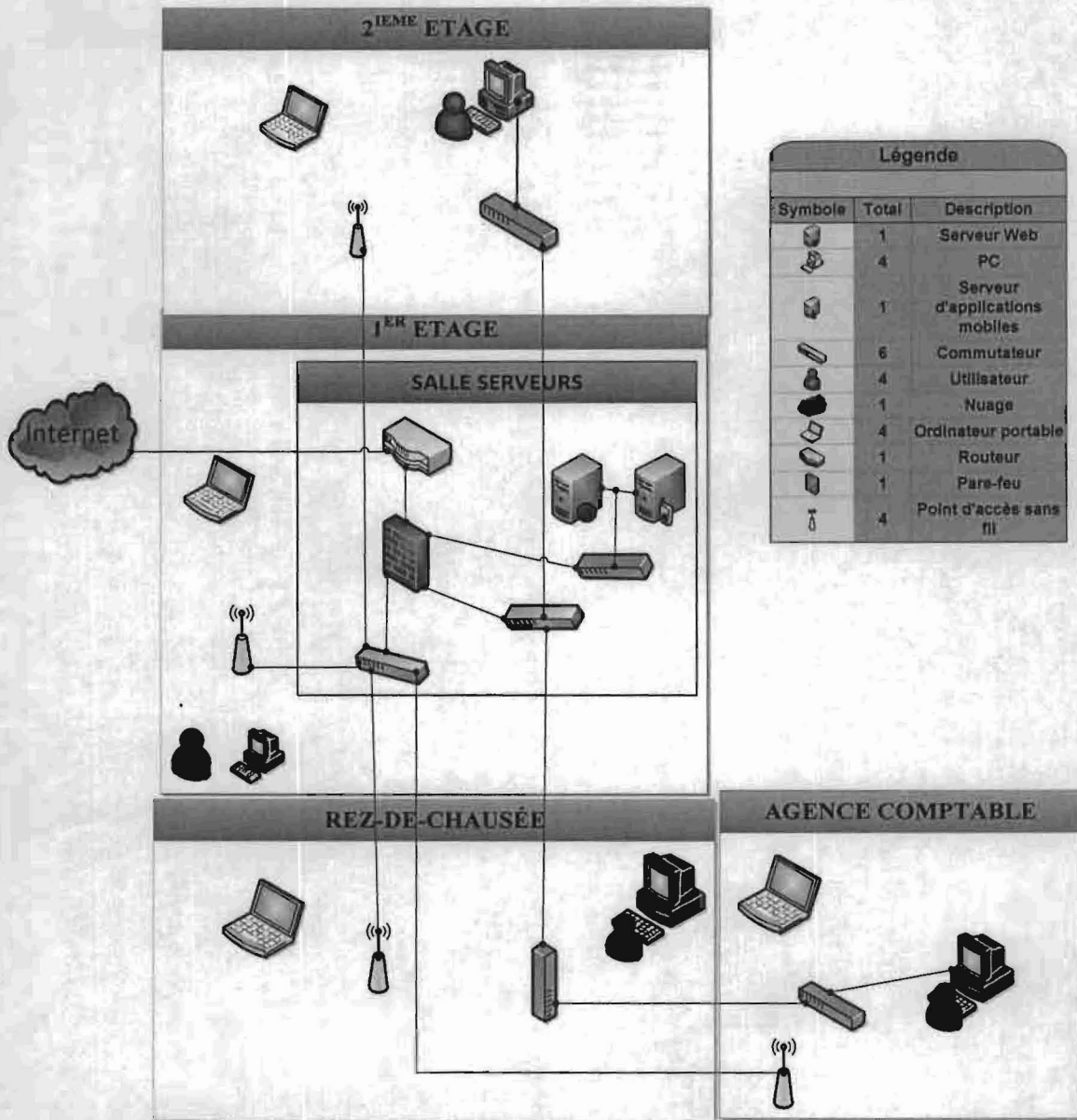


Figure 5 : Architecture envisagée pour réseau de la présidence UO II

2.1.1.3. Inventaire des ressources informatiques

✓ **Ressources matérielles**

La répartition du matériel informatique est présentée dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2: Répartition du matériel informatique de la présidence de l'UO2

BLOCS	TYPES	QUANTITES
AGENCE COMPTABLE	Ordinateurs HP 500B Micro Tower	13
	Imprimantes p2055d	5
	Onduleurs NOVA AVR 1250	13
	Switch CISCO 2960	1
	Panneau de brassage	1
	Point d'Accès	1
	Onduleur APC Smart-UPS	1
	Photocopieur	1
REZ-DE-CHAUSSEE	Ordinateurs HP 500B Micro Tower	8
	Imprimantes p2055d	6
	Onduleurs NOVA AVR 1250	8
	Switch CISCO 2960	1
	Panneau de brassage	1
	Point d'Accès	1
	Router WI-FI	1
	Photocopieuse multifonction	1
	Onduleur APC Smart-UPS	1
1 ^{ER} ETAGE	Ordinateurs HP 500B Micro Tower	10
	Imprimantes p2055d	9
	Onduleurs NOVA AVR 1250	10
	Switch CISCO 2960	1
	Panneau de brassage	1
	Point d'Accès	1
	Panneau de brassage	1
	Switch 16 ports	2
	Onduleur APC Smart-UPS	1
	Photocopieur	1
2 ^{ième} ETAGE	Ordinateurs HP 500B Micro Tower	14
	Imprimantes p2055d	8
	Onduleurs NOVA AVR 1250	14
	Switch CISCO 2960	1
	Panneau de brassage	1
	Point d'Accès	1
	Switch 4 ports	1
	Onduleur APC Smart-UPS	1

Au niveau des UFR, le matériel est reparti comme indiqué dans le tableau 2.

Tableau 3: Inventaire du matériel informatique des UFR SEG et SJP

UFR	Type du matériel	Quantité
SJP	Ordinateurs de bureau	25
	Onduleurs APC Smart-UPS	25
	Imprimantes HP LaserJet P2055d	10
	Imprimantes HP LaserJet P1320	15
	Switch Cisco Catalyst 2960	1
SEG	Ordinateurs de bureau	25
	Onduleur APC Smart-UPS	25
	Imprimantes LaserJet P2055d	10
	Imprimantes LaserJet P1320	15
	Switch Cisco Catalyst 2960	2

✓ **Ressources logicielles**

Comme ressources logicielles à l'UO2, on utilise :

- les systèmes d'exploitation : Microsoft Windows XP professionnel Service Pack 2 et 3, Microsoft Windows 7 professionnel et intégral, GNU/Linux Ubuntu (quelques ordinateurs personnels) ;
- les suites bureautiques Microsoft Office 2007 et 2010 ;
- logiciel de QCM direct version 6 de NEOPTec;
- autres logiciels: Adobe Reader, VLC, etc.

✓ **Compétences techniques**

Comme compétences techniques à l'UO2, il y a deux ingénieurs de travaux dont l'un est spécialisé en réseau informatique et l'autre en analyse et programmation, tous relevant de la VP-EIP. Ils ont à leur charge la gestion des infrastructures informatiques et du patrimoine numérique de l'université. Ils participent aussi à certaines tâches de la DAOI à savoir l'attribution des numéros matricules et la confection des cartes des étudiants.

2.1.2. Critique de l'existant

2.1.2.1. Faiblesses du système actuel

Au regard de l'état actuel du système informatique, il est évident que malgré ce parc très diversifié, l'outil informatique n'est pas utilisé de façon optimale. En effet, il est très difficile de répondre aux exigences en matière de communication et d'optimisation de l'utilisation des ressources. Nous avons alors relevé les difficultés suivantes dans ce système :

- le manque de canal dédié à la transmission de données entre la présidence et les UFR, constitue un vrai handicap pour les activités académiques au regard de l'importance des données partagées entre ces deux sites ;
- la sécurité des données se trouve menacée. En effet, il n'y a aucune politique de sécurité mise en place et les données sont transférées par des supports amovibles avec tous les risques que cela peut engendrer ;
- la mauvaise organisation des ressources informatiques : difficulté de gestion du matériel (inventaire), des utilisateurs et d'organisation des données.
- les surcoûts dans le circuit de communication.

A tous ces points, il faut ajouter l'insuffisance du personnel vu la charge des informaticiens et la diversité des sites de l'université.

2.1.2.2. Avantages d'une interconnexion des sites de l'université [3]

La création d'un réseau par l'interconnexion des équipements informatiques permet une communication directe (entre les dispositifs connectés) et le partage de ressources. L'université Ouaga II étant parsemée, interconnecter ces différents équipements informatiques lui sera d'un grand avantage du point de vue économique et organisationnel. En effet, les réseaux informatiques offrent plusieurs possibilités :

✓ Le partage des ressources matérielles et logicielles

Les réseaux permettent le partage des ressources (souvent coûteuses) tels que les imprimantes, les applications, les espaces disques, ainsi que les fichiers et cela indépendamment de la localisation géographique des utilisateurs.

✓ Le transfert des données sans recours aux supports amovibles

Les fichiers peuvent être consultés et transférés sur un réseau informatique au besoin, ce qui élimine le temps perdu et les inconvénients qui s'attachent au transfert

de fichiers par les périphériques amovibles. Il existe aussi moins de restrictions quant à la taille des fichiers qui peuvent être transférés sur le réseau.

✓ **La centralisation des programmes importants**

L'un des principaux avantages des réseaux informatiques est la possibilité de centraliser les ressources telles que les bases des données et les applications utiles à une communauté d'intérêt. L'installation standardisée des applications pour un grand nombre de postes permettra à tous les utilisateurs de disposer des mêmes applications afin de permettre un travail en commun et une mise à jour instantanée des ressources partagées. La mise en réseau permet aux services de disposer de programmes centralisés sur lesquels tous les utilisateurs peuvent travailler simultanément (synchronisation des agendas, des notes de service, suivie des différentes versions d'un même projet, travail interactif entre les membres d'une même équipe).

✓ **La gestion centralisée des utilisateurs et des ressources**

Elle permet de garantir la sécurité des données (identification et authentification des utilisateurs, regroupement des utilisateurs selon les services et définition des droits d'accès aux ressources...). En plus de la sécurité qu'elle apporte, la gestion centralisée permet une administration aisée des ressources.

✓ **La sauvegarde automatique des données critiques**

Ce facteur renforce la sécurité des données. Il est toujours essentiel de conserver des copies de sauvegarde des fichiers importants. Il est possible d'automatiser cette procédure par recours à un programme assurant la sauvegarde des fichiers. Sans réseau, il est nécessaire d'effectuer manuellement les copies de fichiers, tâche qui est assez laborieuse.

✓ **La messagerie électronique**

Le réseau informatique est un moyen de communication aisée entre les utilisateurs indifféremment de la situation géographique grâce à la messagerie (instantanée ou pas). En effet, il est possible d'installer un système de messagerie électronique (e-mail) sur le réseau afin que tous les utilisateurs puissent envoyer et recevoir des messages, et bénéficier d'un canal de communication supplémentaire. Ce qui permettra de réduire considérablement les dépenses pour les déplacements. En plus de ces moyens de communications, les réseaux peuvent permettre l'implémentation

de la téléphonie sur IP. Ce qui peut contribuer à réduire la facture de la communication téléphonique.

2.2. Objectifs et résultats attendus

2.2.1. Objectifs

Des termes de référence (TDR) de notre stage, il ressort qu'avec l'avènement de l'informatisation, il est nécessaire que les structures de l'Université Ouaga II travaillent en parfaite synergie afin de profiter des avantages des nouvelles technologies. C'est dans ce contexte, qu'il est nécessaire d'interconnecter les sites de l'université. Autrement dit, l'Université Ouaga II se doit de se doter de son propre réseau informatique.

Pour réaliser cette interconnexion, il faut mener une étude approfondie des technologies réseaux d'interconnexion afin de faire une proposition de solution optimale.

2.2.2. Résultats attendus

Les résultats attendus de notre étude se regroupent dans les points suivants :

- un rapport détaillé sur les technologies existantes dans le domaine, ainsi que la description détaillée de la solution qui sera retenue. Ce document doit faire apparaître les caractéristiques techniques ainsi que le rapport qualité/coût de chaque solution pour permettre au requérant une prise de décision.
- une proposition d'une politique de sécurité réseau et des données (au niveau de l'université Ouaga II).

2.3. Contraintes dans le choix de la technologie

Les contraintes qui ont été notifiées pour notre étude, sont principalement d'ordre financier. En effet, comme toute institution, l'université a un budget annuel de fonctionnement. Ainsi la solution proposée ne devra pas nécessiter un investissement hors des limites du budget prévu à cet effet.

Autre contrainte financière, la solution proposée ne devra pas engendrer d'importants surcoûts d'exploitation. L'UO2 étant en pleine structuration, elle alloue un budget assez élevé à l'équipement, avantage qui prendra fin une fois cette structuration terminée. Ainsi il nous a été recommandé que la solution proposée ne nécessite pas d'autres frais de fonctionnement comme les redevances périodiques.

En plus des contraintes financières, la solution proposée devra permettre un niveau

de disponibilité de service acceptable avec une bande passante favorable au déploiement de certaines applications (notamment *cocktail* qui est ensemble d'applications de gestion des services universitaires).

C'est avec ces ambitions et motivations ainsi que les contraintes suscitées que nous avons entamé une analyse des différentes technologies réseaux d'interconnexion des sites distants.

3

ETUDE DES SOLUTIONS D'INTERCONNEXION

3. Etude des solutions d'interconnexion

Interconnecter des réseaux consiste à créer une voie physique de sorte que les utilisateurs puissent communiquer comme s'ils étaient dans un réseau unique. Plusieurs technologies existent sur le marché à cet effet. Elles se différencient les unes des autres par les performances (débits, portées, sécurité, qualité de services), le coût et principalement par le support de transmission utilisé. Suivant le média de transmission, on classe ces technologies en deux grandes catégories : les filaires et les sans fils.

Dans ce chapitre, nous procéderons à l'analyse des différentes technologies envisageables pour l'interconnexion des sites de l'UO2, afin de choisir la technologie la mieux indiquée pour la problématique posée.

3.1. Les solutions filaires

Les solutions filaires ou encore solutions guidées consistent à créer un canal physique pour la transmission des données entre les sites à interconnecter. Ces solutions permettent d'avoir des liaisons permanentes et des débits garantis. En effet, depuis le réseau téléphonique commuté (RTC) dans les années 1960 à nos jours, c'est le câble en cuivre qui est le plus utilisé dans le domaine des réseaux de télécommunication ainsi que le transport des données. Passant du câble coaxial, à la paire à deux, quatre et huit fils, le cuivre était devenu un support incontournable de transmission. Mais c'était sans compter avec l'évolution exponentielle du numérique. Aujourd'hui le besoin de transmettre rapidement des données volumineuses sur de grandes distances a obligé les opérateurs de télécommunications à pousser plus loin les limites du cuivre, le combinant avec d'autres équipements, ou à l'invention d'autres médias de transmission. Cette partie sera consacrée à l'étude de solutions guidées.

3.1.1. Les liaisons louées ou liaisons spécialisées [4] [9]

Les lignes spécialisées sont principalement des liaisons connectant deux terminaux via des équipements d'un réseau de raccordement spécifique notamment le réseau téléphonique. En effet, ce réseau téléphonique est incontestablement le réseau le plus large que l'on trouve dans un pays.

La ligne spécialisée consiste à exploiter ce réseau déjà existant en demandant à l'opérateur de maintenir une liaison permanente entre deux sites dans sa zone de couverture d'où le nom « liaison louée ». Du point de vue du débit, tout dépend du support utilisé par l'opérateur de télécommunication.

Au Burkina Faso, l'ONATEL.SA est le seul fournisseur de liaisons spécialisées. Elle offre des débits allant de 64Kbps à 2Mbps et le coût est fonction du débit demandé. On peut cependant utiliser une agrégation de plusieurs lignes à 2Mbps pour avoir N * 2 Mbps (N étant le nombre de ligne).

3.1.1.1. Coûts des liaisons spécialisées au Burkina Faso

Les tableaux 4 et 5 regroupent les différents tarifs des offres de liaisons spécialisées de l'ONATEL.

Tableau 4: Tarifs d'accès aux liaisons spécialisées

Types de liaison		LS locale et interurbaine (en F CFA HT)
Analogiques	Liaison 2 fils	150 000
	Liaison 4 fils	300 000
Numériques	De 64 Kbit/s à 128 Kbit/s	400 000
	De 256 Kbit/s à 2 Mbit/s	1 000 000
	>2 Mbit/s	Sur devis

Source : (1)

Tableau 5: Tarifs des redevances mensuelles des liaisons spécialisées permanentes

Débit	LS locale (en F CFA HT)	LS interurbaine (en F CFA HT)
64 Kbits/s	150 000	375 000
128 Kbits/s	262 000	600 000
256 Kbits/s	487 000	1 200 000
512 Kbits/s	825 000	1 725 000
1024 Kbits/s	1 125 000	2 325 000
2048 Kbits/s	1 275 000	2 625 000

Source : (1)

Dans le cas de l'interconnexion de réseaux locaux, en plus des frais d'accès et de la redevance mensuelle, le client devra disposer d'un modem et un routeur à chaque bout de la liaison. L'interconnexion se fera à travers une ligne téléphonique qui reliera les modems entre eux, connectés à leur tour aux routeurs.

L'ONATEL.SA offre ces différents équipements en location pour une durée d'un an.

3.1.1.2. Avantages et inconvénients

✓ Avantages

Les avantages de la liaison spécialisée sont:

- un débit garanti puisque la bande passante n'est pas partagée;
- une sécurité garantie : l'opérateur assure la sécurité du canal, le client celle de ses données.

✓ Inconvénients

Les inconvénients de la liaison spécialisée sont:

- solution peu économique à cause des surcoûts engendrés par la redevance mensuelle;
- dépendance presque totale d'un opérateur de télécommunication,
- débit réel très instable.

Les réseaux de cuivre n'ont pas tardé à dévoiler leurs limites pour les transmissions haut débit et leurs faiblesses en matière de sécurité. Sur ces réseaux, les données sont transportées sous forme d'impulsions électriques, et sont perturbées par la diaphonie. Le cuivre est aussi hostile aux environnements industriels, bain de flux électromagnétiques. C'est pour pallier ce problème qu'est née l'idée de la fibre optique qui est présentée dans la section suivante.

3.1.2. La fibre optique [6] [8]

Une fibre optique [fig. 6] est un fil en verre ou en plastique très fin permettant la transmission de données à haut débit sous forme d'impulsions lumineuses modulées. Elle supporte un réseau large bande par lequel peuvent transiter simultanément aussi des données multimédias et Web.



Source : www.entreprendre.cd

Figure 6: La fibre optique

3.1.2.1. Les types de fibres optiques

La fibre utilisée en télécommunication est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine optique. L'ensemble est généralement recouvert d'un revêtement plastique de protection.

Selon les proportions entre le diamètre du cœur et celui de la gaine optique, on distingue deux grandes familles de fibres optiques : les fibres monomodes et les fibres multi modes.

✓ Les fibres multimodes

Le cœur a un diamètre compris entre 50 μm et 62,5 μm permettant ainsi plusieurs modes de propagation de la lumière. Cette famille se subdivise en deux catégories :

- Les fibres multimodes à saut d'indice: Le cœur a un gros diamètre, par rapport à la longueur d'onde de la lumière. L'indice de réfraction varie brusquement quand on passe du cœur à la gaine. Le guidage de la lumière se fait suivant des lignes brisées. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux de type LAN. L'atténuation sur ce type de fibre est très importante. Avec cette catégorie, on relève les performances suivantes :
 - affaiblissement: 10 dB/Km;
 - débit: environ 100 Mbit/s
 - portée maximale: environ 2 Km.
- Les fibres multimodes à gradient d'indice: L'indice de réfraction cœur/gaine présente une courbe parabolique avec un maximum au niveau de l'axe. Les rayons lumineux suivent un parcours sinusoïdal. elle est aussi utilisée dans les réseaux locaux. L'atténuation sur ce type de fibre est moins importante que sur les fibres à saut d'indice :
 - affaiblissement: 10 dB/Km ;
 - débit: environ 1 Gbit/s ;
 - portée maximale: environ 2 Km.

✓ Les fibres monomodes

Le diamètre du cœur est inférieur à 10 μm de telle sorte que le parcours de la lumière devient presque longitudinal. Le diamètre de la gaine est compris entre 50 μm et 125 μm . Ce type de fibre nécessite une source de lumière quasiment monochromatique. (Diode Laser). La fibre monomode est surtout utilisée pour les services de

télécommunication sur de très longues distances. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- affaiblissement: 0,5 dB/Km
- débit: environ 100 Gbit/s
- portée maximale: environ 100 Km.

3.1.2.2. *Avantages et inconvénients*

✓ Avantages

Les avantages de la fibre optique sont :

- débit et vitesse de propagation très élevés ;
- faible atténuation du signal et diaphonie quasi-nulle ;
- insensibilité aux perturbations électromagnétiques ;
- résistance à la corrosion ;
- sécurité : discrétion des liaisons et inviolabilité ;
- écologique : en plus du fait qu'elle consomme peu d'énergie, la fabrication de la fibre est plus écologique que les câbles électriques.

✓ Inconvénients

Les performances de la fibre optique n'ont d'égal qu'à son coût. En effet, en plus des équipements extrêmement coûteux (cordon jarretière ≈42000Fcf, une valise de raccordements (polisseur, microscope, outils...) ≈1 400 000Fcf), la pose de fibre optique engendre d'importants travaux de génie civil estimés à 80% du coût total de l'implémentation. Il faut noter aussi la fragilité et les faibles dimensions des équipements qui rendent l'implémentation et la maintenance très délicates.

Les solutions filaires bien qu'offrant d'excellents débits et portées, ont très vite dévoilé leurs faiblesses dans la couverture de certaines zones à savoir les zones très reculées pour la liaison spécialisées et les zones très urbanisées pour les fibres optiques. C'est pour pallier ces limites des solutions guidées que les solutions sans fils ont vu le jour.

3.2. Les solutions sans fils

Aujourd'hui, le sans-fil est de plus en plus présent dans notre vie quotidienne et tend à remplacer l'utilisation excessive de câbles. Les solutions sans fils, par la souplesse de mise en place et d'utilisation qu'elles offrent, concurrencent les solutions filaires à

tous les points de vue. A leur début, les débits et portées jouaient en leur défaveur, mais aujourd'hui, ce défi est relevé par plusieurs d'entre elles. Dans cette partie, nous mènerons une étude sur les différentes technologies sans fil envisageables pour résoudre la problématique d'interconnexion.

3.2.1. Les réseaux privés virtuels [11]

Couramment appelés VPN de l'expression anglaise « Virtual Private Network », les réseaux privés virtuels constituent un moyen d'interconnexion qui consiste à émuler un environnement de communication sécurisé via une infrastructure publique pour une communauté d'intérêt. Les réseaux privés virtuels utilisent l'internet comme support de transmission; c'est la raison pour laquelle elle est considérée comme étant de la famille des solutions sans fil. Dans cet environnement, les données sont cryptées et transmises par le biais d'un réseau non sécurisé qu'est Internet.

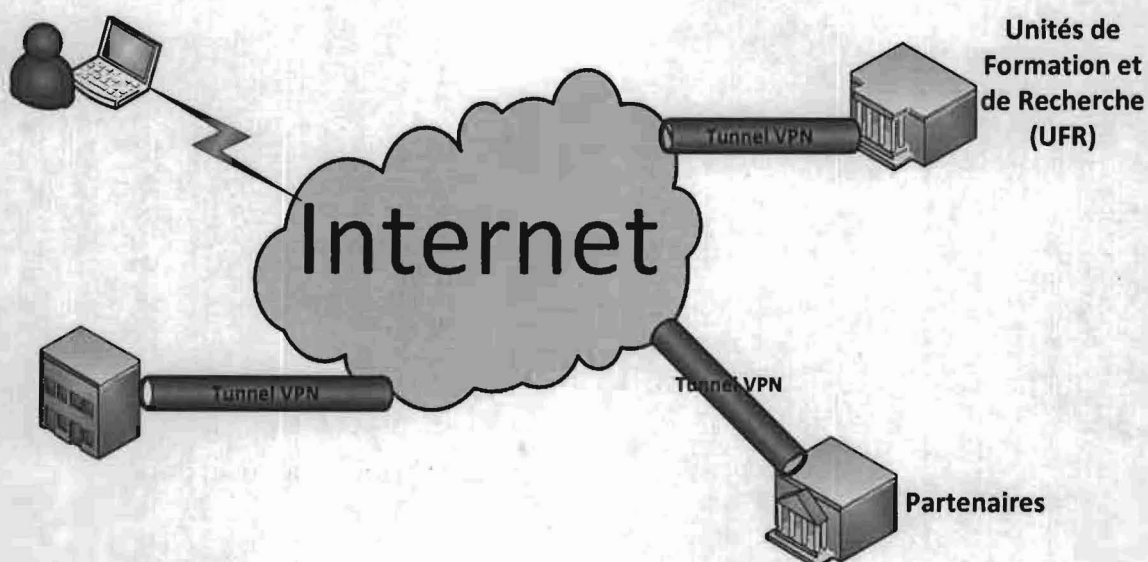


Figure 7: Environnement VPN

3.2.1.1. Aspects techniques

✓ Principes de fonctionnement

Un réseau VPN repose sur un protocole appelé "protocole de tunneling" se décomposant comme suit :

- des processus d'encapsulation, de transmission et de désencapsulation ;

- la disponibilité du service n'est pas garantie car, utilisant Internet comme support de transmission, le débit dépend du fournisseur d'accès internet (FAI) et du trafic sur internet ;
- la réduction des performances globales surtout le temps de transmission dû à la lourdeur des mécanismes de tunneling ;
- la sécurité des VPN est à double tranchant, la moindre faille de sécurité peut être exploitée par un internaute mal intentionné.

Dans la famille des solutions sans fil, il y a aussi les solutions basées sur les ondes radios. Parmi ces technologies, une est particulièrement bien indiquée pour la problématique d'interconnexion : la boucle locale radio.

3.2.2. La boucle locale radio [7] [10]

On désigne par le terme « boucle locale », les infrastructures de transmission d'un réseau de télécommunication à travers lesquelles un opérateur offre ses services aux clients. Les technologies radio dans la boucle locale consistent à remplacer le fil de cuivre traditionnel qui relie l'abonné à son commutateur par une liaison hertzienne. La boucle locale radio (BLR) va ainsi permettre la communication avec des terminaux dans des zones inaccessibles par la boucle locale filaire.

3.2.2.1. Aspects techniques

✓ Principe de fonctionnement

Dans l'architecture d'un réseau BLR, les maillons essentiels des liaisons sont la station de base et les stations réceptrices.

- La station de base : elle constitue le point central du réseau auquel viennent se raccorder tous les récepteurs situés dans zone de couverture. Elle constitue également le point de sortie vers les réseaux publics au travers d'un réseau à haut débit.
- Les stations réceptrices : Ce sont des petites antennes appelées stations terminales placées au niveau de chaque site de l'interconnexion. Chaque récepteur est relié au réseau local du site par une liaison haut débit.

✓ **Architectures de la boucle locale radio**

Il y a principalement deux architectures d'implémentation de la boucle locale radio à savoir :

- L'architecture point à point : cette architecture caractérise une communication dans laquelle on ne s'adresse qu'à un seul destinataire à la fois. Elle est utilisée comme épine dorsale pour interconnecter des sites distants ou pour obtenir des débits élevés sur de courtes distances.
- L'architecture point à multipoints : architecture dans laquelle on s'adresse à plusieurs destinataires à la fois, elle est utilisée pour communiquer directement avec des terminaux se trouvant dans la zone de couverture de la station de base. C'est l'architecture utilisée dans les réseaux cellulaires.

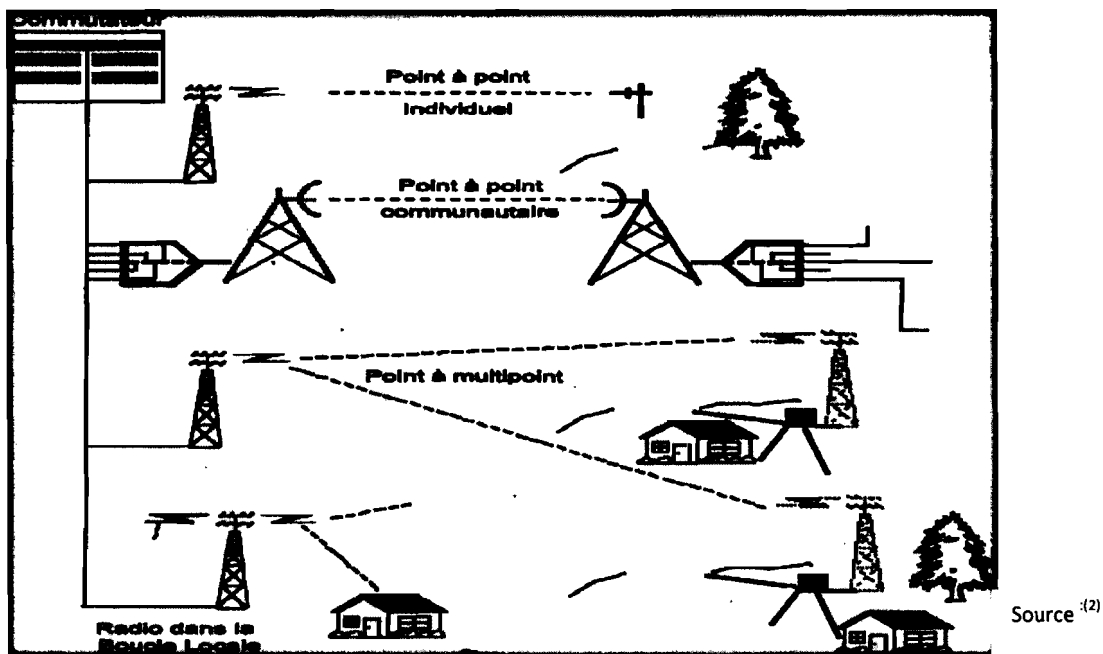


Figure 8:Schéma de principe de la boucle locale radio

✓ **Technologies de la boucle locale radio**

A son apparition, il existait deux technologies pour la BLR, à savoir les systèmes LMDS et MMDS. Avec les exigences du marché en portées et en souplesse d'implémentation, une autre technologie BLR a été conçue, il s'agit du WiMAX.

❖ Local Multipoint Distribution Services (LMDS)

Le LMDS c'est-à-dire le service de distribution multipoints locaux, permet de fournir les mêmes services que la fibre optique avec une qualité et une fiabilité identique via un accès radio. Cette technologie utilise les bandes de fréquences de 28Ghz à 30Ghz, offrant des débits allant de 64Kbps à 32Mbps et une portée maximale de 15Km. Elle permet la transmission des données en haut débit ainsi que la voix (téléphonie) et la vidéo interactive (visioconférence).

❖ Multichannel Multipoint Distribution Services (MMDS)

Le Système de Distribution Multipoint par Micro-onde fonctionne dans la fréquence de 2,5 à 2.7GHz. Il est utilisé pour la distribution de programmes de télévision à plusieurs postes se trouvant dans une zone délimitée. Le MMDS promet des débits de diffusion de plusieurs Mbps à une distance maximum de 10Km.

En plus de la contrainte de ligne de vue directe entre la station de base et le récepteur imposée par les solutions LMDS et MMDS, ces solutions ont aussi souffert du manque de standardisation de l'ensemble des équipements utilisés. Cela a favorisé l'émergence d'une autre technologie BLR : le WiMAX.

❖ World Wide Interoperability for Microwaves Access (WiMAX) [15]

Le WiMAX, acronyme qui se traduit en français comme l'«interopérabilité mondiale pour la transmission par ondes radios », est une initiative du consortium « WiMAX Forum ». Cette technologie a été créée pour permettre la convergence et l'interopérabilité entre deux standards de réseaux sans fils auparavant indépendants, HiperMAN proposé en Europe par l'ETSI et 802.16 proposé par l'IEEE.

Le WiMAX, en plus de la mobilité qu'il offre au client, promet des portées et débits supérieurs à ceux du LMDS et MMDS ; c'est la raison pour laquelle cette technologie est considérée comme une évolution de la BLR. Outre les connexions en ligne de vue directe dans la bande 10-66 GHz, le WiMAX permet aussi des connexions NLOS (No line of Sight) dans la bande 2 à 11GHz. Le NLOS autorise des obstacles tels que des arbres se trouvant entre l'émetteur et le récepteur mais cela a généralement pour effet de réduire notablement la portée.

Les débits offerts par le WiMAX sont estimés à 70Mbps pour une portée maximale de 50Km. En pratique, le débit réel dépend de nombreux facteurs, tels que la distance entre la station de base et la station réceptrice, ou la topographie des lieux.

Il est d'environ 15Mbps sur des distances allant de 20 à 30Km. Ce débit est partagé entre tous les récepteurs raccordés à une même station de base.

3.2.2.2. Avantages et inconvénients

✓ **Avantages**

La BLR présente les avantages suivants :

- la BLR est une solution économiquement attrayante : pas de surcoûts liés à des travaux de génie civil ;
- elle permet un déploiement progressif et rapide : une fois la station de base installée, on installe les récepteurs clients seulement au besoin ;
- elle offre d'excellents débits ;
- elle est facile à maintenir et à administrer.

✓ **Inconvénients**

La BLR n'a pas que des avantages, elle présente aussi des inconvénients. On peut relever notamment les points suivants :

- les ondes radios sont très sensibles aux conditions météorologiques ;
- exploitation sous licence, sur certaines fréquences ;
- les émetteurs hertziens jouissent d'une mauvaise réputation (danger pour la santé, ...).

Il faut noter que les solutions étudiées ci-dessus ne sont pas les seules solutions utilisées pour l'interconnexion de sites distants, mais plutôt celles que l'on peut raisonnablement envisager dans le cadre de notre étude.

Les solutions filaires et sans fils se disputent le marché des réseaux étendus. Il revient alors aux concepteurs de réseaux de trouver la technologie la plus indiquée pour un projet en fonction des besoins, de la zone de couverture ainsi que des coûts.

3.3. Choix de solution optimale

3.3.1. Les critères de choix

Vu la diversité des solutions existantes pour la problématique d'interconnexion, il nous revient donc d'opérer un choix judicieux et optimal. Ce choix, pour répondre

- la construction d'un chemin virtuel après avoir identifié l'émetteur et le destinataire ;
- la source chiffre les données et les achemine en empruntant ce chemin virtuel.
- La destination déchiffre les paquets reçus grâce à une clé secrète convenue avec la source.

✓ **Les protocoles d'encapsulation**

Il existe plusieurs protocoles d'encapsulation utilisés pour la mise en place des VPN, à savoir :

- PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol) : c'est un protocole de niveau 2 développé par Microsoft, qui permet l'encryptage des données ainsi que leur compression.
- L2F (Layer Two Forwarding) : L2F est un protocole de niveau 2 développé par Cisco, NorthernTelecom et Shiva. Il est désormais quasi-obsolète ;
- L2TP (Layer Two Tunneling Protocol) : c'est l'aboutissement des travaux de l'IETF (RFC 2661) pour faire converger les fonctionnalités de PPTP et L2F ;
- IPSec est un protocole de niveau 3 : Il est issu des travaux de l'IETF, permettant de transporter des données chiffrées pour les réseaux IP.

Parmi ces protocoles, le PPTP et IPSec se distinguent par leur niveau de protection élevé.

3.2.1.2. Avantages et inconvénients

✓ **Avantages**

Les principaux avantages des VPN sont :

- la Sécurité : les données sont cryptées et transmises par un canal sécurisé ;
- la Simplicité : Utilisation des circuits de télécommunications classiques ;
- le faible coût de déploiement : utilisation d'Internet comme support de transmission.

✓ **Inconvénients**

Les VPN ne présentent pas seulement que des forces, ils comptent aussi les insuffisances citées ci-dessous :

aux ambitions de l'université, doit tenir compte de plusieurs facteurs. Il s'agit principalement de :

- La qualité du service offert : la technologie choisie devra permettre de couvrir les exigences en bande passante, mais aussi garantir la disponibilité permanente du service ;
- La sécurité : sur le réseau transiteront des informations assez sensibles, d'où la nécessité d'avoir un niveau de sécurité élevé dans la transmissions des données ;
- L'aspect économique : la solution choisie devra être réalisable dans les limites du budget prévu à cet effet. Les surcoûts d'exploitation (maintenance et redevance) doivent être minimisés ;
- La zone de couverture : le choix de la solution dépendra fortement du fait que les sites à couvrir sont en zone urbaine. Le facteur distance doit être pris en compte vu que le site le plus éloigné est à 20Km.
- L'extensibilité : l'université étant en pleine structuration, il ne faut pas écarter la possibilité d'apparition de nouveaux sites, d'où l'importance du caractère extensible de la solution à choisir.

Tous ces critères se résument à une solution couvrant les besoins avec un rapport qualité/coût acceptable. En effet, il sera d'aucune utilité de déployer une haute technologie à un coût élevé qui dépasse largement les besoins et hors budget, ni non plus de choisir une technologie inefficace pour son caractère économique.

En considérant ces critères, il sera plus judicieux de restreindre notre analyse aux solutions sans fils. Cela se justifie aisément par les trois (03) raisons principales.

✓ **Raisons économiques**

Les technologies sans fils sont économiquement plus attrayantes. En effet, elles permettent un investissement progressif tandis que les solutions filaires nécessitent d'énormes investissements pour créer une seule liaison, investissement qui dans la plupart des cas n'est pas exploitable pour une seconde liaison. La multiplicité des sites va donc alourdir la facture de ces solutions guidées.

✓ **Raisons géographiques**

La situation en zone urbaine des sites à relier ne facilite pas l'implémentation d'une solution filaire (surtout la fibre optique). En l'absence d'un nœud existant à exploiter,

la pose de fibre optique entre les sites de l'UO2 est quasi impossible. En revanche, les technologies sans fils sont bien adaptées à cette situation.

✓ **Raisons d'extensibilité**

Rappelons que le site de l'UO2 est en construction à 20Km à vol d'oiseau. Dans un futur proche, le besoin d'interconnecter cette localité aux sites actuels est envisageable. Et une fois de plus le sans-fil s'impose comme la solution idéale au vu de l'investissement amoindri qu'il nécessitera et de la facilité de mise en place. Les technologies filaires quant à elles, en plus d'éventuels importants travaux de génie civil, mobilisera encore un grand investissement.

3.3.2. La solution optimale

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques des technologies sans fils envisageables pour l'interconnexion.

Tableau 6: Récapitulatif des caractéristiques des technologies sans fils

Technologies		VPN	LMDS	WIMAX
Caractéristiques				
Efficacité	Débits	64Kbps à 2Mbps	64Kbps à 32 Mbps	2Mbps à 70Mbps
	Portées	Toute zone ayant accès à internet	15Km	50Km
	Disponibilité du service	Faible ⁽¹⁾	Bonne	Bonne
	Sécurité	Moyenne	Moyenne	Moyenne
	Indépendance de la structure	Partielle	Totale	Totale
Coût	Frais après implémentation	Redevance d'accès à internet pour chaque site	-	-
	Coût d'installation	Faible	Moyen	Moyen
	Coût de Maintenance	Moyen	Faible	Faible

(1) cette valeur est due à la qualité du service internet au Burkina Faso

Après une analyse des valeurs du tableau ci-dessus, notre choix s'est porté sur la technologie WiMAX. Les raisons qui ont motivé ce choix sont :

- les débits et portées satisfaisant;
- la facilité de déploiement et de maintenance ;
- la flexibilité du réseau résultant, avec une grande facilité d'extension ;
- la possibilité d'investir progressivement en fonction du besoin et des moyens disponibles;
- l'indépendance totale en termes de télécommunication que la technologie offre à l'université ;
- la diversité et l'efficacité des services offerts par le WiMAX ;
- les mécanismes de sécurité disponibles dans les équipements.

Ce chapitre nous a donné un bref aperçu sur les technologies d'interconnexion. Cela nous a permis de faire un choix ; cependant pour implémenter la technologie choisie, une étude plus poussée s'avère nécessaire.

4

**ETUDE APPROFONDIE DE LA
TECHNOLOGIE RETENUE :
LE WIMAX**

4. Etude approfondie de la technologie retenue

Après l'analyse des différentes technologies d'interconnexion, notre choix s'est porté sur le WiMAX. Cette solution offre divers services. Cependant pour les implémenter, une bonne maîtrise de la technologie est nécessaire. Ce chapitre est consacré à une analyse avancée des aspects techniques du WiMAX ainsi qu'à son déploiement dans le cas pratique de l'université Ouaga II. Cette étude nous permettra de déterminer les équipements à acquérir et les paramètres optimaux de transmission pour une interconnexion fiable et sécurisée des sites de l'UO2.

4.1. Présentation du WiMAX [5] [12]

Avec le développement d'Internet, le besoin d'échange de données et d'utilisation des services multimédias est grandissant. Différentes technologies de transmission de données se sont succédées en tentant de combler les manquements des précédentes. La forte mobilité des usagers de ces services a permis le développement des technologies qui se sont parfaitement adaptées à ce nomadisme. Ainsi, de l'AMPS (Advanced Mobile Phone System) en 1979, nous sommes aujourd'hui au réseau WiMAX.

Le WiMAX acronyme de « Worldwide Interoperability for Microwave Access » est une norme technique basée sur le standard de transmission radio 802.16, validée par l'organisme international de normalisation IEEE. Elle est activement développée par le consortium WiMAX FORUM. Le terme « WiMAX » est un label commercial du 802.16 à l'instar de « Wi-Fi » pour le standard 802.11. Cette technologie est une réponse pour des connexions sans-fil à haut-débit sur des zones de couverture de plusieurs kilomètres permettant des usages en situation fixe ou en mobilité.

A l'image du « Wi-Fi Alliance » pour les réseaux locaux sans fil 802.11, le « WiMAX forum » est un consortium créé en avril 2002, sous l'impulsion d'Intel et d'Alvarion pour assurer l'interopérabilité et la compatibilité entre les différents équipements exploitant les normes de réseaux étendus sans fils. C'est un forum ouvert constitué essentiellement d'équipementiers et d'opérateurs de télécommunication.

Le WiMAX forum a pour objectif de soutenir le développement et l'implémentation du standard 802.16, de promouvoir l'utilisation de la large bande sans fil et de proposer un programme de certifications et de tests. Les équipements certifiés par le WiMAX forum peuvent ainsi arborer le logo représenté par la figure 9.



Source : ⁽³⁾

Figure 9: Logo du WiMAX

4.2. Principe de fonctionnement et équipements nécessaires [15]

4.2.1. Principe de fonctionnement

Le WiMAX fonctionne en mode infrastructure. Il permet de mettre en place une boucle locale radio, c'est-à-dire un lien par ondes radio entre une station cliente et le point de collecte appelé "station de base. Du cœur du réseau en descendant vers le terminal client, on trouve les éléments suivants :

- une liaison haut débit, par exemple par fibre optique ou par paire torsadée, alimentant l'émetteur WiMAX ;
- une antenne WiMAX, ou "station de base", placée sur un point haut (pylône, château d'eau, immeuble, ...) afin d'assurer la couverture maximale ;
- une station cliente assure la liaison entre l'émetteur de la zone et l'équipement connecté (modem dans le cas d'une interconnexion).

4.2.2. Les principaux équipements de l'interconnexion [5]

Le fonctionnement du WiMAX repose sur un ensemble d'équipements.

✓ La station de base

La station de base est le point central d'un réseau WiMAX. Elle ressemble aux stations cellulaires classiques et est constituée d'émetteurs-récepteurs (appelés Accès Unit : AU) qui émettent et reçoivent des ondes radios porteuses de données

dans une direction donnée. Les angles couverts sont fonction des performances de l'AU.

✓ **La station cliente**

Encore appelée Subscriber Unit (SU), elle communique avec la station de base à l'aide d'un émetteur-récepteur assurant ainsi la liaison entre la station de base et les autres équipements auxquels il est connecté via un modem.

✓ **Le modem**

C'est l'intermédiaire entre les émetteurs radios qui reçoivent des signaux analogiques et les postes du réseau qui ne manipulent que des données numériques. Son rôle est donc de transformer les signaux reçus des postes de travail en ondes radio afin de les transmettre à l'antenne ou d'effectuer l'opération inverse lorsque les signaux proviennent de l'antenne. Le modem est relié à l'antenne par un câble en paires torsadées.

✓ **Le câble en paire torsadée**

Ce câble sert à raccorder l'antenne du client ou la station de base au modem. Il est recommandé d'utiliser un câble blindé (STP Cat 5e) pour réduire au maximum les pertes liées à la connectique.

✓ **La station relais**

En plus des éléments sus cités, il peut parfois être nécessaire d'utiliser une station de base relais lorsqu'il y a un site situé hors de la portée de la station de base principale. Cet élément est équipé de deux antennes (émission/réception) et joue le rôle de répéteur de signal entre la station de base et la station cliente du site distant.

4.3. Normes, catégories et couches du WiMAX [1] [5] [15]

4.3.1. Les normes

La normalisation sert à garantir l'interopérabilité entre les équipements qui sont alors certifiés. Cela garantit un certain niveau de technicité et de sécurité entre eux. La recherche de l'interopérabilité s'obtient par les voies de la normalisation et de la certification. L'interopérabilité est un enjeu important vu que le WiMAX est défini pour une large bande de fréquences (2 à 66 GHz), dans laquelle on trouve d'autres technologies, comme le Wi-Fi, et qui autorise des débits, des portées et des usages très variés.

Le WiMAX réunit plusieurs standards, tous à des états d'avancement différents qui sont autant d'axes de travail du groupe IEEE 802.16. Le tableau 7 résume les différentes standard du WiMAX, leurs statuts et date de publication.

Tableau 7: Les différentes normes du WiMAX

Standard	Description	Publication	Statut
IEEE std 802.16- 2001	Définit des réseaux métropolitains sans fils utilisant les fréquences supérieures à 10Ghz (jusqu'à 66Ghz)	8 avril 2002	Obsolètes
IEEE std 802.16c- 2002	Définit les options possibles pour les réseaux utilisant les fréquences entre 10 et 66Ghz	15 Janvier 2003	
IEEE std 802.16a- 2003	Amendement au standard 802.16 pour les fréquences entre 2 et 11Ghz	1 ^{er} avril 2003	
IEEE std 802.16d- 2004	Il s'agit de l'actualisation (la révision) des standards de base 802.16, 802.16a et 802.16c	1 ^{er} Octobre 2004	Actifs
IEEE std 802.16.2	Interopérabilité entre toutes les solutions 802.16.	17 mars 2004	
IEEE std 802.16e- 2005	Apporte les possibilités d'utilisation en situation mobile du standard, jusqu'à 120Km/h.	7 décembre 2005	
IEEE std 802.16f	Apporte les notions de réseau maillé	22 janvier 2006	
IEEE 802.16m	Débits en nomade ou stationnaire jusqu'à 1 Gbit/s et 100 Mbits/s en mobile grande vitesse. Convergence des technologies WiMAX, Wi-Fi et la 4G	2009	

D'abord conçu pour les bandes de fréquences de 10 à 66 GHz en 2001, la 802.16 s'est intéressée par la suite aux bandes de 2 à 11 GHz pour donner naissance en 2003 à 802.16a. Suite aux différentes révisions, le WiMAX s'est subdivisé en deux grandes catégories : le WiMAX fixe et le WiMAX mobile.

4.3.2. Les catégories de WiMAX

✓ Le WiMAX fixe

Il est basé sur le standard IEEE 802.16-2004 et est prévu pour un usage fixe. Dans ce cas, il est comparable au Wifi. En revanche, le WiMAX fixe n'implémente pas la gestion du Roaming/Handover. Cela implique une déconnexion/reconnexion lors du changement de station de base. Le débit théorique maximum est de 75Mbps pour une portée de 50 à 70 kilomètres sans obstacles.

✓ Le WiMAX mobile

Aussi appelé IEEE 802.16e, il autorise la mobilité du client en assurant une itinérance horizontale: La carte du terminal client reçoit des signaux des stations de base l'entourant et choisi le meilleur signal parmi les différents signaux. Cette vérification est faite constamment, si le signal vient à s'affaiblir, la carte choisira de nouveau le meilleur signal. Avec WiMAX mobile 802.16e, de nouvelles applications peuvent être envisagées, allant jusqu'à la possibilité d'exploiter ce réseau pour de la téléphonie sur IP. Le débit maximum théorique est de 30 Mbit/s pour une portée de 2 à 4 kilomètres sans obstacles.

Cette différence de performances entre les versions fixes et mobiles du WiMAX est principalement liée aux mécanismes implémentés dans les couches protocolaires de chaque version.

4.3.3. Les couches protocolaires du WiMAX

L'IEEE 802.16 a été développé en suivant une architecture en couches. Elle est constituée de deux couches: une couche PHY (physique) et une couche MAC (Media Access Control).

✓ La couche PHY

La principale différence entre les versions fixe et mobile du WiMAX, se situe au niveau de la couche physique (PHY). Elle a pour but de réaliser les mécanismes de modulation/démodulation, de codage /décodage, de détection et correction d'erreur. La couche physique pour la spécification 10-66 GHz se base sur une propagation en ligne de vue (line-of-Sight). Pour les spécifications du 2-11Ghz, la couche PHY a été implémentée pour répondre au cas où les stations communiqueraient en « non ligne de vue » (No line of Sight), dans le cas des environnements urbains avec la

présence d'obstacles entre les stations. Pour répondre à ces spécifications, trois types d'interfaces de transmission ont été définies :

- le SC2 (Single Carrier): Elle définit une transmission sur un seul canal de fréquence;
- le multiplexage par répartition en fréquence sur des porteuses orthogonales (OFDM) ;
- la sous canalisation (OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access).

✓ La couche MAC

C'est elle qui définit la méthode d'accès au réseau. Les mécanismes de cette couche doivent garantir la qualité de service, la sécurité et l'interopérabilité entre les équipements. Elle s'appuie sur trois sous couches à savoir, la sous- couche de convergence spécifique des couches supérieures (Service Specific Convergence Sublayer : SSCS), la sous- couche des services communs (MAC Common Part Sublayer : CPS) et la sous- couche sécurité (Privacy Sublayer : PS).

Contrairement à la couche MAC du 802.11 qui utilise le CSMA/CD comme méthode d'accès, la couche MAC du 802.16 utilise un algorithme d'ordonnancement qui alloue des ressources d'accès à chaque station cliente. Ainsi, le réseau peut contrôler les paramètres de qualité de services en répartissant dynamiquement l'allocation des ressources radio entre les stations, en fonction des besoins des applications. La bande passante offerte à chaque station peut être réduite ou augmentée, mais elle reste attribuée à la station. Cela permet à la fois de garantir la stabilité de l'accès en cas de surcharge, et d'optimiser la bande passante disponible.

4.4. Techniques radios du WiMAX [5] [15]

Dans une communication radio, nous retrouvons deux notions, le LOS (signal à vue) et le NLOS (sans ligne de vue). Dans une liaison LOS, il n'y a aucun obstacle entre l'émetteur et le récepteur. Malheureusement cette condition est très difficile à satisfaire dans un déploiement de liaisons radios en zone urbaine ou sur des grandes distances ; émetteur et récepteur se trouvant habituellement séparés par des arbres, des immeubles ou encore des collines. La communication n'est alors possible qu'à travers des réflexions et des diffractions de l'onde radio. On parle alors de transmission sans ligne de vue. Le signal arrivant au récepteur est constitué de

plusieurs composantes du signal original. Cela engendre un retard, une atténuation et une déformation par rapport à un trajet direct.

La technologie WiMAX, résout ou atténue les problèmes résultant des conditions NLOS en utilisant des techniques de modulation avancées, des codes correcteurs d'erreurs, un contrôle de la puissance, la transmission et réception avec la diversité (MIMO : Multiple-Input Multiple-Output).

4.4.1. La modulation

La modulation est le moyen utilisé pour convertir l'information et la propager dans l'air. Cette opération transforme le signal numérique en un signal analogique pour le présenter à l'antenne. Elle porte sur des symboles qui sont à la base des bits 1 ou 0 mais qui peuvent également être des patterns de plusieurs bits. Chaque symbole est caractérisé par une altération d'un signal de base sinusoïdal, appelé porteuse. Cela peut être une variation de l'amplitude, de la fréquence ou encore de la phase.

Certaines modulations sont robustes, c'est-à-dire peu sensibles aux perturbations, mais à débit réduit. D'autres, au contraire, permettent d'envoyer beaucoup plus d'informations, mais sont moins robustes (surtout pour les longues distances).

Les modulations utilisées par le WiMAX, par ordre croissant de débit, sont les Binary Phase-Shift Keying (BPSK), Quadrature Phase-Shift keying (QPSK) et Quadrature Amplitude Modulation (QAM).

Les techniques de modulation sont implémentées au niveau de la couche PHY et sont différents selon les catégories du WiMAX.

✓ **Orthogonal Frequency Division Multiplexing**

L'Orthogonal Frequency Division Multiplexing en français : multiplexage par répartition en fréquence sur des porteuses orthogonales est une technique de transmission de données analogique apparue dans les années 1960. Les premières générations d'équipements 802.16d exploitent la modulation OFDM et l'algorithme FFT 256, pour laquelle le signal est transmis sur une bande de fréquences divisée en 256 sous-porteuses.

Pour émettre un signal, l'OFDM divise une plage de fréquence en plusieurs sous-canaux espacés par des zones libres de taille identique. Un algorithme dit, le « *fast fourier transform* » (FFT) véhicule ensuite le signal via les sous-canaux. C'est également cet algorithme qui se charge de reconstituer le signal chez le

récepteur. L'objectif est ainsi d'exploiter au maximum la plage de fréquence allouée tout en minimisant l'impact du bruit grâce aux espaces libres séparant chaque canal.

✓ **Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access**

Les recherches ont permis d'améliorer l'OFDM avec l'apparition de l'OFDMA (OFDM Access) ou la sous-canalisation. Avec la modulation OFDMA, un multiplexage de fréquences permet d'augmenter le nombre de sous porteuses à 2048 ce qui réduit les interférences et améliore le débit. Cette technique de modulation est utilisée dans les environnements NLOS.

✓ **Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access**

Le WiMAX mobile 802.16e-2005 a apporté de la souplesse à l'OFDMA avec la modulation SOFDMA. Le SOFDMA (Scalable OFDMA), implémente un accès évolutif via multiplexage par répartition en fréquence sur des porteuses orthogonales. Cette technique permet de partager la ressource radio à la fois en temps et en fréquence entre plusieurs terminaux. En effet, elle fait varier le nombre de sous-porteuses simultanées entre 128 et 2048 selon la bande passante disponible pour l'utilisateur et dans le temps, permettant une transmission plus efficace du signal.

✓ **La modulation adaptative**

En plus de ces techniques de modulation, le WiMAX utilise la modulation adaptative qui lui permet d'adapter le régime de modulation en fonction de la qualité du signal radio. Avec cette technique, quand le lien radio est de très bonne qualité, le plus haut plan de modulation est utilisé, offrant le débit le plus important. En cas d'affaiblissement du signal, le système WiMAX peut passer d'une modulation à une autre plus faible pour maintenir une connexion stable. Cette caractéristique permet au système de surmonter les évanouissements du signal dans le temps. L'avantage d'une modulation adaptative est de laisser le système choisir le meilleur débit face aux conditions radio réelles.

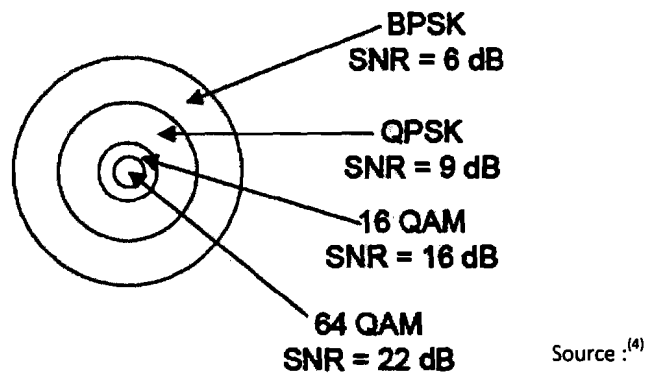


Figure 10: Adaptation du codage

4.4.2. Les codes correcteurs d'erreurs

Des techniques de correction d'erreurs sont utilisées en WiMAX pour réduire le rapport signal sur bruit. Les codes de Reed Solomon⁽¹⁾ convolutifs et des algorithmes d'entrelacement permettent de détecter et de corriger les erreurs de transmissions tout en améliorant le débit. Un algorithme de renvoi de paquets mal reçu (ARQ :automatic repeat request) est utilisé pour les paquets ne pouvant pas être corrigés.

4.4.3. Le contrôle de puissance

Des algorithmes de contrôle de puissance sont mis en œuvre par la station de base pour améliorer la performance du système. La station de base envoie des informations de commande de puissance aux terminaux connectés afin que le niveau reçu à la station de base soit suffisant. La réduction de puissance diminue la consommation électrique de l'équipement et les interférences avec les autres terminaux connectés.

Pour une transmission «à vue», la puissance d'émission de l'équipement est proportionnelle à sa distance avec la station de base. Pour une transmission «indirecte», la puissance est largement tributaire de la distance, mais aussi des obstacles.

4.4.4. L'architecture Multiple-Input Multiple-Output

La plupart des réseaux sans fil sont utilisés dans des milieux couverts provoquant ainsi la réflexion du signal sur de nombreux obstacles. L'ensemble de ces réflexions

(1) Le code de Reed-Solomon est un code correcteur basé sur les corps de Galois (cf. fr.wikipedia.org/wiki/Code_de_Reed-Solomon)

provoque une multiplication des canaux de transmission qu'on appelle également diversité spatiale. Cette diversité spatiale entraîne des interférences et donc des dégradations au niveau du signal et une baisse de la portée de celui-ci. La technique MIMO permet de remédier à cela en tirant profit des chemins multiples qu'empruntent les ondes.

Le principe de la technique MIMO

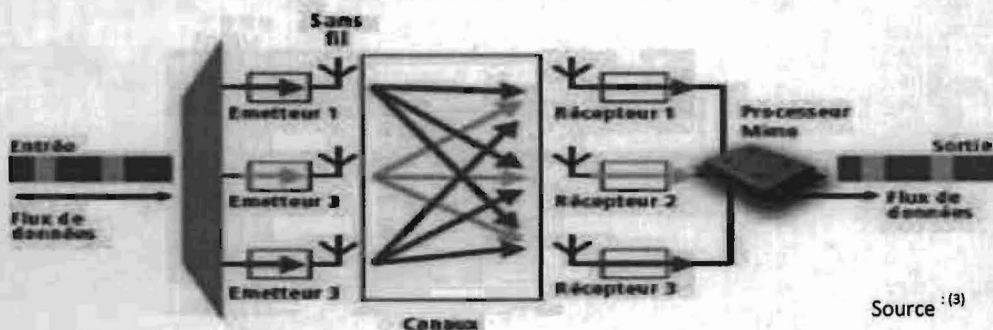


Figure 11: Fonctionnement du MIMO 3X3

Le flux est divisé en différents flux de même fréquence qui sont envoyés via 3 émetteurs à 3 récepteurs. Un algorithme permet ensuite d'identifier les différents flux en vue de les restituer en un seul flux.

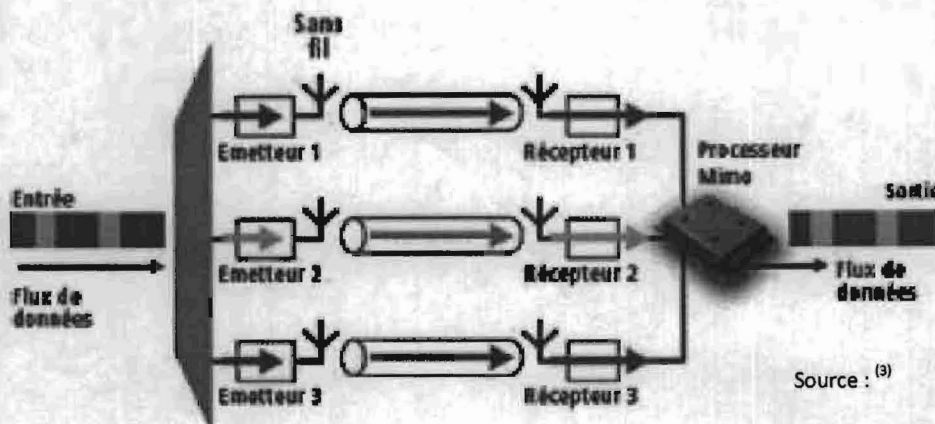


Figure 12: Fonctionnement du MIMO 3X3 (suite)

Cet algorithme utilise la réflexion des signaux sur les murs, le sol, etc. Alors que ces réflexions pourraient être considérées comme mauvaises, la technologie MIMO profite de ces différents canaux pour améliorer la rapidité de transmission des données.

4.5. Les mécanismes de sécurité et la notion de qualité de service

4.5.1. Les mécanismes de sécurité [4] [5]

Le WiMAX possède un système de sécurité très avancé. En effet, la 802.16 définit dans la couche MAC une sous couche de sécurité. La sous couche sécurité de la couche MAC est constituée de deux protocoles : un protocole de cryptage des données et un protocole d'encapsulation et de gestion de clé de chiffrement. La gestion des clés est définie sur la station de base à la manière d'un poste de travail configuré pour distribuer des clés et synchroniser les données entre ces clés et les restrictions d'accès aux services réseaux. Les clés utilisées par le WiMAX sont principalement le triple DES (128bits) et le RSA (1024bits). Par la suite, le triple DES connu par sa lenteur dans le chiffrement/déchiffrement a été remplacé par l'AES plus rapide et utilisant une clé à 128bits.

Plus simplement, cette sous couche de sécurité dispose d'une politique qui consiste à identifier et authentifier la station de base et chacun de ses interlocuteurs avant toute transmission de données proprement dite. De plus, chaque connexion est identifiée par un identifiant le CID (Connection Identity). Ainsi, lorsque deux nœuds veulent communiquer, ils doivent d'abord s'identifier chacun chez son interlocuteur, en utilisant la négociation à « une poignée de main à trois voies » (« Three Way Handshake »). Cela permet d'assurer la confidentialité de la liaison créée qui possède un CID unique et destiné seulement à la communication entre ces nœuds.

La couche PHY participe à la sécurité par les techniques de modulation qu'elle implémente, le codage/décodage, et la puissance d'émission autorisée. En effet, le spectre peut être utilisé comme une mesure de sécurité. Les données correspondent à un destinataire spécifique, les autres destinataires ne peuvent donc pas décoder ces données. Cela signifie que si un bénéficiaire ne connaît pas les codes d'étalement, même avec un accès physique aux données, il ne peut pas décoder les paquets.

4.5.2. La notion de la qualité de service [15]

La qualité de service (noté QoS pour Quality of Service) est la capacité à garantir le fonctionnement d'un service à un client. La notion de QoS rend compte de façon

chiffrée, du niveau de performances que les utilisateurs attendent du réseau et son contenu dépend évidemment du service demandé. Le standard WiMAX intègre nativement la notion de qualité de service. Il définit quatre classes de services qui sont :

- *Unsolicited Grant Service (UGS)* : Les services de cette classe sont de la plus haute priorité. Ce type de service est utilisé pour supporter des flux temps réel générant des paquets de taille fixe et de façon périodique comme de la transmission de voix sans suppression des silences. Cette classe correspond aux applications de téléphonie classique exigeant des transmissions en temps réel. Le WiMAX préconise, pour les connexions utilisant ce service, de ne pas utiliser les autres afin qu'il puisse fonctionner correctement ;
- *real-time Paquet Service (rtPS)* : qui correspond à la transmission d'application de type vidéo. Cette classe prend en charge des applications produisant des trames de longueurs variables à intervalles réguliers ;
- *non real-time Paquet Service (nrtps)* : correspond à des applications élastiques qui acceptent une variabilité de délai et de tailles des paquets. Cette classe de trafic est bien adaptée au transfert de fichiers et aux applications sans contraintes temporelles mais qui demandent malgré tout un débit minimal pour s'assurer d'être transmis après un temps donné ;
- *Best Effort (BE)* : qui ne demande aucune qualité de service particulière. Les services associés sont bien entendus ceux qui ne demandent aucune garantie sur le trafic, comme les applications web.

4.6. Facteurs influents sur une liaison WiMAX [2] [5]

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte dans le déploiement d'une liaison WiMAX. Il s'agit principalement des performances des équipements d'interconnexion et des facteurs d'atténuation de puissance des signaux radios.

4.6.1. Les caractéristiques des équipements d'interconnexion

Les caractéristiques des équipements d'extrémité à prendre en compte dans l'établissement d'une liaison radio fiable sont :

✓ **La puissance d'émission**

C'est la puissance du signal que l'équipement hertzien peut délivrer. Elle s'exprime en dbm et est égale au cumul de la puissance effectivement émise et du gain de l'antenne ôté des pertes de câbles.

✓ **Le gain et la directivité**

C'est la capacité d'une antenne à concentrer le signal qu'elle reçoit pour en augmenter la puissance. Le gain d'une antenne dépend principalement de sa surface et de la fréquence. Plus la fréquence est élevée, plus le gain l'est aussi à dimension identique. Elle s'exprime normalement en dBi, en prenant pour référence une antenne isotrope, c'est-à-dire une antenne fictive qui rayonne uniformément dans toutes les directions.

La directivité est un paramètre difficilement dissociable du gain. Elle représente la capacité de l'antenne à envoyer ou à recevoir les ondes dans une zone précise et non dans toutes les directions. Augmenter le gain d'une antenne c'est concentrer son flux sur une zone précise, et par conséquent, en augmenter la directivité.

✓ **Le seuil de réception (S_r)**

Défini par rapport à un taux d'erreur binaire donné ($TEB=10^{-3}$ et 10^{-6}), il traduit la capacité pour le récepteur à traiter le signal affaibli après propagation. Le seuil de réception dépend fortement de la fréquence et du type de modulation.

✓ **La bande de fréquence**

D'abord conçu pour les bandes 10-66 GHz en 2001, la 802.16 s'est intéressée par la suite aux bandes 2-11 GHz. Dans la pratique le WiMAX se déploie principalement sur les bandes 2.5, 3.5 et 5GHz. Il faut noter que plus la fréquence est faible, mieux est le signal. Ainsi, le souhait commun des équipementiers est de travailler dans la bande de 2.5 actuellement utilisée par la 3G. En Afrique, le WiMAX se déploie la bande 3.5 GHz sous licence et la bande 5GHz libre.

4.6.2. Les facteurs d'atténuation

4.6.2.1. La zone de Fresnel [2]

Sur l'ensemble du trajet parcouru par une onde, il est impératif de veiller au dégagement de la liaison. L'essentiel de l'énergie est concentrée dans la zone que l'on appelle « premier ellipsoïde de Fresnel ». L'ellipsoïde de Fresnel est un volume dans l'espace permettant d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle à la propagation d'une onde.

Soient :

R = rayon de l'ellipsoïde de Fresnel ;

d = la distance entre les deux antennes ;

f = la fréquence de transmission ;

d_1 et d_2 les distances de l'obstacle par rapport aux extrémités de la liaison.

On a :

$$R = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}} \quad (\text{Formule de Fresnel})$$

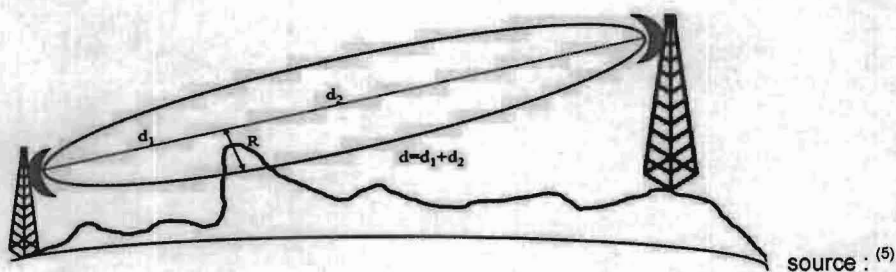


Figure 13: Illustration de la zone de Fresnel

La ligne directe entre les antennes d'émission et de réception doit être dégagée au moins de 60% du sol pour assurer les conditions de propagation en espace libre.

4.6.2.2. Les pertes

Les pertes qui apparaissent entre le récepteur et l'émetteur sont dues à plusieurs phénomènes. Certaines s'appliquent à toutes les liaisons et d'autres sont propres aux portables à cause de la mobilité.

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

✓ **Les pertes dues à la distance parcourue (Ael)**

Elles dépendent de plusieurs facteurs comme la fréquence et les hauteurs des stations. En effet, quand la fréquence est basse, ces pertes sont faibles. Elles le sont d'avantage quand l'émetteur est plus haut. Cependant, il y a une hauteur limite au-delà de laquelle les pertes sont considérable.

Ces pertes sont évaluées par la formule suivante :

$$Ael = 20 \log_{10} \left[\frac{4\pi d}{\lambda} \right] \quad (\text{Formule de Friis})$$

Avec :

d = la distance (en m) entre deux antennes dans l'espace libre

λ = la longueur d'onde (m)

Il faut noter que cette équation n'est valable que si d est inférieur à $1/4\pi$.

L'équation la mieux adaptée est la suivante :

$$A_{el} = 32,4 + 20 \log(d) + 20 \log(fc)$$

Avec :

d = la distance entre les deux antennes, en Km

f_c = la fréquence, en Mhz.

✓ **Les pertes liées aux effets de masque**

Les effets de masque naissent lorsque l'onde traverse un obstacle comme les murs, les collines et les arbres. L'atténuation due aux arbres se matérialise par une décroissance exponentielle de l'intensité du signal. Celle due à la pluie est relativement faible mais n'est pas négligeable lorsque l'onde parcourt de longues distances.

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

✓ **Les pertes de branchements**

Pour les équipements ne présentant pas d'antennes intégrées, il est nécessaire de les relier par un câble coaxial ou un guide d'onde l'émetteur/récepteur à l'antenne.

Ces déports induisent des pertes linéiques pouvant atteindre plusieurs dB, auxquels s'ajoutent les pertes dues aux connecteurs et autres éléments de branchements.

✓ **Les pertes diverses**

Elles se composent des pertes de désadaptations, dépointage à l'émission et à la réception, filtrage, dépolarisation (rotation), selon le détail du système étudié.

4.6.3. Le bilan de liaison [3]

Le but du bilan de liaison est de calculer l'atténuation de parcours maximale requise entre la station de base et le récepteur pour un service donné.

L'obtention du bilan de liaison repose sur le constat simple : la station distante doit recevoir un signal tel qu'elle puisse le retranscrire avec un taux d'erreur acceptable, au regard des exigences de qualité de la liaison. Le bilan de liaison, sommation de la puissance émise et de tous les gains et les pertes rencontrés jusqu'au récepteur, doit donc être tel que le niveau de signal reçu soit supérieur au seuil de réception (S_R)

On a donc le niveau de réception du signal ou la puissance reçue (P_r) qui est égale à:

$$P_r = P_{em} + G_{em} + G_{re} - A_{el} - \alpha \text{ pertes}$$

Avec :

P_r : la puissance reçu ;

P_{em} : la puissance d'émission ;

G_{em} : Le gain à l'émission ;

G_{re} : la puissance à la réception ;

A_{el} : les pertes de parcours ;

$\alpha \text{ pertes}$: Les pertes de branchements

Pour qu'une liaison soit fonctionnelle, il faut que :

$$P_r \geq S_r$$

Pour compenser la majorité des pertes occasionnelles de puissance (évanouissements non sélectifs) que subit le signal, la réception se fait avec une marge appelée *marge uniforme* ou *marge au seuil* (M_s) ou *marge brute*. C'est la puissance que l'on pourra perdre par dégradation des conditions de propagation sans pour autant affecter les performances de la liaison.

$$M_s = P_r - S_r$$

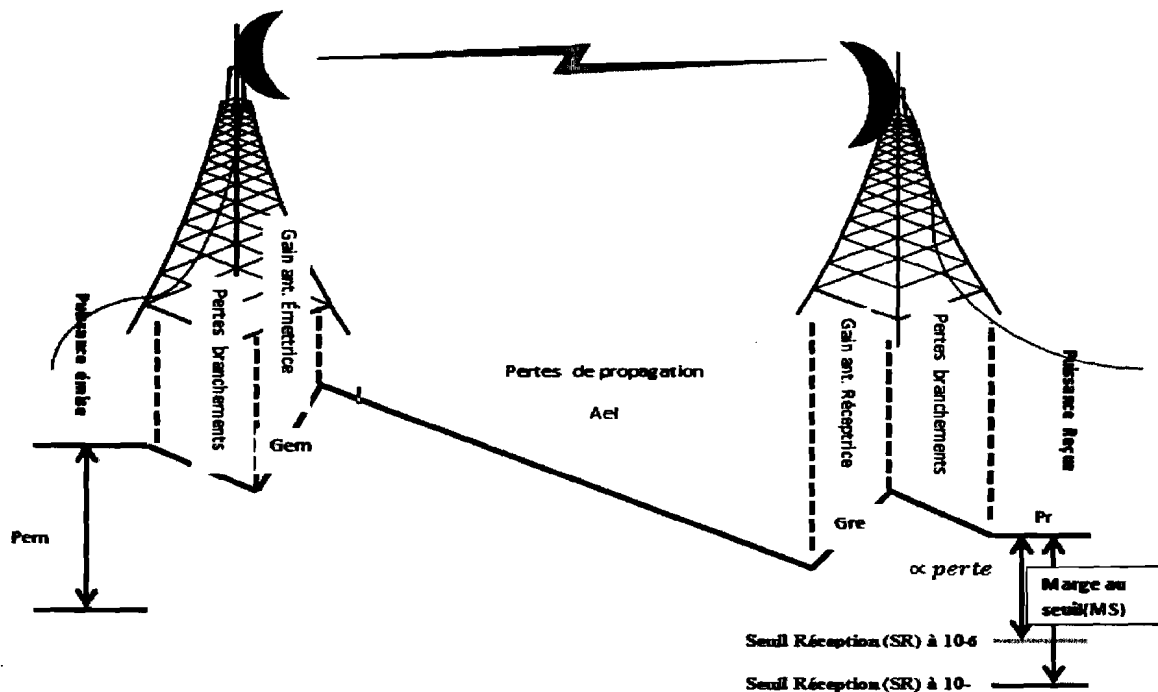


Figure 14: Illustration du bilan de liaison

4.7. Les Domaines d'application du WiMAX [5]

La couverture et les débits pouvant être offerts, le caractère de mobilité promis à terme ainsi que l'hypothèse de coûts industriels et d'installations réduits, ouvrent la voie à de nombreuses applications pour le WiMAX:

- Services multimédias : offres Triple Play : données, voix, vidéo à la demande, voire Quadruple Play (ajout de la téléphonie mobile au triple Play) ;
- couvertures classiques des zones d'activité économique, parcs touristiques, places publiques, etc.
- déploiements temporaires : chantiers, festivals, infrastructure de secours sur une catastrophe naturelle ;
- la couverture des zones blanches ou interdites de travaux de génie civil ;
- la gestion du handover ou itinérance : ouvrant la voie à la téléphonie mobile;
- gestion des transports intelligents ;
- systèmes d'information géographique déportés ;
- sécurité civile.

5

DEPLOIEMENT ET SECURISATION

5. Déploiement et sécurisation

Les chapitres précédents ont eu pour objectif de faire comprendre le fonctionnement de la technologie WiMAX, ses exigences et les facteurs à prendre en compte pour établir une interconnexion fiable. Il en ressort qu'en fonction de la zone à couvrir un choix judicieux s'impose pour le matériel ainsi que les paramètres de configuration. Le présent chapitre fait l'objet d'une part, de la détermination des équipements à acquérir ainsi que les configurations qu'il faut leur appliquer pour une interconnexion fiable des sites de l'université Ouaga II. D'autre part, nous proposerons une solution pour sécuriser l'ensemble du réseau.

5.1. Déploiement

5.1.1. Démarche générale à suivre pour le déploiement [2]

Les ondes radios sont très sensibles à l'environnement dans lequel elles se propagent. Ainsi, une attention particulière doit être portée sur les emplacements des émetteurs et récepteurs que ce soit du point de vue hauteur ou accessibilité. En effet, la communication radio exige d'avoir un point haut, pourtant cette hauteur peut être aussi un facteur de perte de la puissance du signal. En général, pour déployer une liaison il faut :

- disposer d'une carte de la zone assez précise. Cette étude peut être faite par une structure de traitement d'informations géographiques;
- disposer d'une base de données de sursol (précision à 25m ou 5m si possible)
- déterminer les coordonnées des sites à relier (la longitude, la latitude);
- tracer le profil de la liaison à la main puis perfectionnée par un logiciel adéquat ;
- déterminer la hauteur des antennes : distance depuis le niveau absolu de la mer.

Pour la simulation au progiciel, il faut renseigner les paramètres suivants :

- la bande (ou canaux) de fréquences utilisables (canaux à fournir par ARCE) ;
- le taux d'indisponibilité toléré par année d'exercice;
- la tolérance d'erreur exigée (en proportion de : $TEB 10^{-9}$, 10^{-6} , 10^{-3} ,...);
- les informations sur le matériel à déployer ;
- les caractéristiques de la zone: relief, végétation, etc.

5.1.2. Etude du terrain

L'étude du terrain est une étape très importante dans la réalisation d'une interconnexion radio. Une autre phase cruciale de cette étude est le *Survey* qui consiste à faire une sortie sur le terrain pour effectuer une prise des coordonnées des structures à interconnecter et ce, à l'aide d'un récepteur GPS (Géo-Positionnement par Satellite qui est un outil utilisé pour déterminer les coordonnées géographiques de l'endroit où l'on se trouve). A défaut, on peut utiliser le logiciel *Google Earth* pour relever les coordonnées géographiques des emplacements des différentes stations, après une sortie sur le terrain. Ce logiciel permet grâce à l'internet de survoler la terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Il affiche les informations disponibles (Longitude, latitude, élévation,...) pour chaque emplacement.

Les résultats du *Survey* vont nous permettre de déterminer les caractéristiques intrinsèques de la liaison des différents sites et cela, à travers l'établissement du bilan de liaison.

La zone à couvrir dans notre cas est constitué des sites suivants :

- les UFR SEG et SJP situées au sein de l'université de Ouagadougou,
- la présidence de l'université à Wemtenga ;
- le site dans la commune de Saaba situé à 20 Km à la sortie Est de Ouagadougou.
- l'école doctorale qui sera à l'actuelle agence de la BSIC (300m de la présidence).

Après une visite sur les différents sites à interconnecter, nous avons grâce au logiciel *Google Earth* relevé les coordonnées regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 8: Coordonnées géographiques des sites à interconnecter

Site	Longitude	Latitude	Élévation en m
Présidence	1°29'07,61" O	12°22'31,44" N	310
UFR/SJP	1°29'58.46" O	12°22'35.29" N	293
UFR/SEG	1°30'07.80"O	12°22'33.88"N	296
Ecole doctorale	1°29'11,69" O	12°22'31.76" N	310
Site de Gonsé	1°20'44.42" O	12°28'21.54" N	299

A partir de ces coordonnées nous avons relevé les distances à vue directe par rapport au point central qui sera la présidence et cela grâce au progiciel Radio Mobile. Ces distances sont :

Présidence → Gonsé : 18,62 Km

Présidence → Ecole doctorale : 0,12Km

Présidence → UFR/SJP : 1,57Km

Présidence → UFR/SEG : 1,82Km

5.1.3. Détermination des caractéristiques de transmission

Prenant en considération les besoins de l'université, nous préconisons l'implémentation du WiMAX dans sa version fixe à savoir la norme 802.16d mieux adapté pour la problématique d'interconnexion. Cette norme sera déployée suivant une architecture point à point avec comme point central, la station de base qui sera à la présidence. Au niveau des autres sites, un récepteur assurera la liaison avec la station de base.

5.1.3.1. Choix de la fréquence et évaluation des pertes

✓ Choix de la fréquence

La sélection de la bande de fréquence à utiliser a une influence capitale sur le dimensionnement et la planification du réseau. A basses fréquences, les caractéristiques de propagation du signal sont meilleures, seulement la bande passante disponible est limitée. Dans le choix de la bande de fréquence, il faut aussi tenir compte de la saturation de l'espace, c'est-à-dire le nombre d'opérateurs utilisant déjà cette bande de fréquence. Au Burkina, nous avons le choix entre les bandes 3,5 sous licence et celles de 5Ghz libre.

Pour les besoins de notre projet, nous avons porté notre choix sur la bande de 5 GHz parce qu'elle est libre mais aussi moins saturée que la 3,5 GHz.

✓ Evaluation des pertes

Nous proposons une connexion en ligne de vue directe, donc les pertes de propagation se déterminent par la formule suivante :

$$A_{el} = 32,4 + 20 \log(d) + 20 \log(fc)$$

Avec d en Km et fc en MHz.

Dans la fréquence de 5GHz, les pertes de propagation sont calculées et consignées dans le tableau 9.

Tableau 9: Estimation des pertes de propagations

Liaison	Longueur (Km)	Estimation pertes à 5Ghz (dB)	Estimation perte à 5,8Ghz (dB)
Présidence→Gonsé	18,62	131,83	132,4
Présidence→UFR/SEG	1,82	111,63	112,87
Présidence→UFR/SJP	1,57	110,35	111,59
Présidence→BSIC	0,12	88,01	89,25

5.1.3.2. Détermination des paramètres optimaux de transmission par la simulation

Cette partie consiste à simuler les différentes liaisons afin de déterminer les paramètres à appliquer aux équipements pour une bonne qualité de transmission. La simulation apporte une vision concrète et assez détaillée de ce que donne la liaison radio en situation réelle d'exploitation. Elle fait ainsi le lien entre la théorie et la réalité. Pour notre cas, nous avons choisi le logiciel *Radio Mobile*.

Radio Mobile est un logiciel gratuit de la propriété intellectuelle de Roger COUDE. Il est destiné à la prédiction des performances des systèmes radios (WLAN et WMAN), dont le calcul du bilan de liaison pour les bandes de fréquences de 2 à 20GHz. Il utilise des données topographiques pour extraire les altitudes entre les profils terrestres reliant les stations émettrices et réceptrices. Ces données s'ajoutent aux paramètres environnementaux et techniques du système pour alimenter les routines du modèle de propagation radio.

Le simulateur permet de charger une carte de la zone à couvrir à partir d'un disque local ou à partir d'Internet. Ainsi, pour simuler notre réseau, nous avons chargé la carte de la ville de Ouagadougou et avons placé les différentes stations grâce aux coordonnées géographiques relevées par *Google Earth*. Comme propriétés du réseau nous avons choisi :

- topologie en étoile ;
- fréquence minimum : 5Ghz ;
- fréquence maximum : 5,8Ghz ;
- mode de statistique : Diffusion ;
- climat : maritime-tropical correspondant au climat de notre zone ;
- pertes additionnelles : ville (les équipements sont en zone urbaine) ;
- les autres paramètres sont laissés à leurs valeurs par défaut.

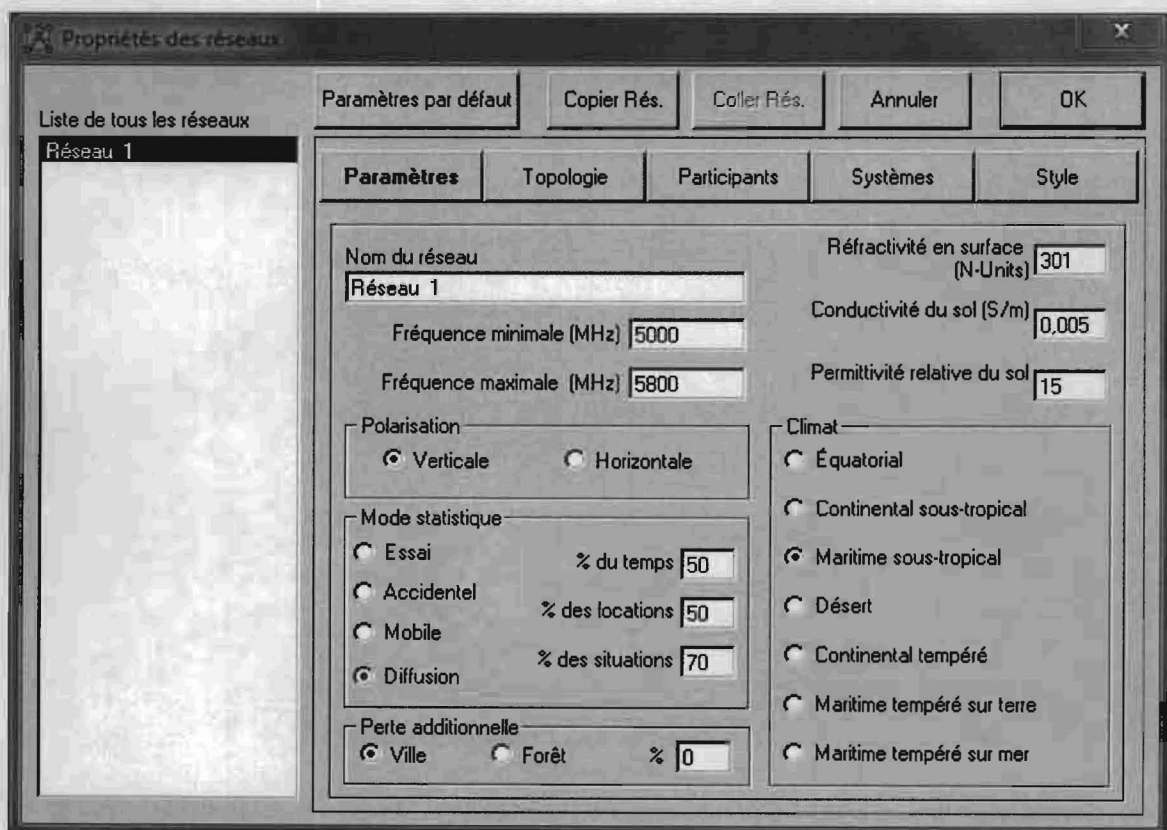


Figure 15: Propriétés du réseau en environnement de simulation

Pour ce qui est des performances des équipements, les paramètres se règlent dans l'onglet system du menu propriété des réseaux.

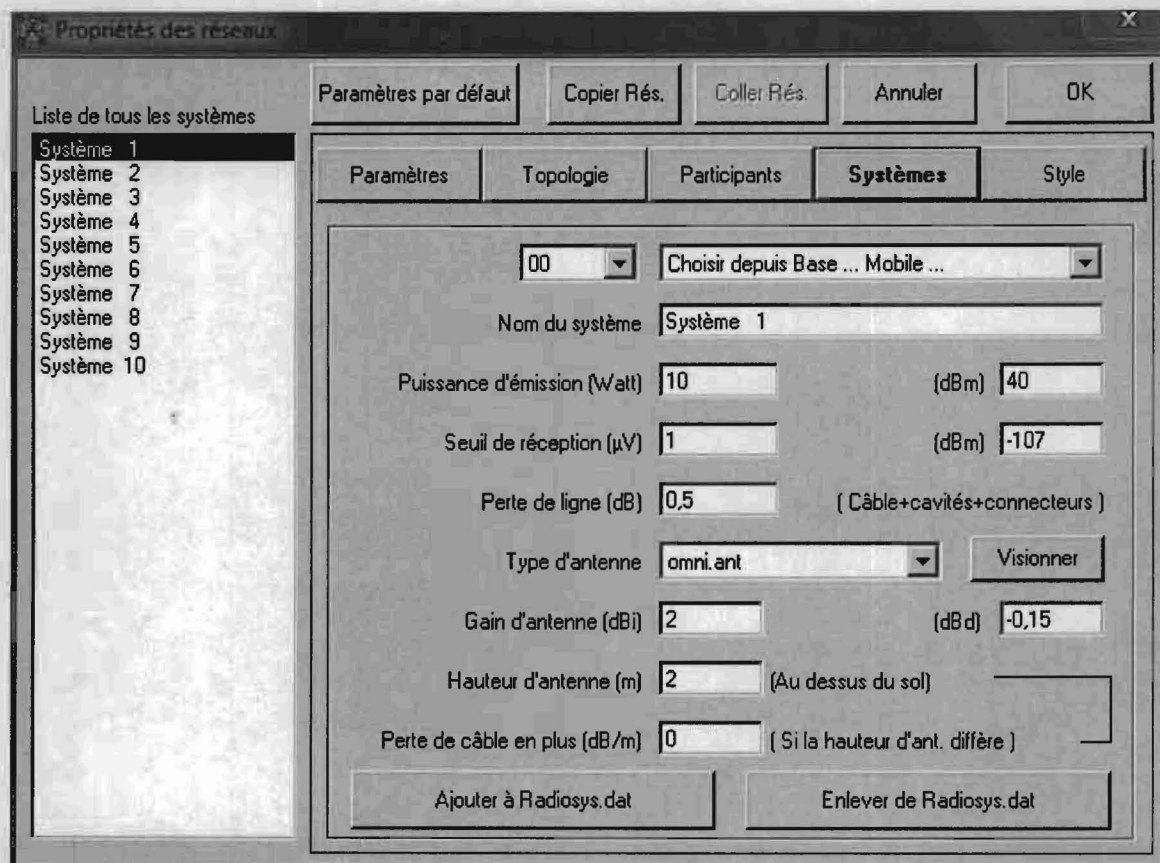


Figure 16: Paramétrage de la station dans le simulateur Radio Mobile

Après le paramétrage des différentes stations, on peut alors visualiser le profil de la liaison. Sur ce profil, la liaison est représentée en vert si les paramètres appliqués permettent une bonne transmission, en jaune si la transmission est passable et en rouge en cas de mauvaise qualité de transmission.

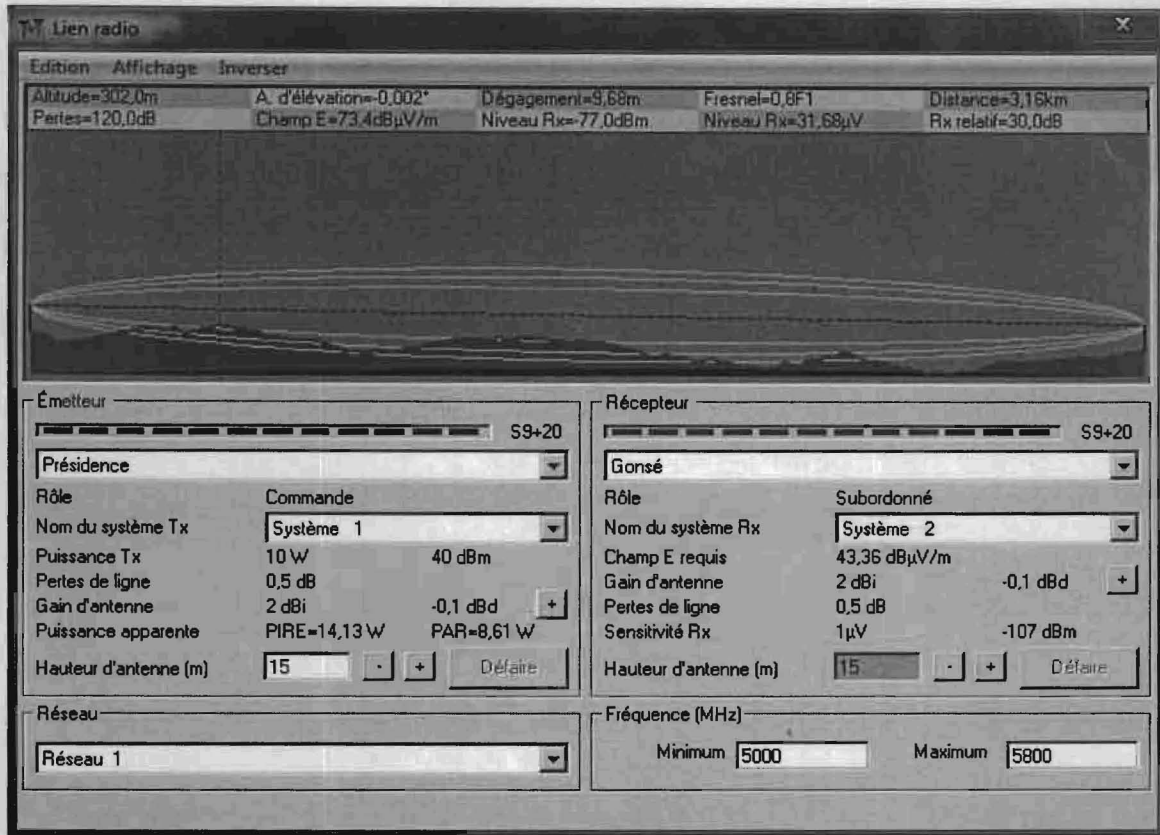


Figure 17: Simulation de la liaison Présidence →Gonsé

En faisant varier ces paramètres (Puissance d'émission, gains, seuil de réception, hauteurs de la station), nous pouvons déterminer les valeurs minimales que les équipements doivent disposer pour que la liaison soit bonne.

Grace aux simulations, nous avons relevé les caractéristiques minimales pour des différentes liaisons fiables, regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 10: Récapitulatifs des caractéristiques minimales des équipements

Station	Présidence (BTS)	Récepteur Gonsé	Récepteur SEG	Récepteur SJP	Récepteur BSIC
Hauteur (m)	20	17	15	12	10
Puissance émission (dBm)	21	20	16	16	10
Gain (dBi)	16	16	14	14	14
Seuil de réceptivité (dBi)	-85	-85	-82	-82	-82

5.1.4. Choix des équipements d'interconnexion [14] [16]

Au regard de la disposition des différents sites, nous prévoyons utiliser deux AU (90° comme angle couvert) pour l'interconnexion. Un AU sera utilisé pour la communication avec le récepteur placé de Gonsé et l'autre AU pour la communication avec les trois récepteurs SJP, SEG et l'école doctorale. Pour mettre les stations à la bonne hauteur, nous préconisons l'utilisation de pylônes sur les toits des immeubles à la présidence et à Gonsé et des mâts au niveau des autres sites. Pour l'interconnexion, le matériel nécessaire est listé dans le tableau 11.

Tableau 11: Liste du matériel nécessaire pour l'interconnexion

Désignation du matériel	Quantité
Antenne Access Unit (AU)	02
Antenne Subscriber Unit (SU)	04
Pylône	02
Mât	03
Câbles STP cat 5 ^e (20m)	06
Modem	06
Paratonnerre	05
Baliseur de nuit	02

Les équipements choisis doivent permettre une propagation en visibilité réduite ou direct. Ils doivent offrir un système puissant et flexible pour construire des réseaux de haute performance d'un point à un autre ou à plusieurs points, en exploitant tous les avantages liés aux normes WLAN différents.

Pour le choix du matériel, il y a plusieurs constructeurs qui se disputent le marché des équipements des réseaux large bande, proposant des gammes diversifiées de stations de bases et d'antennes clientes. Nous recommandons fortement le choix d'équipements certifiés par le WiMAX forum. Cela permet une interopérabilité entre les équipements et accorde une large marge de manœuvre aux administrateurs du réseau pour une possible extension du réseau.

Notre choix s'est porté sur les produits Alvarion de la série : BreezeAccess VL. Disponible pour toute la bande de fréquences des 5 GHz, BreezeACCESS VL offre des caractéristiques de propagation en visibilité réduite, de portée étendue, de

capacité supérieure à 30 Mbps, des mécanismes d'encryptage avancé et de QoS et d'accès évolués. Il présente aussi l'avantage d'être certifié par le WiMAX forum.

Tableau 12: Caractéristiques du produit Alvarion BreezeAccess VL

Radio	
Fréquences disponibles	902-927MHz, 4.9-5.1GHz, 5.15-5.35GHz, 5.47-5.725GHz, 5.725-5.875GH
Largeur des canaux	1MHz (Fréquence de 900MHz), 5MHz, 10MHz, 20MHz
Modulation	OFDM : BPSK, QPSK, QAM16, QAM64
Multiplexage	TDD
Sécurité	WEP 128, AES 128
Seuil de réceptivité	-92 à -74dbm
Station de Base (AU)	
AU	60°, 90° 120°, et 360°
Gain	16dBi (60° et 90°), 15dBi (120°), 8dBi (360°)
Puissance maximale transmise	-10dBm à 21dBm
Antenne clientes (SU)	
SU	SU-31, SU-6, SU-54, SU-L, SU-video
Gain	20dBi, 19dBi (4.9-5.1GHz) 17dBi (SU-L)
Puissance maximale transmise	-10dBm à 21dBm

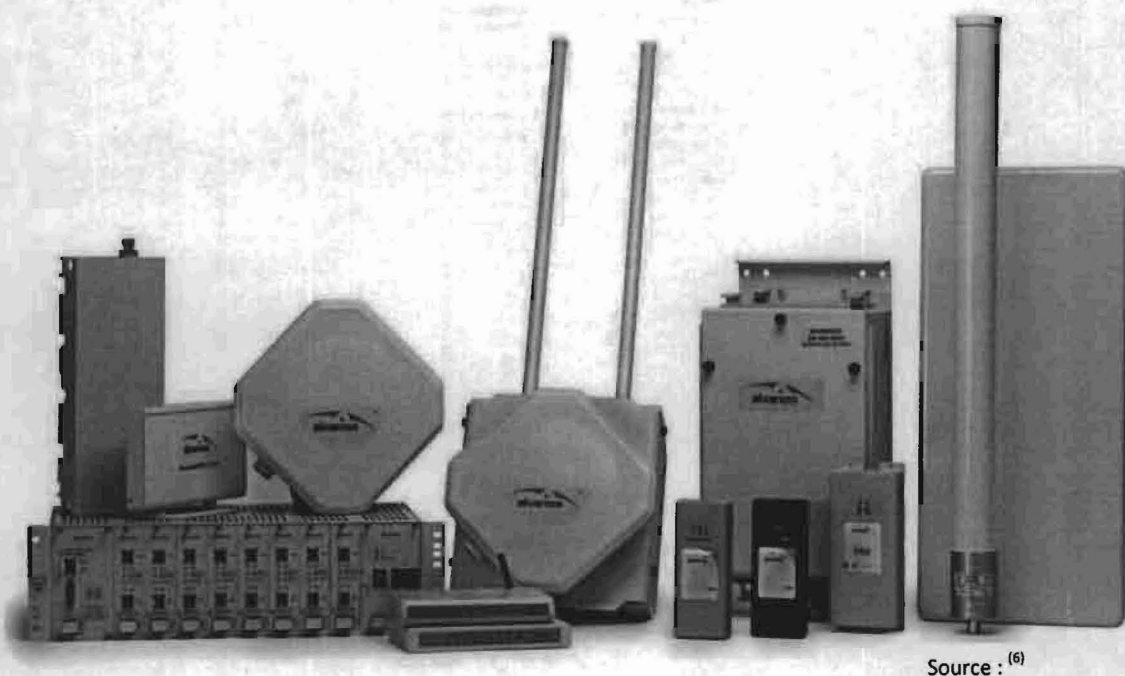
Source : ⁽⁶⁾

Figure 18: Game des produits de la série BreezeAccess-VL

5.2. Sécurisation

La sécurité est un aspect très important dans le cas de notre étude. En effet, la sensibilité des données qui transiteront sur ce réseau nous amène à être plus regardant à ce sujet.

La sécurité consiste à veiller à l'intégralité des ressources d'un réseau, ainsi qu'à leur disponibilité. La sécurisation d'un réseau s'effectue à deux niveaux : la sécurité au niveau physique et la sécurité au niveau logique. Une bonne politique ou implémentation de sécurité résulterait d'une réussite à ces deux niveaux.

5.2.1. Sécurité physique du réseau

La plus basique mesure de sécurité, c'est d'empêcher au maximum aux intrus d'avoir accès aux équipements d'interconnexion. Les équipements ne doivent être physiquement accessibles qu'aux ayants droit.

Les équipements informatiques sont très sensibles aux perturbations électriques. Ainsi, une attention particulière doit être portée sur les installations électriques des équipements à savoir : une alimentation en énergie secourue, avec un courant stable, la climatisation de l'ensemble des locaux techniques pour assurer un bon fonctionnement et une durée de vie optimale.

5.2.2. Sécurité logique du réseau

Elle consiste à garantir l'intégrité, la confidentialité et l'authenticité des informations qui transitent par le réseau. Bien que les équipements WiMAX intègrent des mécanismes à ces fins, cela ne saurait suffire. En effet, les mécanismes qu'intègrent le WiMAX ne concernent que la communication entre les différentes stations. Pour parvenir à un niveau acceptable pour cette sécurité, nous proposons une solution en trois parties.

✓ L'accès au réseau [13]

Nous préconisons l'utilisation d'un firewall (pare-feu) pour la protection du réseau contre les agressions externes. Un pare-feu selon wikipedia est un logiciel et/ou un matériel, permettant de faire respecter la politique de sécurité du réseau, en définissant quels sont les types de communication autorisés sur ce réseau informatique.

Pour ce faire, nous avons choisi l'IPCOP qui s'avère le mieux indiqué au regard de la topologie du réseau. L'IPCOP est un système matériel ou logiciel faisant office de firewall. Nous nous penchons sur la version logicielle d'IPCOP qui est moins onéreuse. En effet, IPCOP est une distribution Linux publiée sous la License GPL. En plus du fait qu'elle est assez stable, elle présente aussi l'avantage de pouvoir tourner aisément sur un ordinateur peu performant (Processeur Intel 486, 300Mo de disque dur et 20 Mo de RAM). Elle offre les possibilités suivantes :

- administration aisée via une interface web ;
- client DHCP intégré permettant l'acquisition d'une adresse IP auprès du FAI ;
- serveur DHCP permettant l'attribution automatique d'adresses aux hôtes du réseau interne ;
- service de serveur mandataire DNS pour accélérer les requêtes de résolution de nom.
- service de serveur (cache) proxy pour accélérer la navigation internet ;
- système de détection d'intrusion ;
- implémentation de VPN pour connecter le réseau privé à un autre.
- utilisation du protocole PAT (Port Address Translation) ;
- segmentation du réseau en plusieurs parties afin de mieux protéger les ressources vulnérables.

Cette dernière possibilité citée est la base même de la fonction firewall de l'IPCOP. En effet, une fois le réseau segmenté, l'administrateur peut définir des contrôles d'accès (ACL) aux différentes ressources au niveau de chaque interface. Cette segmentation divise généralement l'environnement réseau entre quatre parties :

- Le réseau vert : il s'agit du réseau filaire (Ethernet) ;
- Le réseau bleu : le réseau sans fil formé par les points d'accès sans fil ;
- Le réseau orange : la zone démilitarisée qui est l'ensemble des serveurs offrant un accès public ;
- L'interface rouge relié au modem Internet.

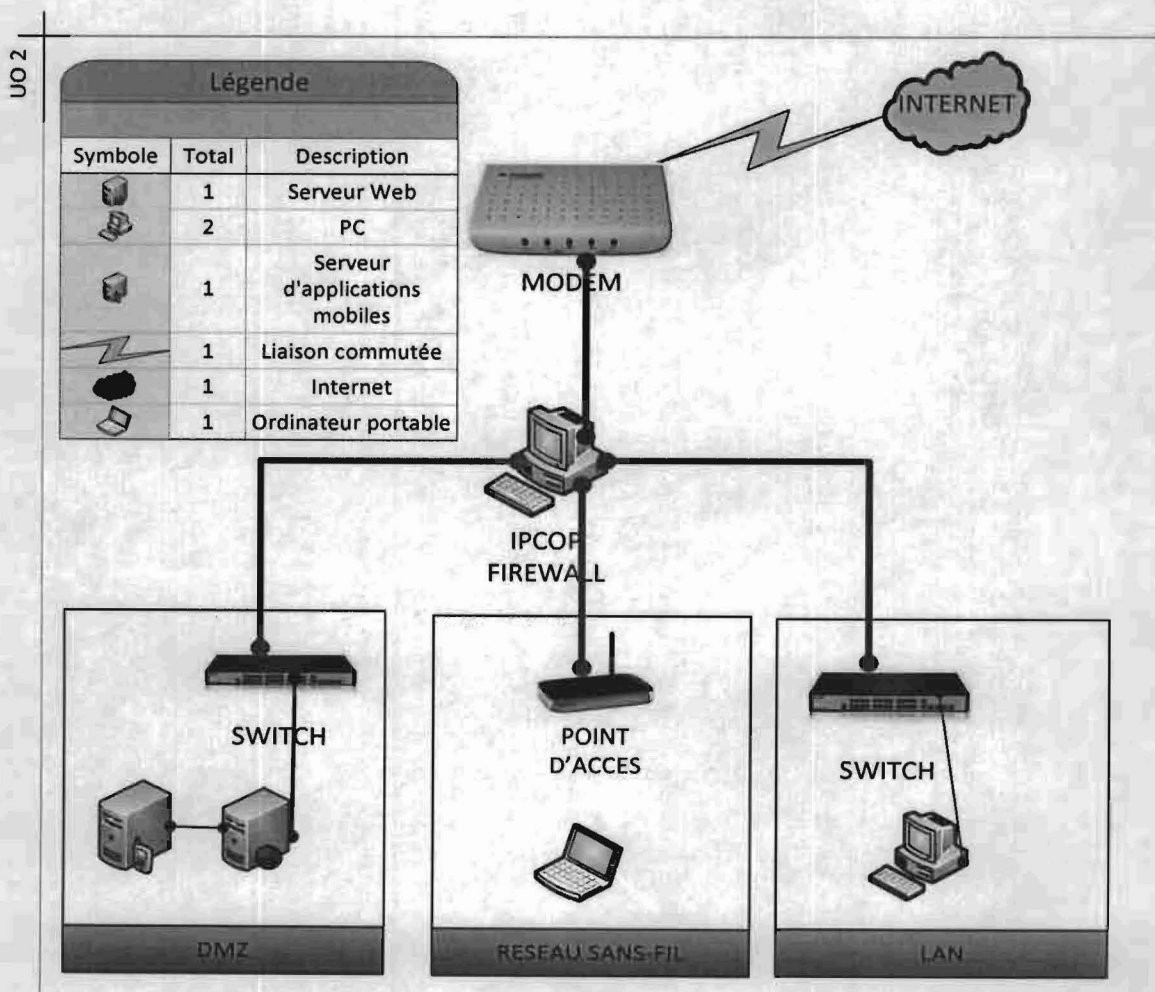


Figure 19: Segmentation du réseau par l'IPCOP

En plus de ses fonctions de sécurité, l'IP est un bon outil de gestion du réseau en matière de journalisation et de statistiques.

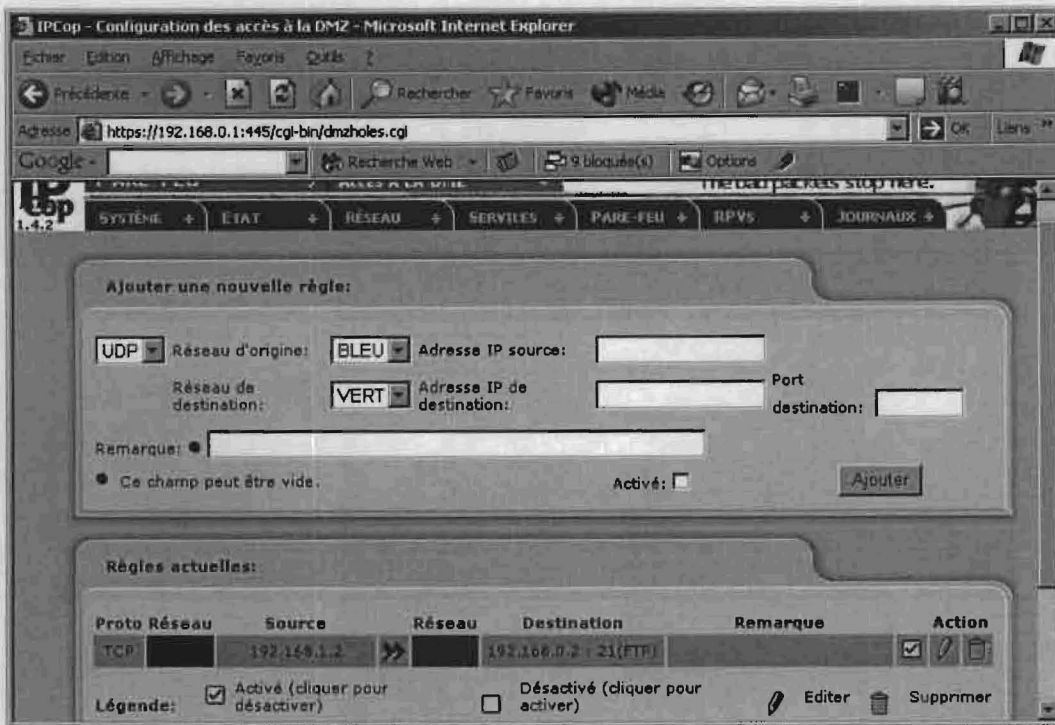


Figure 20: Interface web d'administration de l'IPCOP

✓ **Accès aux applications et données partagées**

Vu l'étendu du réseau, il serait judicieux que les accès aux différentes ressources soient contrôlés. C'est dans ce but que nous proposons la mise en place d'un serveur d'authentification. Ce serveur aura pour but de vérifier l'identité de tout utilisateur voulant accéder à une ressource ; si celui-ci est autorisé à y accéder, il lui ouvre l'accès avec les restrictions nécessaires, sinon sa requête est rejetée.

Un outil bien connu dans ce milieu est le serveur RADIUS (Remote Authentication Dial-In User service). C'est un protocole client/serveur permettant de centraliser les données d'authentification. Le protocole Radius repose principalement sur un serveur (serveur Radius) relié à une base d'identification (Base de données, annuaire LDAP,...) et un client radius appelé NAS (Network Access Server), faisant office d'intermédiaire entre l'utilisateur final et le serveur. L'ensemble des transactions entre client et serveur radius est chiffré par une clé partagée.

Radius est associé à une base de données des utilisateurs du réseau, un annuaire LDAP. Lightweight Directory Access Protocol (LDAP) est un protocole permettant l'interrogation et la modification des services d'annuaires. L'intérêt principal de LDAP est la normalisation de l'authentification.

✓ **Sauvegarde et Restauration des données**

La sauvegarde (backup en anglais) est l'opération qui consiste à dupliquer et à mettre en sécurité les données contenues dans un système informatique. Aucun système ne peut garantir le risque zéro, raison pour laquelle les données du réseau doivent être enregistrées régulièrement sur des supports de sauvegarde afin d'être restitués en cas de pertes. Plusieurs méthodes existent à cet effet. Il s'agit des bandes, les RAID, les serveurs NAS, ou les utilitaires de sauvegardes sur support amovibles. L'université devra donc se doter d'un bon système de sauvegarde pour éviter tout désagrément lié à la perte accidentelle de données.

5.2.3. Règles générales de sécurité

Toutes les mesures de sécurité proposées ne seront d'aucune importance si les utilisateurs ne se plient pas à certaines mesures pour la bonne gestion du patrimoine informatique.

Nous recommandons fortement l'élaboration d'une charte sur l'utilisation du matériel informatique. Ce document devrait faire ressortir les bonnes pratiques que les utilisateurs doivent adopter pour un bon fonctionnement de leur outils de travail ; mais aussi de l'ensemble du système informatique en général. Pour une bonne compréhension des directives de ce document, une sensibilisation est nécessaire. Le respect de cette charte est la participation de l'ensemble du personnel à la sécurité du système informatique de l'université.

5.3. L'architecture de l'interconnexion

Le réseau résultant de l'interconnexion est un MAN d'une topologie en étoile étendue. Les LAN des différents sites sont interconnectés par des liaisons WiMAX. Ce réseau dispose d'un accès à internet par l'ADSL disponible au niveau du LAN de la présidence. Il sera protégé par un IPCOP. L'architecture du réseau futur est présentée à la figure 21.

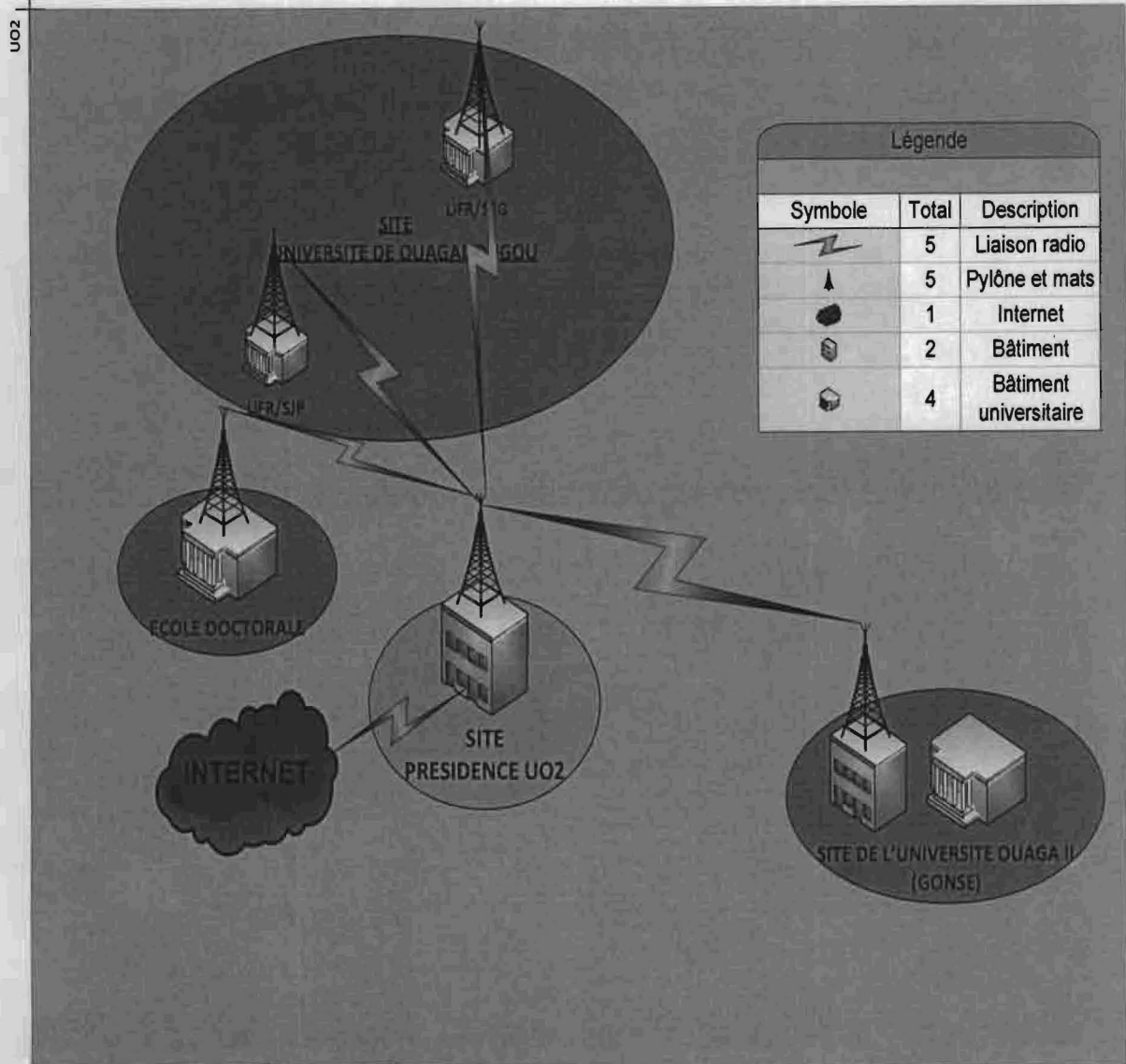


Figure 21: Architecture du réseau futur

5.4. Gestion du réseau

Pour l'administration et la maintenance, un certain niveau de connaissance des transmissions radios est nécessaire. L'université doit alors renforcer les compétences techniques des administrateurs de son réseau soit par le recrutement de nouveaux techniciens ou la formation du personnel actuel. En effet, il faut pouvoir à tout moment identifier les éléments de perturbation réseau : interférence par système tiers ou terminal client mal installé ou défectueux. Si ces éléments ont peu d'importance sur des systèmes de faible capacité, ils peuvent impacter de manière plus significative les performances dans le cadre d'un déploiement massif.

5.5. Coût estimatif

Le coût total de la solution est estimé comme suit :

Tableau 13: Récapitulatif des coûts de la solution

Désignation	Quantité	Prix unitaire en CFA (TTC)	Prix total en CFA (TTC)
AU+Modem	02	1 729 080	3 458 160
SU+Modem	04	763 325	3 530 300
Rouleau de Câble STP cat 5e (100m)	01	98 250	98 250
Connecteurs RJ45 blindées+cabochoon	20	590	11800
Pylône (10 m)	2	275 000	550 000
Mat (5m)	3	145 000	435 000
Paratonnerre	5	190 000	950 000
Baliseur nocturne	2	250 000	500 000
Ordinateur desktop	1	125 000	125 000
Main d'Œuvre		Forfaitaire	1 800 000
Cout Total TTC		11 458 540	

Conclusion générale

Pour permettre l'accès à l'Internet et la transmission de données, de nombreuses technologies ont été développées. De ce point de vu, le thème de notre projet de fin cycle, nous a permis de faire une étude des différentes technologies d'interconnexion. Ainsi, nous avons pu approfondir nos connaissances sur les transmissions radios et sur les solutions basées sur la fibre optique, les liaisons spécialisées et les VPN. Une étude comparative de ces différentes solutions à travers la mise en évidence de leurs avantages et inconvénients respectifs nous a permis de dégager la boucle locale radio (BLR) en particulier le WiMAX comme solution optimale pour notre situation. Ce choix est aussi bien un choix économique, que stratégique.

En effet, le WiMAX est une technologie conciliant haut débit, mobilité et accessibilité en termes de coût. Cette technologie s'avère financièrement accessible par une moyenne entreprise et offre un débit et une couverture nettement meilleur que la plupart des autres solutions. Cette technologie présente aussi l'avantage d'être très évolutive et facilement extensible.

Ce thème nous a également permis de nous rendre compte que le WiMAX apparait comme un outil idéal pour la fourniture des services de données et d'internet dans notre pays.

En plus des connaissances théoriques et pratiques acquises au cours de ce stage, nous avons également pu développer notre capacité à travailler en équipe, dans des conditions de précision et de rigueur et à nous adapter aux besoins de notre environnement.

Bibliographie

- [1] Fabrice LEMAINQUE. *Tout sur les réseaux sans fil*. Edition DUNOD, avril 2009 ;
- [2] Dié SANOU (Ingénieur d'Etat des Télécommunications/Réseaux Mobiles & Multimédias). Cours de « *Support et procédés de transmissions* ». ESI-2011⁽⁵⁾ ;
- [3] Tiguiane YELEMOU (Enseignant à l'ESI). Cours de « *réseaux OSI et TCP/IP* ». ESI-2011 ;
- [4] Marius G-W BAMOGO et Michaël G. L. FOLANE. Rapport de fin de cycle d'ingénieur de travaux en Réseaux et maintenance de sur le thème : « *Interconnexion des sites de la SONAPOST situés à Ouagadougou par la technologie WiMAX* » ESI-2006 ;
- [5] Khaoula BOHLI. Rapport de fin de cycle d'ingénieur télécoms de sur le thème : « *Evaluation des mécanismes de QoS du réseau WiMAX* ». Ecole supérieure des communications de Tunis, 2006 ⁽⁴⁾ ;
- [6] Aurelien OLIVIER (Université Paris Est). Support de présentation sur « *les transmissions sur fibre optique* ».
- [7] Mafambi SOMBIE (ingénieur télécoms). Support de formation sur « *les solutions radio* »⁽²⁾
- [8] www.irp.nain-t.net/docu.php/01fibreoptique:020_fibre_optique 07/01/2013
- [9] www.onatel.bf/internet/ls.htm⁽¹⁾ 04/02/2013
- [10] www.fr.scribd.com/doc/32167096/ 05/02/2013
- [11] www.frameip.com/vpn/ 06/02/2013
- [12] <http://www.wimaxforum.org/> 18/02/2013
- [13] www.actuel.wikidot.com/projets:securite 04/03/2013
- [14] www.es-france.com/catalogue1_83/index.html ⁽⁶⁾ 02/04/2013
- [15] www.memoireonline.com ⁽³⁾ 02/04/2013
- [16] www.reseaux-discount.com/Prix/ 02/04/2013