



UNIVERSITE ESPOIR D'AFRIQUE

**RAPPORT DE STAGE EFFECTUE A L'OFFICE NATIONAL
DES TELECOMMUNICATIONS DU BURUNDI « ONATEL »**

DU 1 OCTOBRE 2018 AU 31 DECEMBRE 2018

**ETUDE SUR UNE INTERCONNEXION DES SITES DISTANTS PAR LA FIBRE
OPTIQUE : CAS DE L'ONATEL**

par

BARAKA HARAKANDI Rodrigues

Rapport de stage

Présenté à la Faculté d'Ingénierie et Technologie

Département de Génie et Gestion des Télécommunications

En Remplissant Partiellement les Conditions

Requises pour l'Obtention du Diplôme

de

BACCALAUREAT EN GENIE ET GESTION DES TELECOMMUNICATIONS

à

L'UNIVERSITE ESPOIR D'AFRIQUE

SUPERVISEUR

KAPITA MUBAKILAY Christian (MSc)

EDITEUR

NDIHOKUBWAYO Lameck (MSc)

**Bujumbura-Burundi
Janvier, 2019**

DECLARATION DE L'ETUDIANT

Je déclare que ce rapport est un travail personnel et n'a jamais été présenté, à ma connaissance, dans aucune autre institution académique pour l'obtention d'un diplôme.

BARAKA HARAKANDI Rodrigues

Signature Date :/...../2019

Ce travail a été rédigé sous l'encadrement de :

NDIHOKUBWAYO Lameck (MSc)

Signature Date :/...../2019

KAPITA MUBAKILAY Christian (MSc)

Signature Date :/...../2019

DEDICACE

A mes parents HARAKANDI KAKUZE Vianney et SHIRIMPUHWE NTAHONDI Jorime.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le bon Dieu protecteur pour la grâce et le courage qu'il nous a comblé afin d'arriver au terme de notre travail. Nous exprimons notre profonde gratitude à toute personne qui, de près ou de loin a contribué à la réalisation de ce travail plus particulièrement à mes parents Vianney HAKAKANDI et Jolie SHIRIMPUHWE pour leur soutien tant moral que financier.

Nous adressons nos sincères remerciements aux professeurs et encadreurs du Département de Génie et Gestion de Télécommunications en concentration Sécurité de Systèmes et des Réseaux, particulièrement à Mr. Julius NIYONGABO, à Mr. KAPITA MUBAKILAY Christian qui a été très actif dans notre formation universitaire et qui a supervisé ce travail et à Mr Ndiokubwayo Lameck (MSc) qui, malgré ses nombreuses occupations, s'est montré très participatif dans la rédaction de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à l'Entreprise ONATEL, qui nous a accueillis en son sein pour la passation de notre stage académique et spécialement aux ingénieurs et techniciens des services INTERNET et MAN pour la formation acquise durant cette période de stage.

Sont à remercier également tous mes frères, sœurs, ami(e)s, oncles et tantes : Sosthène Harakandi, Gloire Harakandi, Rolande Harakandi, Prisca Harakandi, Aimé Harakandi, Dieu-merci Sekabuhoro, Nicole Sekabuhoro, Esther Sekabuhoro, BenSegaf, King, Richard Syata, Charles Harakandi, Alice Harakandi, Jean-Marie Shirimpuhwe, Jean-Claude Shirimpuhwe, Anita Shirimpuhwe, Steve Kanyankogote, Christelle Kabera, Clevis Kabera ; ma famille en général pour leur amour et leur contribution matérielle et morale durant notre parcours.

LISTE DES ABREVIATIONS

2G	: Deuxième Génération
ACL	: Access Control List
ADSL	: Asymmetric Digital Subscriber Line
AP	: Access Point
ASBR	: Autonomous System Border Router
DHCP	: Dynamic Host Configuration Protocol
DMVPN	: Dynamic Multipoint Virtual Private Network
EBGP	: External Border Gateway Protocol
FO	: Fibre Optique
IBGP	: Internal Border Gateway Protocol
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
INTERNET	: Interconnection Network
IP	: Internet Protocol
IPSec	: Internet Protocol Security
ISP	: Internet Service Provider
LAN	: Local Area Network
LDP	: Label Distribution Protocol
LER	: Label Edge Router
LSP	: Label Switching Part
LSR	: Label switch router
MAC	: Media Access Control

MAN	: Metropolitan Area Network
MAN	: Metropolitan Area Network
MPLS	: Multiprotocol Label Switching
NAT	: Network Address Translation
ONAMOB	: Onatel Mobile
ONATEL	: Office National des Télécommunications
OSA	: Optical Society of America
P router	: Provider router
RD	: Route Distinguisher
RNI	: Réseau National Interconnecté
RNIS	: Réseau Numérique à Intégration de services
SI	: Système d'Information
TLS	: Transport Layer Security
TTLS	: Tunneled Transport Layer Security
USAN	: United States African Network
VIETTEL	: Vietnam Telecommunication
VLAN	: Virtual Local Area Network
VoIP	: Voice over Internet Protocol Mobile
VPN	: Virtual Private Network
VRF	: VPN routing/forwarding instance
WAN	: Wide Area Network
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	: Wireless Local Area Network

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation géographique de l'ONATEL avec Google Maps.....	6
Figure 2. Organigramme de l'ONATEL.....	10
Figure 3. Configuration du Switch.....	15
Figure 4. Création des VLAN 199 et 2006.....	16
Figure 5. Ajout VLAN à l'interface.....	16
Figure 6. Port trunk.....	16
Figure 7. Mise en place du système d'authentification.....	17
Figure 8. Routeur de distribution ONATEL.....	17
Figure 9. Création des interfaces et VLANs et configuration de l'interface 199.....	18
Figure 10. Configuration du sous interface 2006 pour le service internet.....	18
Figure 11. Mise en place de la fibre dans la soudeuse.....	19
Figure 12. Code de couleur de la fibre.....	20
Figure 13. Réseau MAN ONATEL.....	21
Figure 14. Représentation de la fibre optique.....	25
Figure 15. Fibre multimode à saut d'indice.....	26
Figure 16. Fibre multimode à gradient d'indice.....	26
Figure 17. Fibre monomode.....	27
Figure 18. Atténuation.....	28
Figure 19. Dispersion et atténuation du signal optique.....	28
Figure 20. Interconnexion des sites distants.....	30
Figure 21. Configurations VRF sur PE.....	33
Figure 22. Assignation des VRF sur le port routeur PE.....	34
Figure 23. Activation de LDP sur les interfaces du LSP.....	35
Figure 24. Mise en place du protocole intra nuage OSPF.....	36

Figure 25. Mise en place du protocole CE-PE (EIGRP) sur routeurs client CE.....	37
Figure 26.Mise en place du protocole CE-PE (EIGRP) sur routeurs PE.....	37
Figure 27.Configuration d'une relation de voisinage avec MP-BGP.....	38
Figure 28.Redistribution des routes entre EIGRP et BGP.....	39
Figure 29.Test d'interconnexion entre sites A (HAU).....	40
Figure 30.Test d'interconnexion entre sites B (KCB).....	41
Figure 31.Vérification des labels.....	41
Figure 32.Test de sécurité par do trace.....	42
Figure 33.Test de do trace après avoir masqué les hôtes du nuage MPLS.....	42

TABLE DES MATIERES

DECLARATION DE L'ETUDIANT.....	ii
DEDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vii
TABLE DES MATIERES.....	ix
CHAPITRE I.....	1
INTRODUCTION.....	1
Préparation bénéficiée à l'Université Espoir d'Afrique.....	1
Raison de faire le stage à l'ONATEL.....	1
Nature de l'ONATEL.....	2
Activités de l'ONATEL.....	2
Motivation de faire le stage à l'ONATEL.....	2
CHAPITRE II.....	4
DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE ET SES ACTIVITES.....	4
Présentation détaillée de l'ONATEL.....	4
Historique de l'ONATEL.....	4
Objectifs de l'ONATEL.....	5
Situation géographique de l'ONATEL.....	5
Mission et Ambition de l'ONATEL.....	6
Organisation administrative de l'ONATEL.....	8
Description des activités de l'ONATEL.....	13
Appréciations.....	14
Activités réalisées durant le stage.....	14

Configuration du Switch ONATEL.....	15
Configuration du routeur de distribution ONATEL.....	17
Maintenance de la fibre optique.....	18
Code de couleur de la fibre optique.....	19
Attentes personnelles.....	22
Résultats atteints.....	22
Difficultés rencontrées.....	22
Propositions d'éventuelles solutions.....	22
CHAPITRE III.....	24
TRAITEMENT D'UN PROBLEME DECOUVERT.....	24
Description du problème découvert.....	24
Pistes de solution.....	24
Généralités sur la fibre optique.....	25
Catégories de fibres optiques.....	26
Fibres multimodes.....	26
Fibres monomodes.....	27
Avantages et inconvénients de la fibre optique.....	28
Avantages de la fibre optique.....	28
Inconvénients de la fibre optique.....	29
Interconnexion de deux sites distants.....	30
Pourquoi MPLS VPN?.....	31
Configuration sous GNS3.....	32
Technologies utilisées.....	32
Méthode d'approche.....	32
Tests et vérifications.....	40

CHAPITRE IV	44
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	44
Conclusion	44
Recommandations	44
Liste des références	45

ETUDE SUR UNE INTERCONNEXION DES SITES DISTANTS PAR LA FIBRE

OPTIQUE : CAS DE L'ONATEL

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Une cession d'un stage, d'une durée de deux mois et destinée à perfectionner nos connaissances acquises durant notre formation, est exigée par le Ministère de l'Education, de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique en collaboration avec l'Université Espoir d'Afrique, à la fin de notre cursus de trois ans dans le département de génie et gestion des télécommunications.

Préparation bénéficiée à l'Université Espoir d'Afrique

L'Université Espoir d'Afrique s'est montrée très participatif dans notre apprentissage durant notre parcours à son sein qui nous a permis de passer ce stage aux leçons portant sur la fibre optique, les réseaux locaux d'entreprise, les réseaux métropolitains et la sécurité des réseaux. Une bonne occasion pour nous de découvrir pratiquement ces technologies grâce au stage effectué à l'Office National des Télécommunications au Burundi, (ONATEL en sigle).

Raison de faire le stage à l'ONATEL

Nous avons choisi de faire notre stage au sein de l'ONATEL dans le but de vouloir nous familiariser avec les réseaux et leur sécurité, et ONATEL était l'un des choix idéals. Notre stage a duré 2 mois dans les services INTERNET et MAN, du 1^{er} Novembre au 31 Décembre 2018, une période pendant laquelle nous avons matérialisé nos connaissances

appprises au cours de notre cursus académique, précisément dans le domaine de la fibre optique et du réseau métropolitain.

Pendant notre stage, nous avons reçu des formations pratiques et théoriques sur le réseau en général et celles-ci ont été résumées dans ce présent rapport qui contient quatre chapitres à savoir :

1. Le 1^{er} chapitre, Introduction, donne un aperçu général de notre travail ;
2. Le 2^{ème} chapitre, Description de l'entreprise et ses activités, présente l'ONATEL;
3. Le 3^{ème} chapitre, Traitement d'un problème découvert, exergue un problème rencontré durant notre stage et propose ainsi une piste de solution pour pallier en ce dernier ;
4. En fin le 4^e et dernier chapitre, Conclusion et recommandations, est couvert de de conclusion du rapport de stage et certaines recommandations pouvant permettre l'amélioration des conditions des stagiaires au sein de l'ONATEL.

Nature de l'ONATEL. L'ONATEL est un opérateur public qui a mis en place un système de télécommunications par les satellites et la fibre optique pour continuer le désenclavement du Burundi, aussi bien intérieur qu'extérieur par la mise en place de réseaux filaires et sans fils.

Activités de l'ONATEL. L'ONATEL s'occupe de la gestion des services de Télécommunications, c'est-à-dire les transmissions d'informations de tous genres par supports matériels (fils, câbles ou autres), ou par radio, dans le cadre d'un service public.

Motivation de faire le stage à l'ONATEL

Le secteur des technologies de l'information étant en constante mutation, nous, futurs ingénieurs dans le département de Génie et Gestion des Télécommunications, concentration

de Sécurité des Réseaux et Systèmes, nous avons pour obligation de nous mettre à jour avec les nouvelles technologies et d'être des experts usagers de ces dernières. Nous avons ainsi découvert au cours de notre stage, l'un des plus grands succès de l'évolution technologique en essayant d'étudier et de comprendre le fonctionnement de la fibre optique sur un réseau MAN que possède l'ONATEL.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DE L'ENTREPRISE ET SES ACTIVITES

Présentation détaillée de l'ONATEL

Historique de l'ONATEL. L'ONATEL a été créé par le décret-loi n° 100/146 du 8 Novembre 1979 pour une durée illimitée comme établissement public à caractère industriel et commercial. Il a été créé au moment où il était quasiment impossible d'appeler à l'Extérieur du Burundi tant de jour comme de nuit. Dès lors l'ONATEL a rapidement mis en place un système de télécommunications par satellites. Cet Opérateur Public a tout fait pour continuer le désenclavement du Burundi, aussi bien intérieur qu'extérieur par la mise en place de réseaux filaires aussi bien à Bujumbura qu'aux autres localités du Burundi dans le but ultime et légitime de désenclaver le Burundi sur tous les plans.

L'ONATEL a développé et continue à développer les trois produits importants dans le but de promotions des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) afin de contribuer au développement socio-économique du Burundi. En effet, l'ONATEL a très bien compris que sans développement des TIC, le développement économique est quasiment impossible. L'ONATEL a, pour le meilleur bénéfice de sa clientèle, implanté les réseaux variés, à savoir : Fixe, Mobile, Internet et Transmission des Données

L'ONATEL continue à développer aussi la transmission des données car mardi, le 21 Janvier 2014, le Burundi est officiellement entré dans l'histoire de la fibre optique. En effet, à l'heure où notre pays se bat contre la pauvreté afin de s'orienter vers la croissance économique, il est indispensable qu'il dispose d'un réseau des TIC le plus fiable et le plus

étendu possible pour le plus grand nombre d'utilisateurs. En adoptant la Politique Nationale des TIC en 2007, le Burundi a voulu créer les conditions idéales pour la mobilisation des ressources humaines, financières et technologiques qui permettront d'inclure aussi bien les hommes que les femmes dans la société de l'information.

Objectifs de l'ONATEL. Les objectifs de l'ONATEL dans le secteur des télécommunications sont conformes à ceux du plan national de développement, qui accorde la priorité à la nécessité pour le Burundi de surmonter son isolement géographique vis-à-vis des autres pays ainsi que les problèmes posés par l'enclavement de certaines de ses régions. Les communications sont perçues comme un moyen important d'atteindre ces objectifs.

Les objectifs fixés pour les télécommunications dans le cadre de l'actuel plan quinquennal prévoient notamment :

- L'amélioration et l'extension du réseau de télécommunications vers l'intérieur afin de promouvoir le développement industriel et commercial des zones rurales,
- L'intégration au réseau des communications des nouveaux centres économiques où sont prévus des projets agricoles et industriels,
- L'accroissement de la capacité des télécommunications extérieures.

L'objectif principal de L' ONATEL est la gestion des Télécommunications, c'est-à-dire les transmissions d'informations de tous genres par supports matériels (fils, câbles ou autres), ou par radio, dans le cadre d'un service public.

Situation géographique de l'ONATEL. Le siège de l'ONATEL est situé au centre-ville de Bujumbura dans la commune urbaine de Mukaza, zone urbaine de Rohero. Il est délimité :

- A l'Est par l'ex marché central de Bujumbura ;
- Au Nord sur l'autre bord de l'avenue de commerce par le palais des Arts ;

- Au Sud-Ouest par l'immeuble du siège de la Régie Nationale des Postes au Burundi.

Le bâtiment de l'Office National des Télécommunications est localisé au Burundi comme le montre la figure suivante.

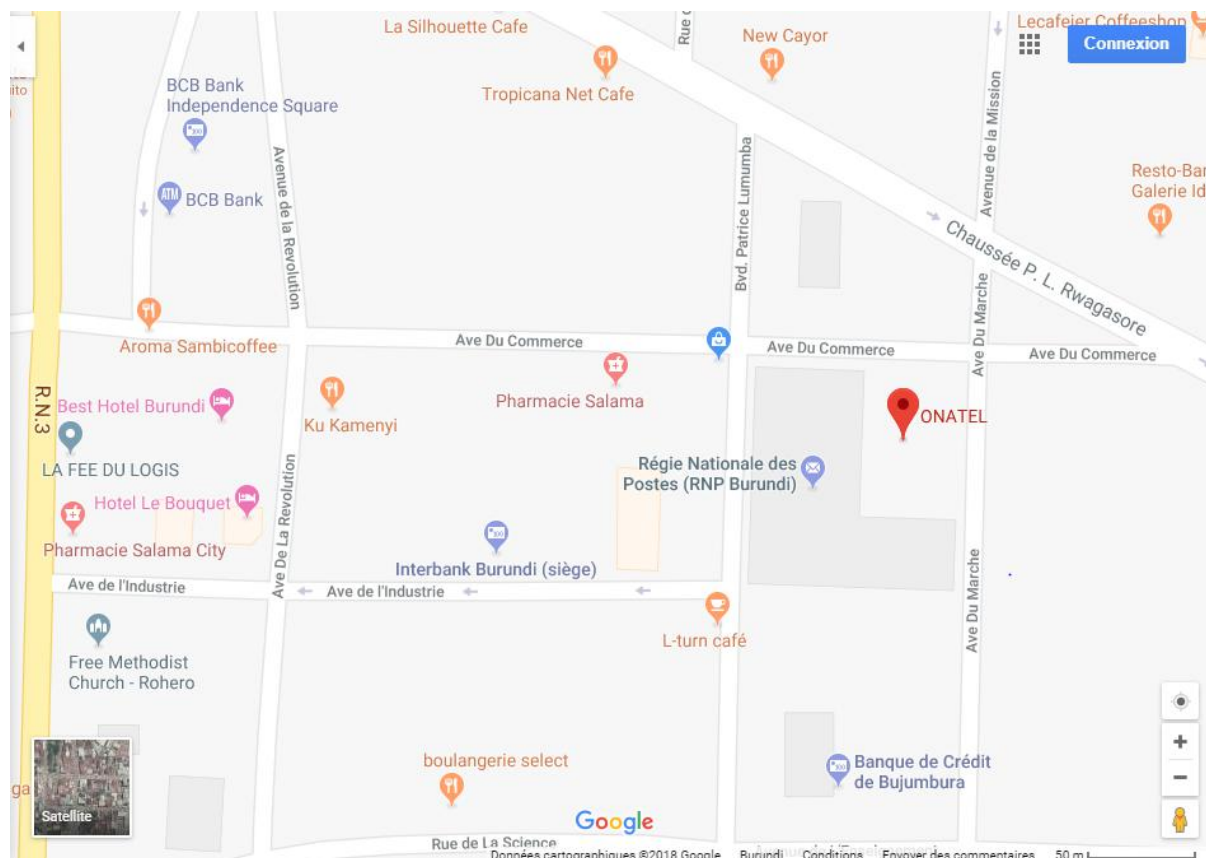


Figure 1. Localisation géographique de l'ONATEL avec Google Maps

Source : Google Maps

Mission et Ambition de l'ONATEL. Pour la conquête de sa place à l'horizon 2005, l'ONATEL est le seul opérateur qui fournit des services de communication fixe, mobile, Internet et transmission des données. L'ONATEL offre trois types de connexion à l'Internet à savoir l'ADSL, le WiMAX, le Dial Up, et bientôt le Wi-Fi. L'ONATEL peut, à juste titre, se targuer d'être un Opérateur complet des télécommunications.

En dépit de cette image, l'ONATEL se trouve à la croisée des chemins du fait de la présence de nombreux autres opérateurs sur le marché des services susmentionnés. Le secteur de la téléphonie mobile compte déjà cinq opérateurs, notamment ECONET LEO, ONATEL, SMART, et VIETTEL exploitant des technologies variées, certaines plus modernes que d'autres sur le territoire national du Burundi.

L'ONATEL est parmi les six les fournisseurs d'accès à l'Internet : CBINET, ONATEL, OSA, SPIDERNET, ECONET LEO, USAN. Sur ce marché concurrentiel de fourniture d'Internet avec la multiplicité d'acteurs, l'ONATEL a l'ambition de reconquérir sa position d'antan. Il a la ferme volonté d'améliorer la vie des burundais au quotidien en créant des services simples et innovants qui les aident à mieux communiquer entre eux. Il se veut d'ores et déjà comme une entreprise citoyenne et innovante.

Entreprise citoyenne : L'ONATEL s'inscrit dans l'optique d'aider les gens à être efficaces dans leur vie tant professionnelle que privée, et tout cela au profit du développement de notre pays.

Entreprise innovante : l'ONATEL veut développer une marque basée sur l'innovation constante dont la finalité est le citoyen, au service duquel elle propose des applications technologiques qui, chaque fois, sont nouvelles. Cette ambition est portée par des valeurs qui se déclinent en huit mots : proximité, simplicité, transparence, modernité, dynamisme, audace, confiance et responsabilité.

Pour reconquérir sa place en 2015, l'ONATEL se fixait des axes stratégiques et des priorités. Comme stratégie, l'ONATEL voulait accompagner les efforts du gouvernement pour le désenclavement des zones rurales en se servant de publiphone rural, la recharge électronique, de la fibre optique, etc. Il va aider les employés des entreprises à travailler ensemble de façon efficace, améliorer l'efficacité du business des entreprises et fournir, de façon fiable et sécurisée, des services de connectivité fixe et mobile dont celles-ci ont besoin.

L'ONATEL a déjà lancé la 4G. Avec le réseau de la BBS, l'ONATEL en tant que deuxième investisseur peut être fière de la dorsale nationale à fibre optique, puisque 1.250 Kms de fibre traverse le territoire national du Burundi, permettant ainsi de passer du «landlocked country au landlinked country» ou en d'autres termes : le pays est enfin connecté.

Le cap sur 2015 était toujours le souci d'offrir la meilleure technologie, pour ne citer que l'Internet à très haut débit par exemple, l'ONATEL avait décidé de fournir 200 km supplémentaires de fibre optique dans la ville de Bujumbura. Réussir ce pari, c'était, pour l'ONATEL, contribuer au développement socio-économique de notre pays ; c'est aussi participer à l'instauration du bien-être universel. Les priorités de 2015 étaient, pour l'ONATEL de :

- S'assurer que les Burundais choisissent l'Office pour son expérience client exemplaire ;
- Se concentrer sur ses relais de croissance et améliorer la commercialisation de ses solutions innovantes ;
- Définir et mettre en œuvre les stratégies les plus adaptées répondant aux besoins nationaux et régionaux ;
- Optimiser sa performance.
- Faire en sorte qu'il soit attentif au bien-être de ses salariés et à lui-même ;

En conclusion, l'objectif ultime est de conforter sa place de leader global dans le secteur des Télécommunications au Burundi.

Organisation administrative de l'ONATEL. L'ONATEL est une entreprise publique sous la tutelle des technologies d'information et de communication. A l'ère actuelle de la reconstruction et du développement national il est très dispensable d'avoir un réseau des TIC fiable et accessible à une majorité de la population ou même de l'entièreté de la

population pour assurer une croissance économique et engendre des retombées socio-économiques importantes.

L'ONATEL est placé sous sa tutelle de Ministre ayant les TIC dans son attribution. Des études récentes ont montré qu'il existe un lien de cause à effet entre le développement des TIC et de développement économique. Cet accès reste toutefois extrêmement restreint dans des nombreux pays africains dont le Burundi et n'est plus souvent disponible que dans les villes les plus importants. L'ONATEL évolue très considérablement dans sa politique d'accès universel cohérente et rentable dans l'objectif d'accroître la télé densité dans la zone rurale afin de rendre aussi peignables que les villes.

Pour une bonne gestion de son administration, l'ONATEL dispose le Directeur Générale, les Directeurs des départements, et les Chefs des services selon la figure suivante.

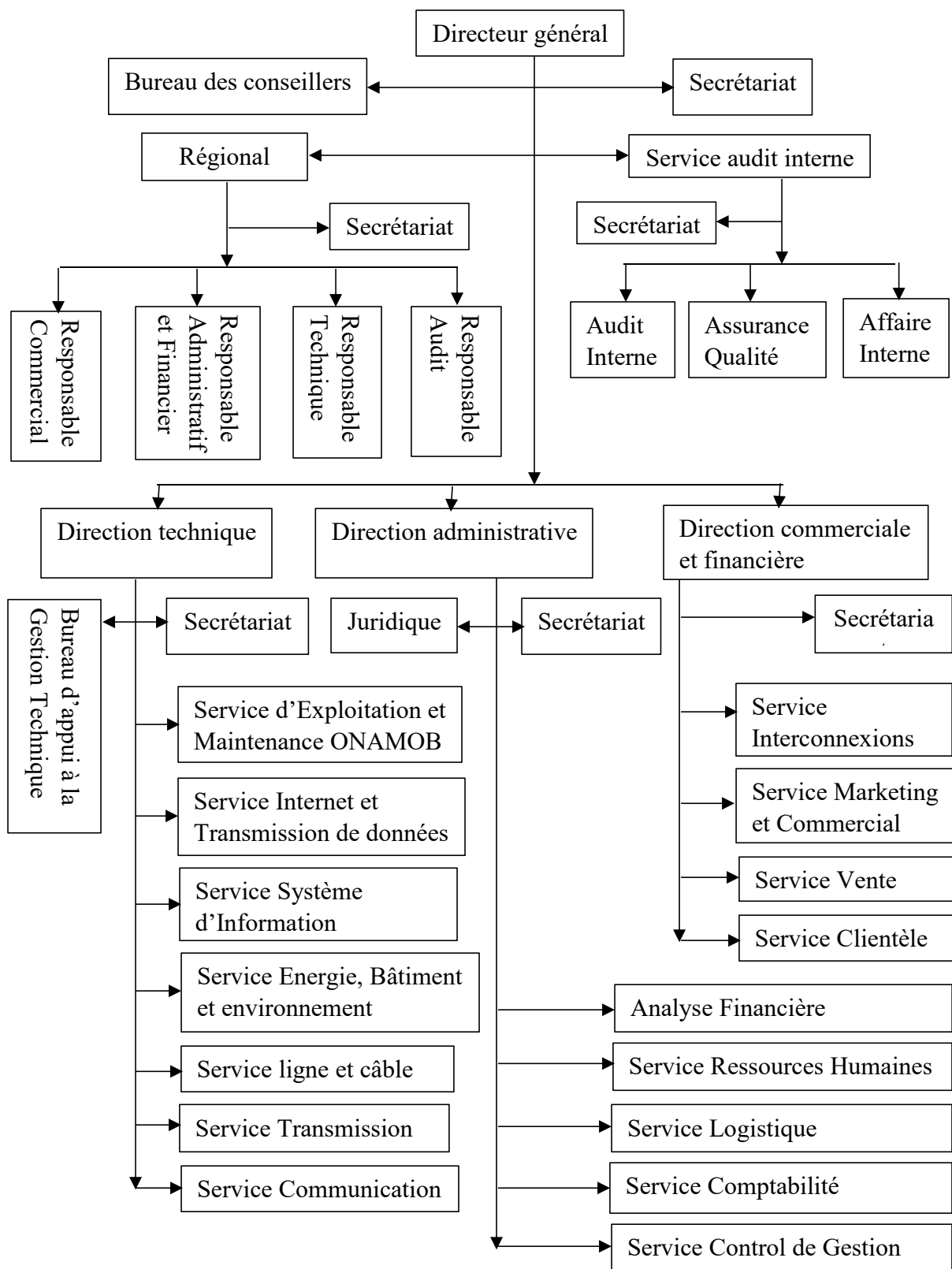


Figure 2. Organigramme de l'ONATEL

Source : Investigation Personnelle

Les attributions de chacun des organes principaux sont les suivants d'après les statuts de l'Entreprises :

1. Conseil administratif. : Un conseil d'administration est l'autorité suprême de l'organisation de l'entreprise. Il décide de la politique internet de l'ONATEL, supervise et contrôle ses activités selon ses objectifs. C'est lui qui définit le règlement et les statuts du personnel, nomme les administrateurs et met fin à leurs fonctions. Il approuve les plans pluriannuels et annuels de l'entreprise publique les rapports annuels, bilans et autres documents comptables. Il fixe les tarifs compte – tenu des conventions internationales et des accordés particuliers. Le conseil d'administration de l'ONATEL est composé de sept membres qui sont :

- Cinq représentants de l'Etat dont le directeur général ;
- Un représentant du personnel de l'office ;
- Un représentant des consommateurs.

Le mandat de ce conseil est de 5 ans renouvelable une seule fois.

2. Direction générale : L'exécution des décisions du conseil d'administration ainsi que la gestion quotidienne de l'ONATEL sont confiées au directeur général assisté par trois directeurs de départements : Technique, administratif et financier, commercial et d'exploitation. Ses attributions sont les suivantes :

- Il fixe les objectifs à atteindre chaque année.
- Il coordonne les activités de département techniques administratif et financier, commercial et d'exploitation.
- Il évolue régulièrement les activités de l'entreprise.
- Il préside le comité de direction qui est l'organe exécutif du conseil d'administration.

3. Direction technique : Relevant de la direction générale de l'ONATEL, ses activités sont coordonnées par le directeur technique qui exerce son autorité sur le chef des services centraux de son département ainsi que sur les conseillers chargés de secteurs spécialisés. Il assiste le directeur général dans la gestion quotidienne de l'office. Il participe ainsi à la définition des politiques, stratégies et méthodes de gestion de l'ONATEL. Il planifie les objectifs de qualité de services télécommunications et ressources matériel et humaines nécessaire à leur réalisation supervisent leur mise en œuvre. Il collabore au développement des réseaux des télécommunications ainsi qu'à la définition des voies d'achèvement.

4. Direction administrative : Ce développement est confié au Directeur administratif. Il est subordonné au Directeur Général à qui il rend compte. Il organise et gère les comptabilités, établit et exécute le budget en autorisant toute engagement des dépenses. Il analyse la situation financière de l'entreprise en mettant en place les plans des trésoriers d'investissement des emprunts et plan de leur financement. Il négocie et suit le tableau de remboursement des emprunts. Il participe à l'élaboration des plans directeurs et plus spécifiquement en ce qui concerne les aspects financiers. Il élabore la politique de gestion du personnel.

5. Direction commerciale et financière : Elle est assurée par le directeur commercial et financier qui est lui aussi subordonné au Directeur Général à qui il rend compte. Il assure la gestion du service de la clientèle et veille à la suppression des abonnés et leurs équipements. C'est lui qui contrôle la facturation, le recouvrement et les règlements des litiges et veille à l'information publique. Il fait les normes pour la qualité des services et veille à leur accomplissement. Il procède également aux aménagements tarifaires. Il assure le suivi budgétaire de son développement et participe à l'élaboration des plans de direction, ce qui concerne l'établissement de besoins en service des télécommunications et le dimensionnement des réseaux.

Description des activités de l'ONATEL

L'ONATEL est un opérateur global des Télécommunication qui fournit plusieurs services comme les transmissions d'informations de tous genres par supports matériels (fils, cabale, fibre optique et autre dans le cadre d'un service public. Dans le cadre de ces transmissions de messages, l'ONATEL exploite la téléphonie fixe, mobile et Internet. Concernant l'Internet L'ONATEL est aussi un fournisseur d'accès aux services internet (Dial-up, RNI, Ligne Dédiée, ADSL et WIMAX).

RNI : Réseaux numérique à intégration de services - Réseau de télécommunication qui permet le transport de données numérique de bout en bout et qui fournit plusieurs télé service et services supports. La principale caractéristique d'un réseau numérique à intégration des services est de permettre l'agrégation de canaux qui présentent chacun un débit de 64kbit/s. Ainsi, un accède base qui comporte deux canaux permet d'atteindre 128kbit/s. Un réseau numérique à l'intégration de services permet d'échanger des sons, des données ou des images, telle manière qu'on peut l'utiliser pour offrir des services comme la téléphonie, la visiophonie, la télécopie, la messagerie électronique, etc.

LIGNE DEDIEE : Ligne de téléphone dont l'usage est réservé à un utilisateur particulier.

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line. Services d'accès à l'Internet utilisant les lignes téléphoniques classiques, en utilisant une bande de fréquence plus élevée que celle utilisée par la téléphonie. Le débit descendant est plus élevé que le débit ascendant.

WIMAX : Egalement connu sous la désignation d'IEEE 802.16, le WiMax est un standard de transmission sans fil à haut débit. Fonctionnant à 70 Mbit/s, il est prévu pour connecter les points d'accès Wi-Fi à un faisceau de fibres optiques, ou pour relier une connexion partagée à haut-débit vers de multiples utilisateurs. Avec une portée théorique de

50km, il devrait permettre, à terme le développement de réseaux MAN reposant sur un unique point d'accès, au contraire d'une architecture tassée sur de nombreux point d'accès.

L'ONATEL Burundi étant l'opérateur historique des télécommunications fourni le service de téléphonie fixe permettant une communication nationale à bas prix, le service de téléphonie mobile (ONAMOB) de la 2G permettant aux abonnés mobiles de communiquer à bas prix, le service de transmission des données, le service d'Internet sous les variantes (Dial-up, RNIS, Ligne Dédiée, ADSL et WIMAX).

Appréciations

Notre stage s'est déroulé conformément à deux mois qui étaient recommandés par l'Université Espoir d'Afrique dans notre département de Génie et Gestion de Télécommunications. L'ONATEL nous a permis d'effectuer notre stage exactement durant la période demandée du 11 novembre 2018 au 11 décembre 2018. Cette période nous a été d'une grande importance parce que nous avons pu réaliser beaucoup d'activités qui nous ont initié et donné d'expérience dans la vie professionnelle. Nous avons pu apprendre quelques théories sur la Transmission, la commutation, la partie Radio et en fin les mariées à la pratique pour nous permettre de mieux comprendre ce que nous avons à faire et surtout avec la technologie LTE utilisé au sein de L'ONATEL pour chercher des meilleures solutions à certains problèmes de débits.

Activités réalisées durant le stage. La majeure partie de notre stage s'est déroulée dans le service MAN de l'ONATEL, sans oublier quelques visites réalisées au niveau du service INTERNET. En effet, nous avons réalisé les actives ci-dessous :

- La configuration du Switch HUAWEI de l'ONATEL sur lequel est directement connecté le routeur du client après raccordement de la fibre optique, pour lui fournir la connexion internet;

- Etude de la topologie du réseau MAN de l'ONATEL ;
- Configuration du routeur de distribution de l'internet par fibre optique ;
- Maintenance de la fibre (soudure) ;
- Etude de code des couleurs de la fibre optique ;
- Visite du réseau ADSL2+ et WIMAX de l'ONATEL.

Configuration du Switch ONATEL. Un Switch ou commutateur en français, est un équipement qui relie plusieurs segments (câbles ou fibres) dans un réseau informatique et de télécommunication et qui permet de créer des circuits virtuels. (Wikipédia).

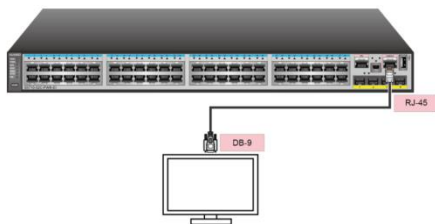


Figure 3. Switch de niveau 3

Source : Investigation personnelle

Connectez votre PC au Switch par le câble de console fourni avec le Switch. Si votre PC ne possède pas de port série, utilisez un câble USB vers série. Ensuite, ouvrez un programme d'émulation de terminal sur votre PC. Créez une connexion et réglez les paramètres d'interface et de communication. Selon la figure suivante.

```
<Huawei>
<Huawei>sys
<Huawei>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]sysname ONATEL
[ONATEL]
Dec 11 2018 14:58:39-08:00 ONATEL DS/4/DATASYNC_CFGCHANGE:OID 1.3.6.1.4.1.2011.5
.25.191.3.1 configurations have been changed. The current change number is 4, th
e change loop count is 0, and the maximum number of records is 4095.
[ONATEL]
[ONATEL]vlan batch 199 2006
Info: This operation may take a few seconds. Please wait for a moment...done.
[ONATEL]
Dec 11 2018 14:59:19-08:00 ONATEL DS/4/DATASYNC_CFGCHANGE:OID 1.3.6.1.4.1.2011.5
.25.191.3.1 configurations have been changed. The current change number is 5, th
e change loop count is 0, and the maximum number of records is 4095.
```

Figure 4. Création des VLAN 199 et 2006

Source : Investigation Personnelle

Après avoir créé les VLANs, on les attribue des interfaces et des adresses IP correspondant

```
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/6]port link-type access
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/6]port default vlan 2006
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/6]display this
#
interface GigabitEthernet0/0/6
  description internet ONATEL
  port link-type access
  port default vlan 2006
#
[ONATEL]interface vlanif 199
[ONATEL-Vlanif199]
[ONATEL-Vlanif199]ip address 10.10.17.12 29
[ONATEL-Vlanif199]quit
[ONATEL]
```

Figure 5. Ajout VLAN à l'interface

Source : Investigation Personnelle

Ensuite on configure le port trunk dans lequel on fait passer les deux VLANs

```
[ONATEL]interface GigabitEthernet 0/0/1
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1]
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1]port link-type trunk
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1]port trunk allow-pass vlan 199 2006
```

Figure 6. Port trunk

Source : Investigation Personnelle

Par la suite on met en place un système d'authentification aaa avec comme mot de passe admin@123 pour des connexions TELNET et SSH. On limite le nombre d'utilisateurs pouvant se connecter simultanément à distance à 4 et on indique au Switch d'accepter tous les protocoles d'authentification (Telnet ssh).

```
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1]aaa
[ONATEL-aaa]local-user admin password cipher admin@123
[ONATEL-aaa]local-user admin service-type ftp terminal ssh telnet
```

```
[ONATEL-aaa]local-user admin level 3
[ONATEL-aaa]quit
[ONATEL]user-interface vty 0 4
[ONATEL-ui-vty0-4]authentication-mode aaa
[ONATEL-ui-vty0-4]protocol inbound all
[ONATEL-ui-vty0-4]quit
[ONATEL]
```

Figure 7. Mise en place du système d'authentification

Source : Investigation Personnelle

Configuration du routeur de distribution ONATEL.

Dans cette partie nous allons reproduire les configurations nécessaires qui sont faites sur les routeurs ONATEL qui sont directement connectés aux commutateurs sur lesquels les clients obtiennent directement le signal.

Rappelons qu'avant de faire ces configurations, différents protocoles de routage nécessaires doivent déjà être mis en place.

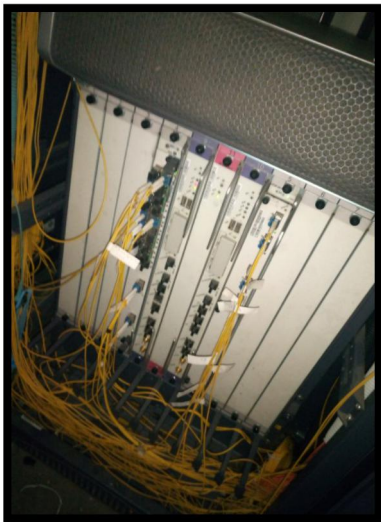


Figure 8. Routeur de distribution ONATEL

Source : Investigation Personnelle

Pour commencer, on crée des sous interface 199 et 2006 sur l'interface Gigabit Ethernet 0/0/3 par convention. Ensuite on crée deux VLANs 199 et 2006 sur les sous interfaces créées et on leur attribue chacun une adresse et une description. On décrit le VLAN 199 OAM MAN car il servira de monitoring pour les Operations, l'Administration et le Management (OAM).

Le protocole ISIS qui fonctionne comme Ospf doit être activé et on utilise *display this* pour visualiser les configurations sur l'interface laquelle on est connectée.

```
[ONATEL]interface GigabitEthernet 0/0/3.199
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/3.199]vlan-type dot1q 199
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/3.199]quit
[ONATEL]interface GigabitEthernet0/0/3.2006
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/3.2006]vlan-type dot1q 2006
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/3.2006]quit
[ONATEL]interface GigabitEthernet0/0/1.199
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.199]vlan-type dot1q 199
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.199]description OAM MAN
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.199]ip address 10.10.17.97 29
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.199]isis enable 1000
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.199]isis circuit-level level-2
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.199]display this
#
interface GigabitEthernet0/0/1.199
  vlan-type dot1q 199
  description OAM MAN
  ip address 10.10.17.97 255.255.255.248
#
```

Figure 9. Création des interfaces et VLANs et configuration de l'interface 199

Source : Investigation Personnelle

On passe à la configuration du sous interface 2006 qui fera passer le service internet. On lui attribue une adresse publique et une description ensuite on détermine la bande passante

```
[ONATEL]interface GigabitEthernet0/0/1.2006
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.2006]vlan-type dot1q 2006
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.2006]description Internet
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.2006]ip binding vpn-instance internet natted
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.2006]ip add 10.200.0.25 255.255.255.252
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.2006]qos car cir 1024 inbound
[ONATEL-GigabitEthernet0/0/1.2006]qos car cir 1024 outbound
```

Figure 10. Configuration du sous interface 2006 pour le service internet

Source : Investigation Personnelle

Maintenance de la fibre optique. On prépare la fibre optique de la manière suivante :

- La préparation du câble

- La préparation de la fibre optique et réalisation de la soudure
- Le clivage
- La mise en place dans la soudeuse
- La fusion
- L'ajustement de la protection d'épissure
- La retreinte de la protection d'épissure
- Le refroidissement de la protection d'épissure

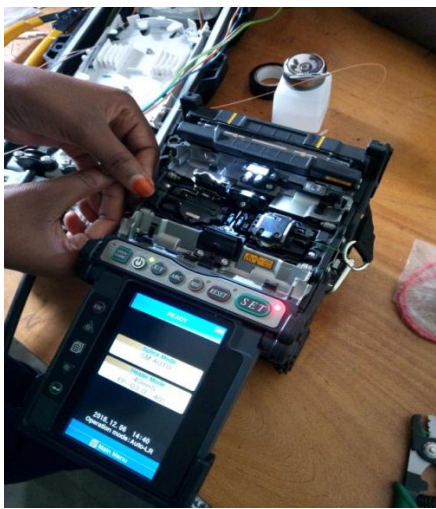


















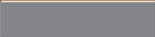









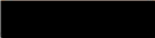

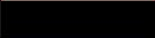
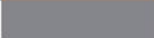
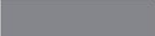






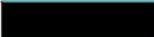


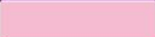


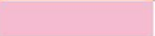




Figure 11. Mise en place de la fibre dans la soudeuse

Source : Investigation Personnelle

Code de couleur de la fibre optique. Pendant le câblage d'un réseau à fibre optique, le code des couleurs doit être respecté sinon les équipements ne pourront pas communiquer.

Pour le cas de l'ONATEL, on utilise le standard **TIA-598-C** (the Telecommunications Industry Associations) qui est un standard national américain. Il définit le schéma d'identification des fibres et est venu remplacer le standard ANSI/EIA/TIA en 2001.

	selon code Swisscom (CCM abréviation) DIN		TIA/EIA-598 (MPO)		IEC			
1.		rouge (RD)		rouge		bleu		bleu
2.		vert (GN)		vert		orange		jaune
3.		jaune (YE)		bleu		vert		rouge
4.		bleu (BL)		jaune		brun		blanc
5.		blanc (WH)		blanc		gris		vert
6.		violet (VI)		gris		blanc		violet
7.		orange (OR)		brun		rouge		orange
8.		noir (BK)		violet		noir		gris
9.		gris (GY)		turquoise		jaune		turquoise
10.		brun (BN)		noir		violet		noir
11.		rose (PK)		orange		rose		brun
12.		turquoise (TQ)		rose		turquoise		rose

Câble Loose Tube jusqu'à 24 fibres: à partir de 13-24 no de fibres avec bague de marquage.

Figure 12. Code de couleur de la fibre

Source : <https://www.ccm.ch/FreeTextFiles/.../CCMVue d ensemble de la fibre optique.pdf>

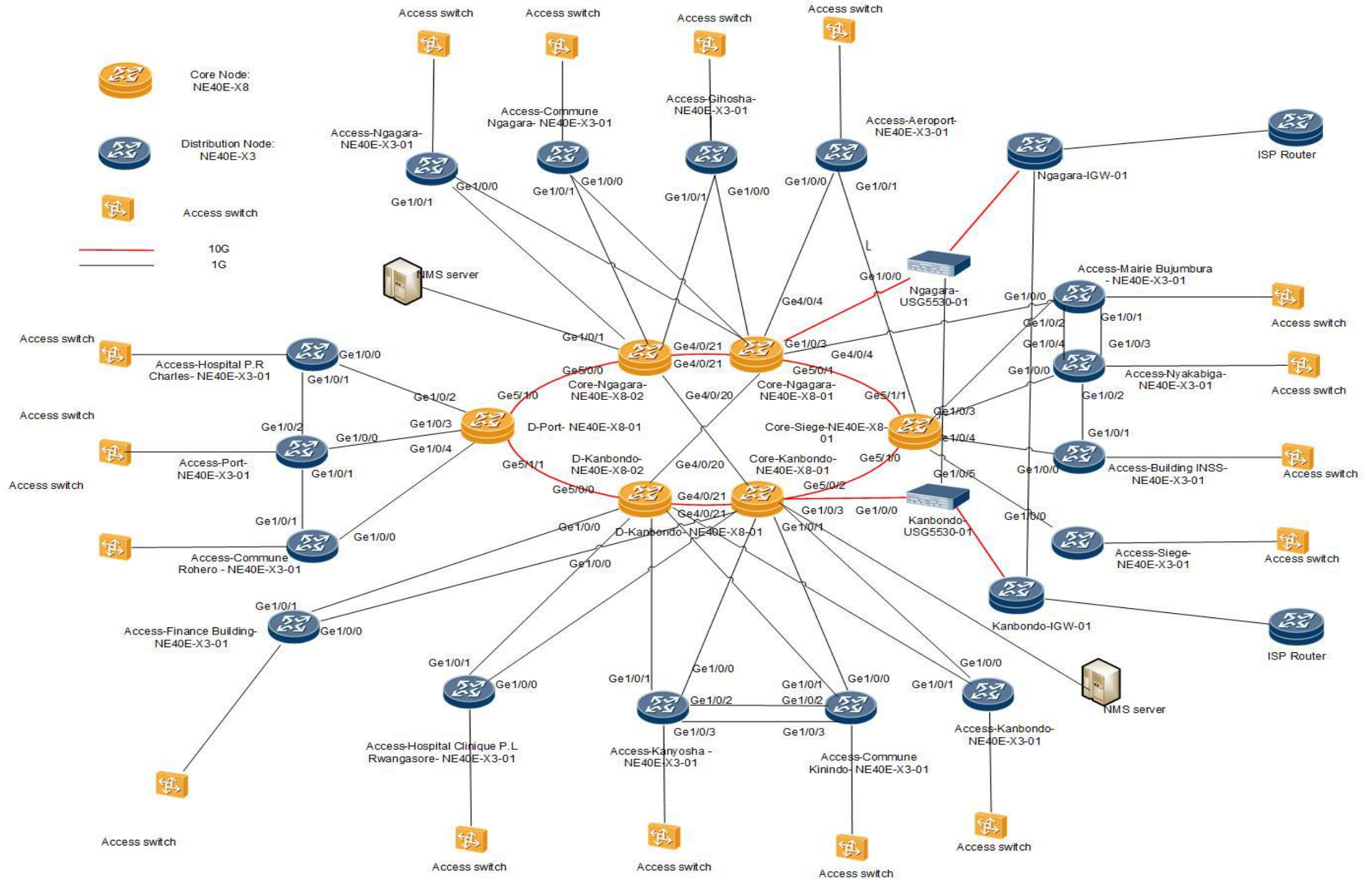


Figure 13. Réseau MAN ONATEL

Source : Investigation Personnelle

Attentes personnelles. Notre passage à l'Office National des Télécommunications nous a permis de marier certaines des théories apprises pendant les cours à la faculté avec les pratiques correspondantes, comme nous nous y attendions. Malgré la courte durée de passation de stage, nous avouons que l'ONATEL a augmenté un surplus sur nos connaissances intellectuelles et professionnelles.

Résultats atteints. A travers notre stage, nous avons maîtrisé le principe de fonctionnement de la fibre optique sur un réseau métropolitain comme celui de l'ONATEL. Nous avons appris à faire la maintenance de la fibre pour éviter l'atténuation.

Nous avons également eu à déployer la fibre jusqu'aux clients pour leur fournir la connexion internet. Ce qui veut dire que nous avons eu à faire quelques configurations basiques sur les différents équipements comme les routeurs, le Switch, etc.

Difficultés rencontrées. La première difficulté rencontrée est l'absence d'un encadreur permanent. Les stagiaires ne profitent que quand il y'a une intervention quelque part. La seconde difficulté n'a peut-être pas trop de valeurs chez certains mais a attiré notre attention et c'est au niveau de l'accueil des stagiaires. Aucun protocole n'est donné aux nouveaux stagiaires, comme par exemple l'heure à laquelle le stagiaire doit se présenter au travail, l'heure de la pause et l'heure de la clôture.

La dernière et la plus sensible de nos difficultés rencontrées, est l'incapacité du réseau MAN de l'ONATEL de pouvoir interconnecter les sites de la capitales avec ceux de l'intérieur sans passer par un autre operateur réseau. Cette difficulté sera développée dans le chapitre suivant.

Propositions d'éventuelles solutions. L'ONATEL devrait normalement mettre un encadreur permanent qui pourra s'occuper des stagiaires et répondre à leurs préoccupations en

permanence. L'ONATEL devrait également imprimer un protocole pour stagiaires ou bien l'annexer dans la réponse à la lettre de demande de stage

L'ONATEL devrait penser à élargir son réseau pour pouvoir satisfaire tous les clients en matière d'interconnexion de leurs sites tout en restant autonome.

CHAPITRE III

TRAITEMENT D'UN PROBLEME DECOUVERT

Description du problème découvert

Vu les avantages que présente un réseau à fibre optique comme celui de l'ONATEL, le nombre des clients sera bientôt très important et leurs besoins iront au-delà d'un service d'accès à internet.

Plusieurs entreprises dans le pays ont des filiales dans tous les coins du pays et certaines d'entre elles ont parfois besoin de communiquer et de partager des ressources sur un réseau privé pour des raisons de sécurité et de fiabilité.

Ces mêmes entreprises sont limitées et ne peuvent pas arriver à interconnecter tous ses sites distants en utilisant la technologie de la fibre car celle-ci est très couteuse. Au final ils ont besoin du service l'ONATEL pour le transport des données avec rapidité et fiabilité.

C'est alors là que revient notre problème parce que même ONATEL est limité. Le réseau MAN à fibre optique de l'ONATEL est déployé uniquement dans la capitale Burundaise et ne peut donc interconnecter des sites se trouvant qu'à Bujumbura.

Pistes de solution

Compte tenu du problème décrit dans la partie précédente, nous avons opté pour une solution de l'élargissement du réseau et nous avons proposé un exemple d'interconnexion des deux ou plusieurs sites très distants.

Généralités sur la fibre optique

Une fibre optique est un fil dont l'âme, très fine, en verre ou en plastique a la propriété de conduire la lumière et sert pour la fibroscopie, l'éclairage ou la transmission de données numérique. Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique

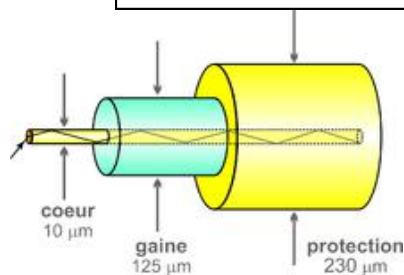


Figure 14. Représentation de la fibre optique

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelques millièmes) que la gaine et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois à l'interface entre les deux matériaux (en raison du phénomène de réflexion totale interne).

L'ensemble est généralement recouvert d'une gaine plastique de protection.

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique sans perte, en empruntant un parcours en zigzag.

La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée (https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Principe)

Catégories de fibres optiques

Fibres multimodes. Les fibres multimodes (dites MMF, pour Multi Mode Fiber), ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristique de transporter plusieurs modes (trajets lumineux). Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal proportionnel à la longueur de la fibre. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances. La dispersion modale peut cependant être minimisée (à une longueur d'onde donnée) en réalisant un gradient d'indice dans le cœur de la fibre. Elles sont caractérisées par un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètres (les cœurs en multimodes sont de 50 ou 62,5 μm pour le bas débit). Cependant les fibres les plus récentes, de type OM3, permettent d'atteindre le Gbit/s sur des distances de l'ordre du km. Les longues distances ne peuvent être couvertes que par des fibres optiques monomodes.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Fibres_multimodes

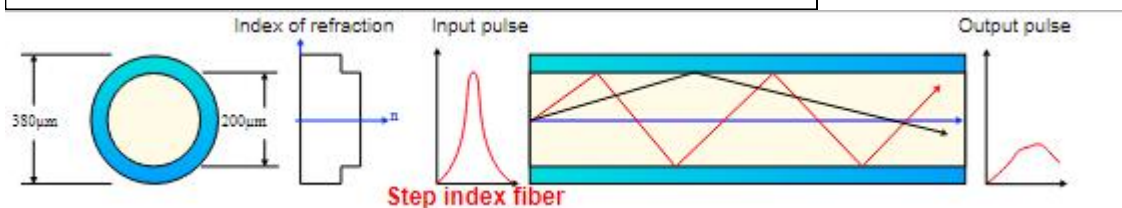


Figure 15. Fibre multimode à saut d'indice

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Fibres_multimodes

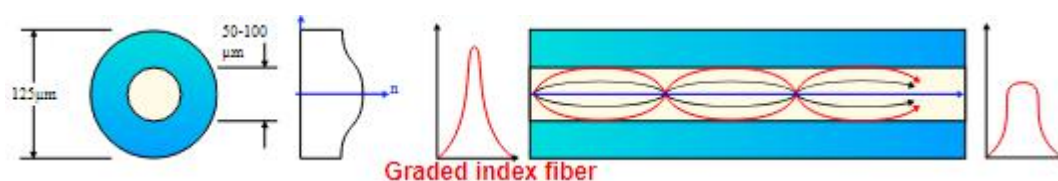


Figure 16. Fibre multimode à gradient d'indice

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Fibres_multimodes

Fibres monomodes. Pour de plus longues distances et/ou de plus hauts débits, on préfère utiliser des fibres monomodes (dites SMF, pour Single Mode Fiber), qui sont technologiquement plus avancées car plus fines. Leur cœur très fin n'admet ainsi qu'un mode de propagation, le plus direct possible c'est-à-dire dans l'axe de la fibre. Les pertes sont donc minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine) que cela soit pour de très hauts débits et de très longues distances. Les fibres monomodes sont de ce fait adaptées pour les lignes intercontinentales (câbles sous-marin). Une fibre monomode n'a pas de dispersion intermodale. En revanche, il existe un autre type de dispersion : la dispersion intramodale. Son origine est la largeur finie du train d'onde d'émission qui implique que l'onde n'est pas strictement monochromatique : toutes les longueurs d'onde ne se propagent pas à la même vitesse dans le guide ce qui induit un élargissement de l'impulsion dans la fibre optique. On l'appelle aussi dispersion chromatique. Ces fibres monomodes sont caractérisées par un diamètre de cœur de seulement quelques micromètres (le cœur monomode est de $9\ \mu\text{m}$ pour le haut débit). https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Fibres_monomodes

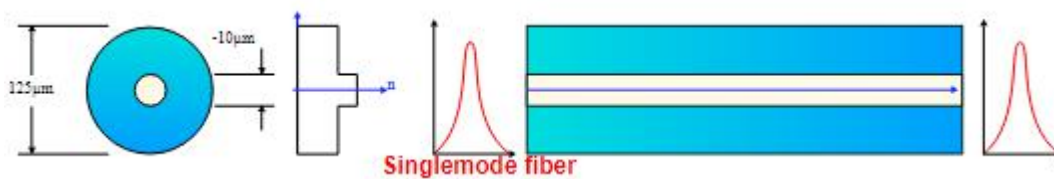


Figure 17. Fibre monomode

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique#Fibres_monomodes

Deux effets limitent la capacité de transmission de la fibre :

- *Atténuation* : une partie du signal sous forme de lumière, est perdue.



Figure 18. Atténuation du signal optique

Source : UEA/GGT/ cours 2103

Le signal qui se propage s'affaiblit

- *Dispersion* : le signal reçu est déformé par rapport au signal émis (dégradation)

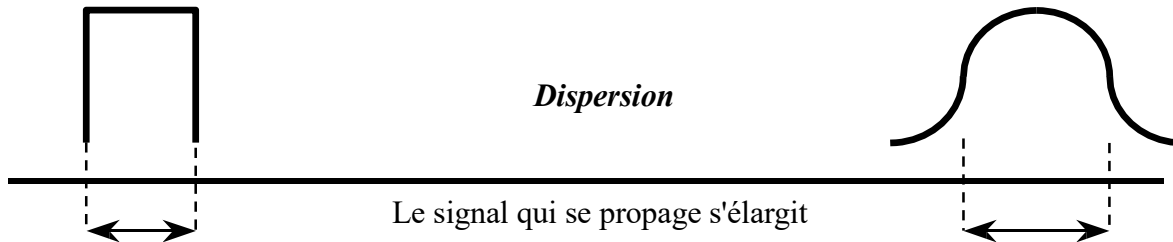


Figure 19. Dispersion du signal optique

Source : UEA/GGT/ cours 2103

Avantages et inconvénients de la fibre optique

Avantages de la fibre optique. La fibre optique présente plusieurs avantages à savoir :

- Une plus grande bande passante et une vitesse plus élevée. Le câble à fibre optique prend en charge une bande passante et une vitesse extrêmement élevée ; jusqu'à 10 Gbps. La quantité d'informations qui peut être transmise par unité de câble à fibre optique est son avantage le plus significatif ;
- Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la fibre optique est bon marché. Plusieurs kilomètres de câble à fibre optique peuvent être fabriqués pour moins cher ; que des longueurs équivalentes en fil de cuivre ;
- Les fibres optiques sont aussi plus minces et plus légères. Ainsi, cela leur permet d'offrir un meilleur ajustement, là où l'espace est un problème ;
- Une capacité de charge plus élevée. Les fibres optiques étant beaucoup plus minces que les fils de cuivre, davantage de fibres peuvent être regroupées dans un

câble d'un même diamètre. Cela permet à plus de lignes téléphoniques de passer par le même câble ;

- La fibre optique offre moins de dégradation du signal. En effet, la perte de signal dans la fibre optique est inférieure à celle du fil de cuivre ;
- Les données sont transportées par des signaux lumineux. Contrairement aux signaux électriques transmis dans les fils de cuivre, les signaux lumineux d'une fibre n'interfèrent pas avec ceux d'autres fibres du même câble. Ainsi, cela signifie par exemple que les conversations téléphoniques sont plus claires.
- La fibre optique a une meilleure durée de vie. Les fibres optiques ont généralement un cycle de vie plus long ; plus de 100 ans.

(<http://www.fibre-pro.fr/avantages-et-inconvenients-de-la-fibre-optique/>)

Inconvénients de la fibre optique. Malgré ses multiples avantages, la fibre optique présente également des inconvénients comme :

- L'utilisation de la fibre optique est limitée. Le câble à fibre optique ne peut être utilisé qu'au sol. Exception faite dans certaines utilisations aériennes sur des poteaux;
- Les sources d'émission de faible puissance-lumière sont limitées à une faible puissance. Bien que des émetteurs de forte puissance soient disponibles pour améliorer l'alimentation électrique ; mais cela implique aussi un coût supplémentaire ;
- Fragilité : la fibre optique est plutôt fragile et plus vulnérable aux dommages par rapport aux fils de cuivre. Vous feriez mieux de ne pas tordre ou plier les câbles à fibres optiques ; à vos risques et périls. Attention, ça n'est pas le cas du câble qui est beaucoup plus résistant.

- Distance : la distance entre l'émetteur et le récepteur doit rester courte ; ou alors des répéteurs sont nécessaires pour amplifier le signal.

Source: <http://www.fibre-pro.fr/avantages-et-inconvenients-de-la-fibre-optique/>

Interconnexion de deux sites distants

L'interconnexion de deux sites distants avec la technologie MPLS VPN (qu'est-ce qu'il faut ?). On passe par un opérateur réseau.

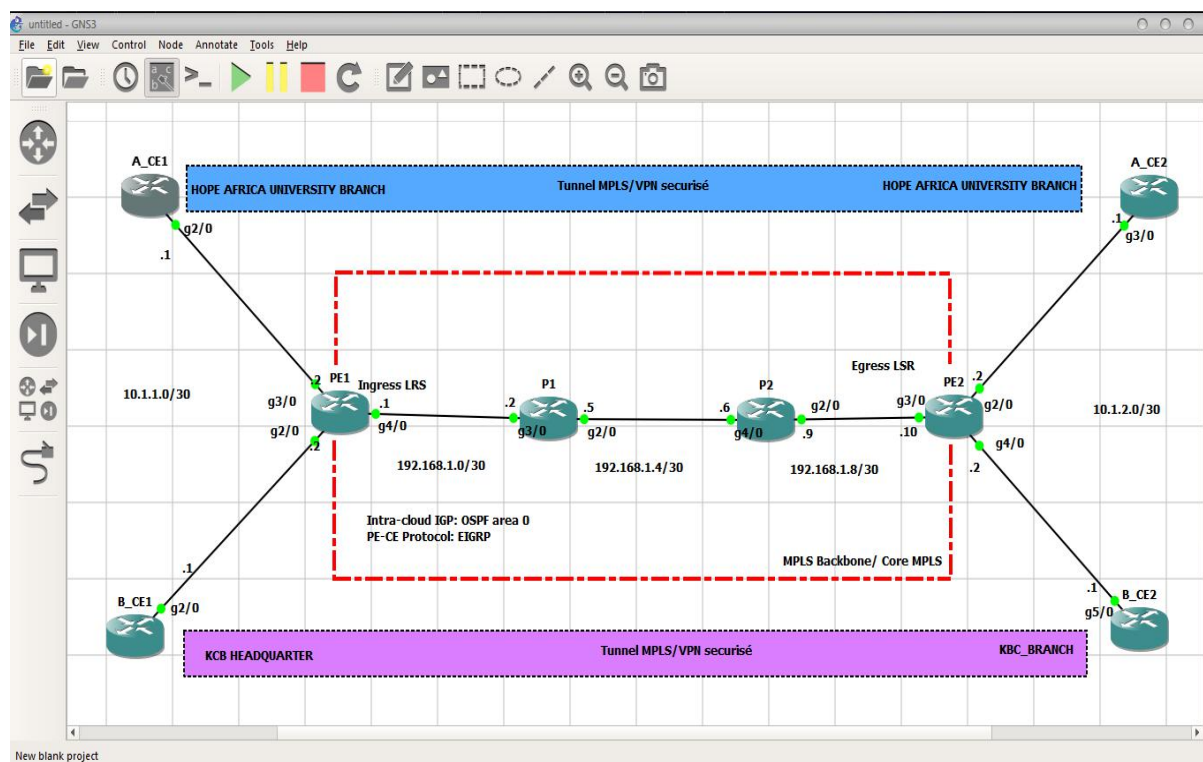


Figure 20. Interconnexion des sites distants

Source : Investigation Personnelle

Nous allons partir de cet exemple pour expliquer le fonctionnement et les différentes configurations nécessaires.

Sur la figure :

CE : Customer Edge : ce sont les routeurs des sites client à interconnecter. Pour notre cas nous avons deux clients, HOPE AFRICA UNIVERSITY (client A) et KCB (client B).

Le « but du jeu » ici est de pouvoir permettre via un nuage MPLS (*label-switching*) de l'ONATEL de pouvoir faire communiquer les sites des clients ensemble de façon totalement indépendante. Cela sous-entend ici que sur notre figure, A_CE1(HAU) devra pouvoir avoir accès à A_CE2(HAU_BRANCH) mais pas à B_CE2 (KCB_BRANCH) par exemple et inversement.

PE : Provider Edge : représente les routeurs de distribution. C'est-à-dire les routeurs directement connectés aux sites à interconnecter.

P : Provider ou Core node : représente les routeurs internes qui forment le cœur du réseau. Pour pouvoir interconnecter les deux sites nous allons utiliser la technologie MPLS (Multi Protocol Label Switch).

Pourquoi MPLS VPN?

Pour revenir à l'essentiel de la technologie, l'avantage de ce type de VPN MPLS est de pouvoir faire du *label-switching* entre PE sans que les routeurs du milieu du nuage, les P, n'aient à avoir connaissance des préfixes de destination dans leurs tables de routage respectives. Cela permet la fiabilité des données. De nos jours, c'est un sérieux concurrent pour les technologies plus anciennes de couche 2 comme ATM ou Frame-Relay.

C'est-à-dire, le site HAU envoie un paquet avec comme adresse de destination du site HAU_BRANCH. Ce paquet est reçu à l'entrée par le routeur de distribution directement connecté au site. Ce routeur de distribution crée un identifiant ou un label qui indique la destination du paquet et l'envoie au routeur interne (P) le plus proche qui à son tour ajoute un nouveau label et envoie le paquet au routeur le plus proche de la destination ainsi de suite jusqu'à ce que le paquet atteigne le routeur qui est directement connecté au site HOPE_BRANCH, qui pour la dernière étape, modifie le paquet en enlevant le label et l'achemine à l'adresse de destination.

Configuration sous GNS3

Technologies utilisées.

- OSPF pour la communication intra-nuage
- EIGRP en guise de protocole CE-PE.
- MP-BGP pour le VPN
- VRF pour les tables de routage virtuelles

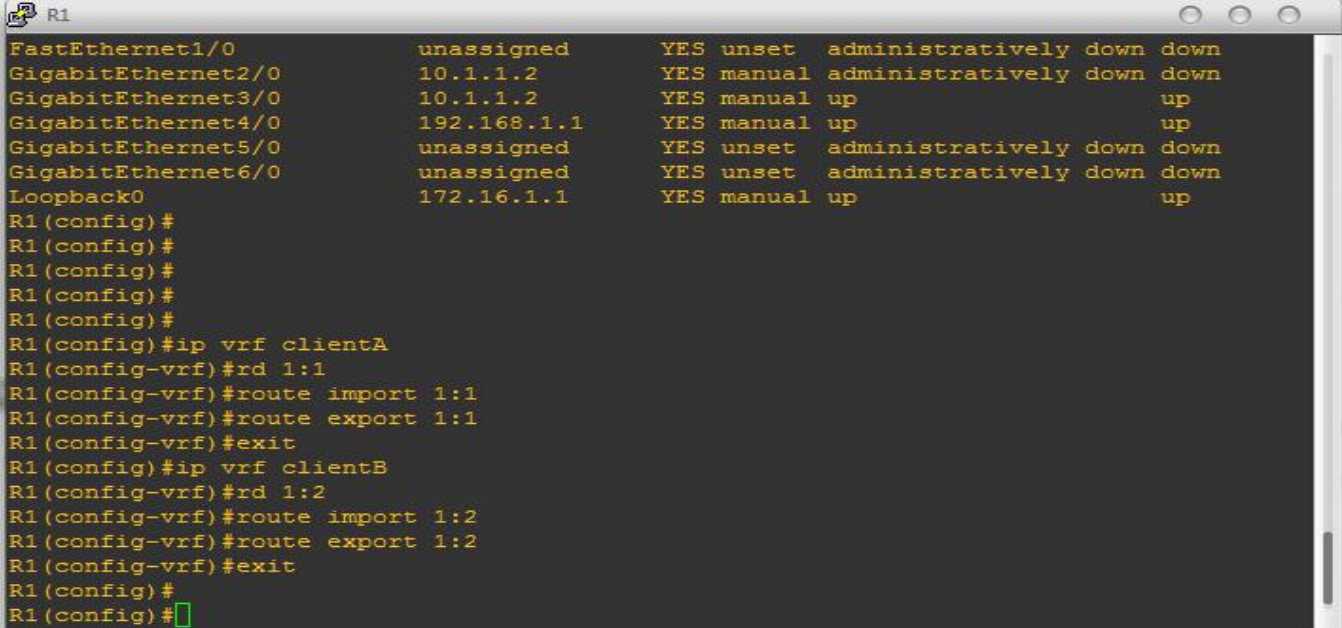
Méthode d'approche.

Pour réaliser notre projet d'interconnexion, nous allons procéder par différentes étapes à savoir :

1. Mise en place des VRF sur les PE
2. Configuration des interfaces
3. Mise en place du protocole intra-nuage
4. Mise en place du protocole CE-PE
5. Mise en place du protocole MP-BGP
6. Gestion de la redistribution respective des préfixes

Première étape - Mise en place des VRF sur les routeurs de distribution PE. Pour détailler ce que nous allons de faire ici, nous créons deux tables de routage virtuelles (VRF) pour chaque client. À l'intérieur de la configuration de la VRF, nous désignons des RD des futures routes de cette VRF ainsi que le RT (*Route Target*) dans les deux sens (*import et export*).

Cette étape est bien entendu à répéter sur PE2 qui accueillera exactement la même configuration.



```

R1
FastEthernet1/0      unassigned      YES unset      administratively down down
GigabitEthernet2/0  10.1.1.2        YES manual    administratively down down
GigabitEthernet3/0  10.1.1.2        YES manual    up             up
GigabitEthernet4/0  192.168.1.1     YES manual    up             up
GigabitEthernet5/0  unassigned      YES unset      administratively down down
GigabitEthernet6/0  unassigned      YES unset      administratively down down
Loopback0           172.16.1.1      YES manual    up             up
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#ip vrf clientA
R1(config-vrf)#rd 1:1
R1(config-vrf)#route import 1:1
R1(config-vrf)#route export 1:1
R1(config-vrf)#exit
R1(config)#ip vrf clientB
R1(config-vrf)#rd 1:2
R1(config-vrf)#route import 1:2
R1(config-vrf)#route export 1:2
R1(config-vrf)#exit
R1(config)#
R1(config)#

```

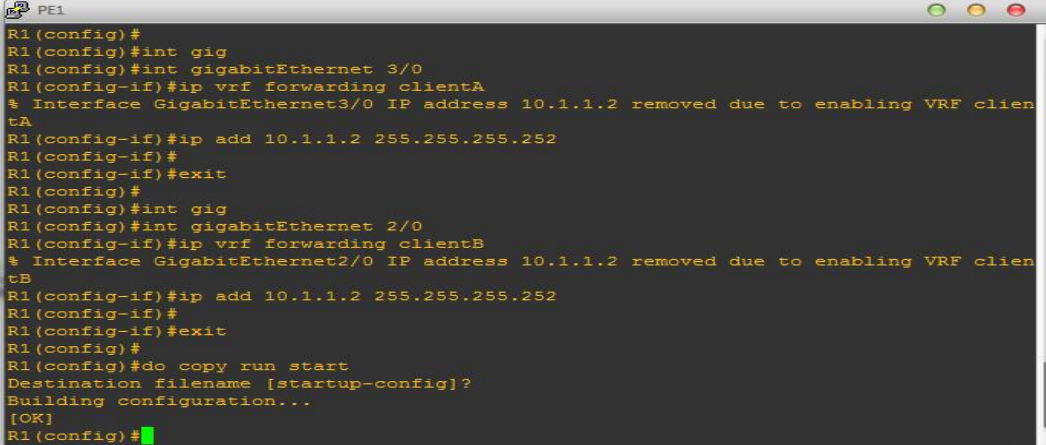
Figure 21. Configurations VRF sur PE

Source : Investigation Personnelle

Deuxième étape - Configuration des interfaces. Mis à part les configurations des adresses IP sur toutes les interfaces de notre topologie (étape que nous n'avons pas présentée) nous devons également effectuer d'autres actions pour préparer le terrain :

- Sur toutes les interfaces des PE directement reliées sur des CE, vous devez assigner à l'interface locale du PE une VRF.
- Sur les interfaces concernées par le *label-switching* MPLS, vous devez activer le protocole d'échange de label LDP (*Label Distribution Protocol*).

a. Assignment des VRF sur PE



```

PE1
R1(config)#
R1(config)#int gig
R1(config)#int gigabitEthernet 3/0
R1(config-if)#ip vrf forwarding clientA
% Interface GigabitEthernet3/0 IP address 10.1.1.2 removed due to enabling VRF clien
tA
R1(config-if)#ip add 10.1.1.2 255.255.255.252
R1(config-if)#
R1(config-if)#exit
R1(config)#
R1(config)#int gig
R1(config)#int gigabitEthernet 2/0
R1(config-if)#ip vrf forwarding clientB
% Interface GigabitEthernet2/0 IP address 10.1.1.2 removed due to enabling VRF clien
tB
R1(config-if)#ip add 10.1.1.2 255.255.255.252
R1(config-if)#
R1(config-if)#exit
R1(config)#
R1(config)#do copy run start
Destination filename [startup-config]?
Building configuration...
[OK]
R1(config)#

```

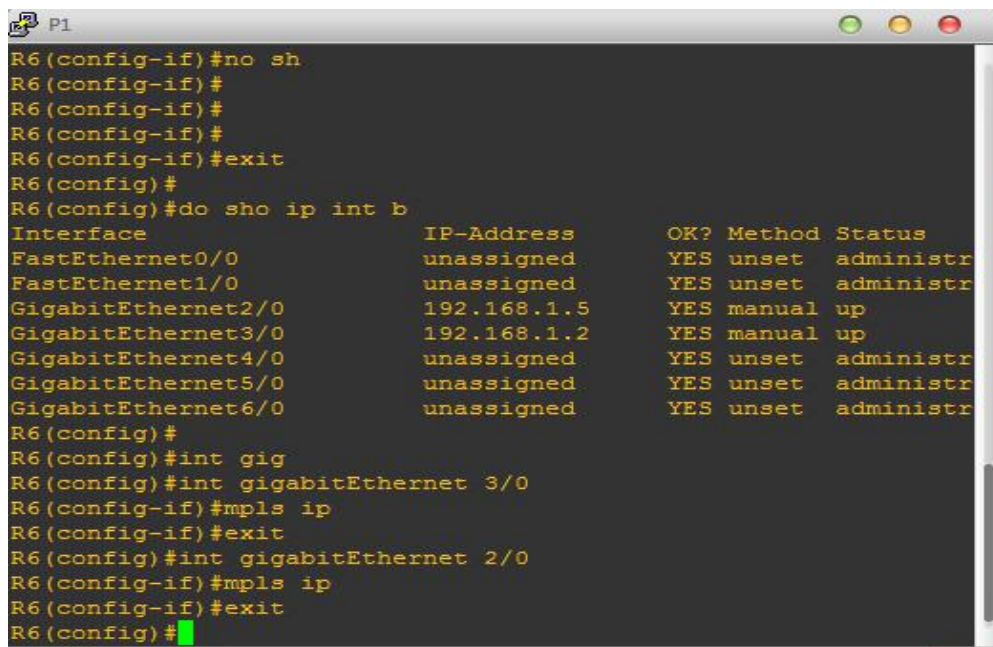
Figure 22. Assignment des VRF sur le port routeur PE

Source : Investigation Personnelle

Avec cette commande *ip vrf forwarding*, nous affectons l'interface à la VRF choisie uniquement. L'opération à répéter également sur PE2 en adaptant les adresses IP bien entendu.

b. Activation du LDP sur les interfaces concernées

On active ici uniquement le LDP sur les interfaces qui auront à faire du label-switching (généralement les interfaces qui sont dans le nuage MPLS).



```

R6(config-if)#no sh
R6(config-if)#
R6(config-if)#
R6(config-if)#
R6(config-if)#exit
R6(config)#
R6(config)#do sho ip int b
Interface                IP-Address      OK? Method Status
FastEthernet0/0          unassigned      YES unset  administr
FastEthernet1/0          unassigned      YES unset  administr
GigabitEthernet2/0       192.168.1.5    YES manual up
GigabitEthernet3/0       192.168.1.2    YES manual up
GigabitEthernet4/0       unassigned      YES unset  administr
GigabitEthernet5/0       unassigned      YES unset  administr
GigabitEthernet6/0       unassigned      YES unset  administr
R6(config)#
R6(config)#int gig
R6(config)#int gigabitEthernet 3/0
R6(config-if)#mpls ip
R6(config-if)#exit
R6(config)#int gigabitEthernet 2/0
R6(config-if)#mpls ip
R6(config-if)#exit
R6(config)#

```

Figure 23. Activation de LDP sur les interfaces du LSP

Source : Investigation Personnelle

Cette procédure sera à répéter sur de plusieurs ports (P1, P2 et PE2) qui sont dans le nuage MPLS.

Troisième étape - Mise en place du protocole intra-nuage. Dans cette section, nous allons juste activer OSPF dans le nuage pour garantir la communication intra-nuage des routeurs P et PE.

Sur les PE (PE1 et PE2), la configuration est la suivante :

```

PE1
R1(config)#int gigabitEthernet 4/0
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#
R1(config-if)#exit
R1(config)#
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#net 172.16.1.0 0.0.0.3 area 0
R1(config-router)#net 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)#exit
R1(config)#
R1(config)#
*Dec 20 13:49:51.083: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.168.1.5 on GigabitEthernet4
/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R1(config)#
*Dec 20 13:49:56.563: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.1.5:0 (1) is UP
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#do ping 172.16.1.2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.1.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/94/208 ms
R1(config)#

```

Figure 24. Mise en place du protocole intra nuage OSPF

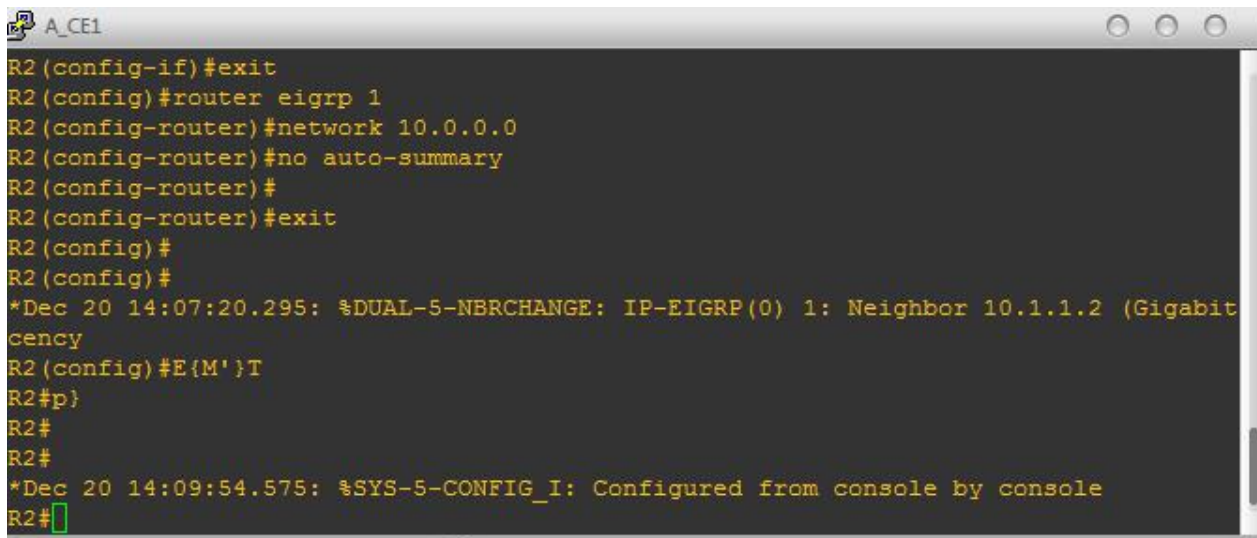
Source : Investigation Personnelle

La première instruction « network » nous servira pour annoncer les réseaux de loopback des PE respectifs pour MP-BGP. La deuxième instruction annoncera dans le nuage les réseaux directement connectés et formera des relations de voisinages avec ses voisins connectés.

Sur les P (P1 et P2), la configuration est la même avec les adresses réseaux 192.168.1.0/24 étant donné que ces P n'ont pas d'interfaces de loopback et en ce moment PE1 devrait pinguer l'adresse loopback de PE2 sans aucun problème.

Quatrième étape – Mise en place du protocole CE-PE

Dans un premier temps, la configuration dédiée aux CE est très simple, du fait que les CE n'ont aucune notion de MPLS, ils vont juste établir une adjacence avec les PE auxquels ils sont reliés et partager ses routes avec ceux-ci. Cette configuration sera appliquée sur tous les CE et ne changeant aucune instruction :



```

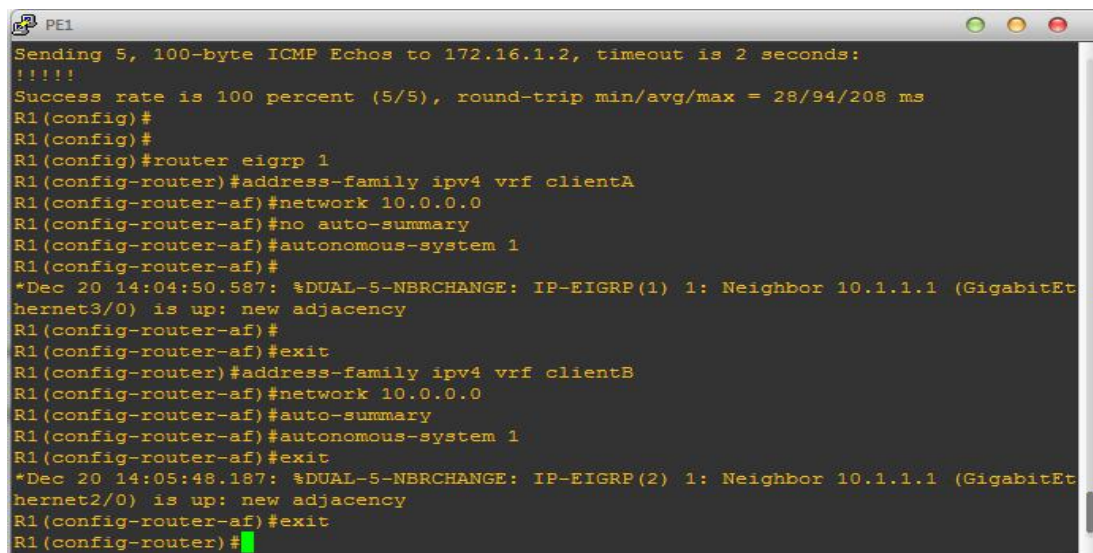
A_CE1
R2(config-if)#exit
R2(config)#router eigrp 1
R2(config-router)#network 10.0.0.0
R2(config-router)#no auto-summary
R2(config-router)#
R2(config-router)#exit
R2(config)#
R2(config)#
*Dec 20 14:07:20.295: %DUAL-5-NBRCHANGE: IP-EIGRP(0) 1: Neighbor 10.1.1.2 (Gigabit
cency
R2(config)#E{M'}T
R2#p)
R2#
R2#
*Dec 20 14:09:54.575: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R2#

```

Figure 25. Mise en place du protocole CE-PE (EIGRP) sur routeurs client CE

Source : Investigation Personnelle

Passons maintenant à la configuration des PE, un peu plus complexe. Nous allons dans les PE configurer une instance d'EIGRP par VRF. Ces commandes s'appliqueront sur PE1 et PE2 sans aucun changement:



```

PE1
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.1.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/94/208 ms
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#router eigrp 1
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf clientA
R1(config-router-af)#network 10.0.0.0
R1(config-router-af)#no auto-summary
R1(config-router-af)#autonomous-system 1
R1(config-router-af)#
*Dec 20 14:04:50.587: %DUAL-5-NBRCHANGE: IP-EIGRP(1) 1: Neighbor 10.1.1.1 (GigabitEt
hernet3/0) is up: new adjacency
R1(config-router-af)#
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf clientB
R1(config-router-af)#network 10.0.0.0
R1(config-router-af)#auto-summary
R1(config-router-af)#autonomous-system 1
R1(config-router-af)#exit
*Dec 20 14:05:48.187: %DUAL-5-NBRCHANGE: IP-EIGRP(2) 1: Neighbor 10.1.1.1 (GigabitEt
hernet2/0) is up: new adjacency
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#

```

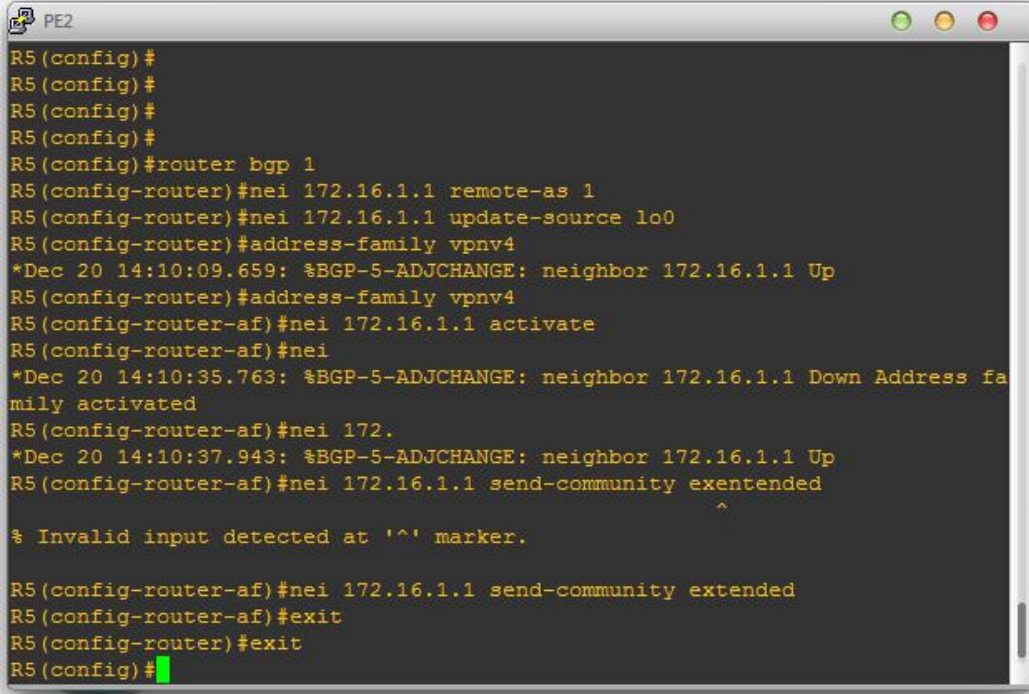
Figure 26. Mise en place du protocole CE-PE (EIGRP) sur routeurs PE

Source : Investigation Personnelle

On peut remarquer sur la figure en haut que deux adjacences se sont formées entre le PE et les CE concernés par la VRF sur laquelle nous avons activé EIGRP.

Cinquième étape – Mise en place du protocole MP-BGP

Pour configurer la liaison vpnv4 entre les deux PE que l'on recherche à faire, il nous faut configurer une relation de voisinage en prenant comme référence les IP de loopback paramétrés précédemment. La configuration pour PE2 est la suivante :



```

R5(config)#
R5(config)#
R5(config)#
R5(config)#
R5(config)#router bgp 1
R5(config-router)#nei 172.16.1.1 remote-as 1
R5(config-router)#nei 172.16.1.1 update-source lo0
R5(config-router)#address-family vpnv4
*Dec 20 14:10:09.659: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 172.16.1.1 Up
R5(config-router)#address-family vpnv4
R5(config-router-af)#nei 172.16.1.1 activate
R5(config-router-af)#nei
*Dec 20 14:10:35.763: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 172.16.1.1 Down Address fa
family activated
R5(config-router-af)#nei 172.
*Dec 20 14:10:37.943: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 172.16.1.1 Up
R5(config-router-af)#nei 172.16.1.1 send-community extended
^
% Invalid input detected at '^' marker.

R5(config-router-af)#nei 172.16.1.1 send-community extended
R5(config-router-af)#exit
R5(config-router)#exit
R5(config)#

```

Figure 27. Configuration d'une relation de voisinage avec MP-BGP

Source : Investigation Personnelle

On demande à ce que l'IP source des paquets qui s'échangent entre les pairs BGP soit bien celle de notre IP de loopback, c'est-à-dire 172.16.1.1 pour PE1.

Enfin, on active le mécanisme vpnv4 de BGP en le configurant également de telle sorte à ce que BGP utilise le champ « community » de ses updates pour pouvoir en faire un champ de communauté étendue (qui servira lors de la négociation des capacités des voisins, pour les RT également qui sont stockés dans ce champ). La configuration pour PE1 est exactement la même en adaptant les IP. Vous voyez la relation de voisinage BGP être négociée avec succès avec notamment cette ligne de log: ***Dec 20 14:10:01.595: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 172.16.1.1 Up a**

Sixième étape – Gestion de la redistribution respective des préfixes

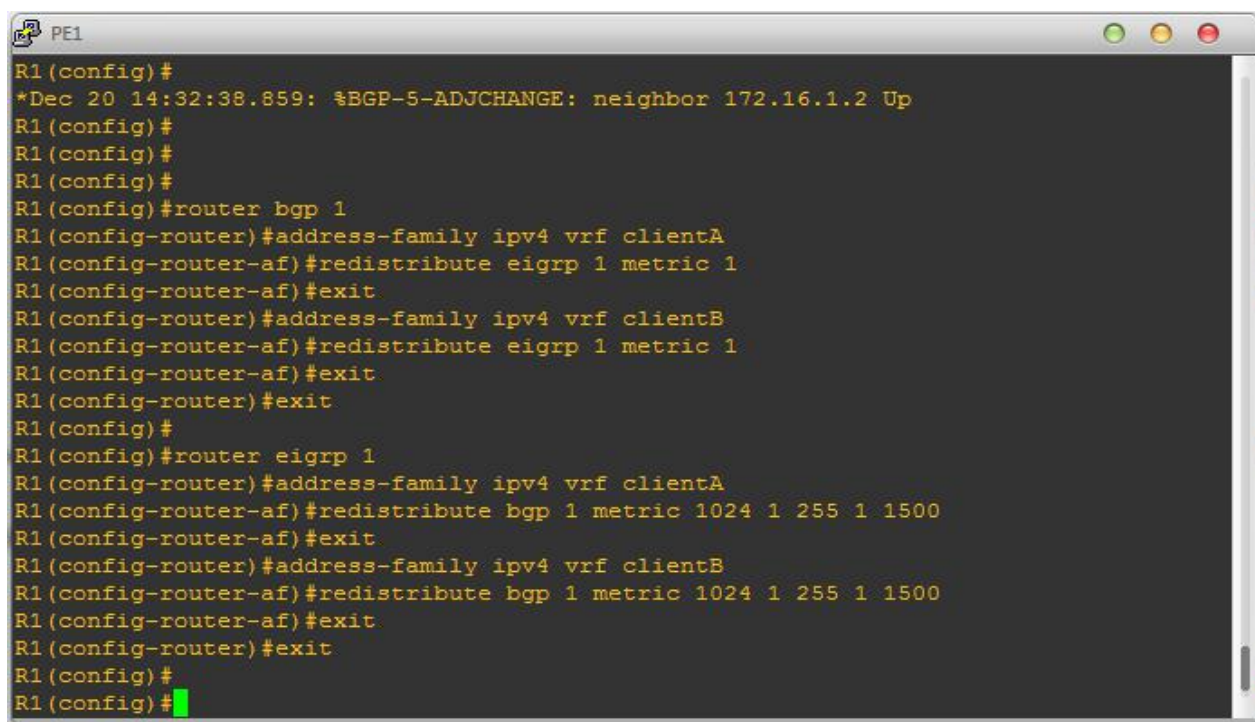
Avant de pouvoir tester le bon fonctionnement de notre VPN, il nous manque encore une brique importante de notre architecture.

Il faut configurer les PE de telle sorte à ce que la redistribution des routes soit effective mutuellement dans les deux sens entre BGP et EIGRP

a. Redistribution EIGRP => BGP – configuration:

Dans cette section, on s'occupe de redistribuer les routes apprises par EIGRP dans BGP.

La configuration similaire est également à appliquer sur PE2.



```

R1(config)#
*Dec 20 14:32:38.859: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 172.16.1.2 Up
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#router bgp 1
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf clientA
R1(config-router-af)#redistribute eigrp 1 metric 1
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf clientB
R1(config-router-af)#redistribute eigrp 1 metric 1
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#exit
R1(config)#
R1(config)#router eigrp 1
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf clientA
R1(config-router-af)#redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf clientB
R1(config-router-af)#redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
R1(config-router-af)#exit
R1(config-router)#exit
R1(config)#
R1(config)#

```

Figure 28.Redistribution des routes entre EIGRP et BGP

Source : Investigation Personnelle

b. Redistribution BGP => EIGRP – configuration:

Dans cette section, on fait l'inverse. On s'occupe de redistribuer les routes apprises par BGP dans EIGRP. La configuration similaire est également à appliquer sur PE2 et prend la forme suivante :

```

PE1(config)#router eigrp 1
PE1(config-router)#address-family ipv4 vrf ClientA
PE1(config-router-af)#redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
PE1(config-router-af)#exit
PE1(config-router)#address-family ipv4 vrf ClientB
PE1(config-router-af)#redistribute bgp 1 metric 1024 1 255 1 1500
PE1(config-router-af)#exit
PE1(config-router)#exit

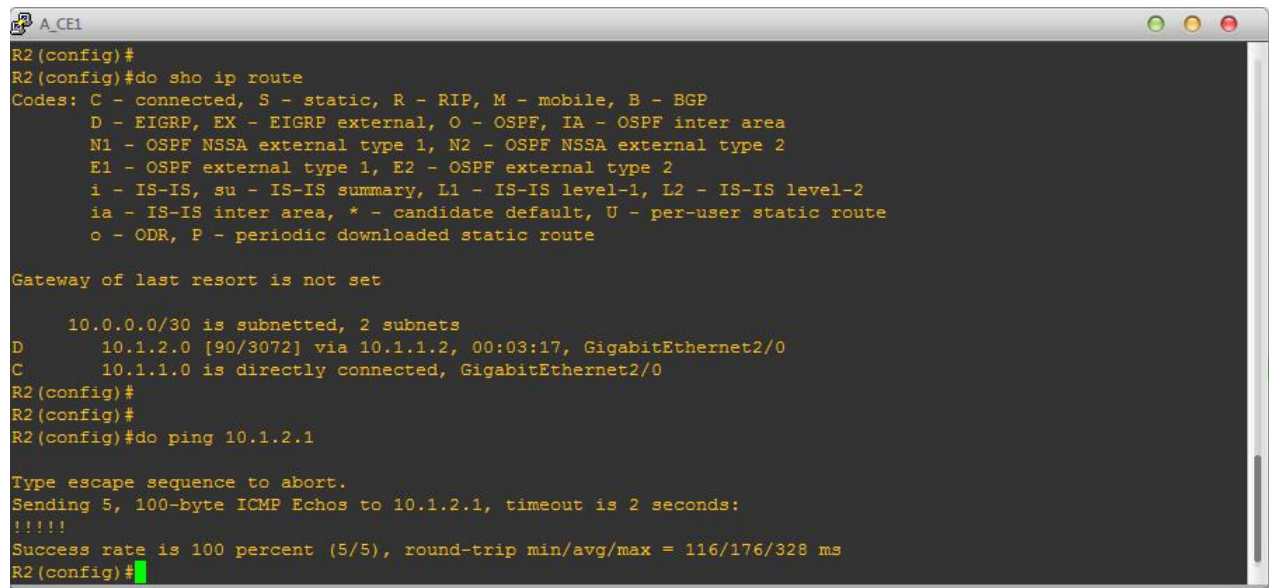
```

Après cette « touche finale », il ne nous reste que de faire les tests.

Tests et vérifications.

On se place sur la perspective de A_CE1 (HAU) qui a envie de contacter A_CE2 (HAU_BRANCH) à travers le VPN MPLS.

Regardons la table de routage du site HOPE et testons un ping sur HOPE_BRANCH



```

A_CE1
R2(config)#
R2(config)#do sho ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

 10.0.0.0/30 is subnetted, 2 subnets
D    10.1.2.0 [90/3072] via 10.1.1.2, 00:03:17, GigabitEthernet2/0
C    10.1.1.0 is directly connected, GigabitEthernet2/0
R2(config)#
R2(config)#
R2(config)#do ping 10.1.2.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.2.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 116/176/328 ms
R2(config)#

```

Figure 29. Test d'interconnexion entre sites A (HAU)

Source : Investigation Personnelle

Bonne nouvelle, nous pouvons voir que A_CE1 a appris une route via EIGRP vers 10.1.2.0!

Et voilà, ça ping sans aucun problème. Sur 5 paquets envoyés, 5 sont arrivés à destination, un succès à 100%.

Teste du site B (KCB) :

```

B_CE1
R3(config)#
R3(config)#do sho ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/30 is subnetted, 2 subnets
D       10.1.2.0 [90/3072] via 10.1.1.2, 00:09:39, GigabitEthernet2/0
C       10.1.1.0 is directly connected, GigabitEthernet2/0
R3(config)#
R3(config)#do ping 10.1.2.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.1.2.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 120/156/208 ms
R3(config)#
R3(config)#

```

Figure 30. Test d'interconnexion entre sites B (KCB)

Source : Investigation Personnelle

Par curiosité, nous allons également regarder les *label bindings* créés automatiquement sur PE1 et/ou sur les autres routeurs du nuage MPLS :

```

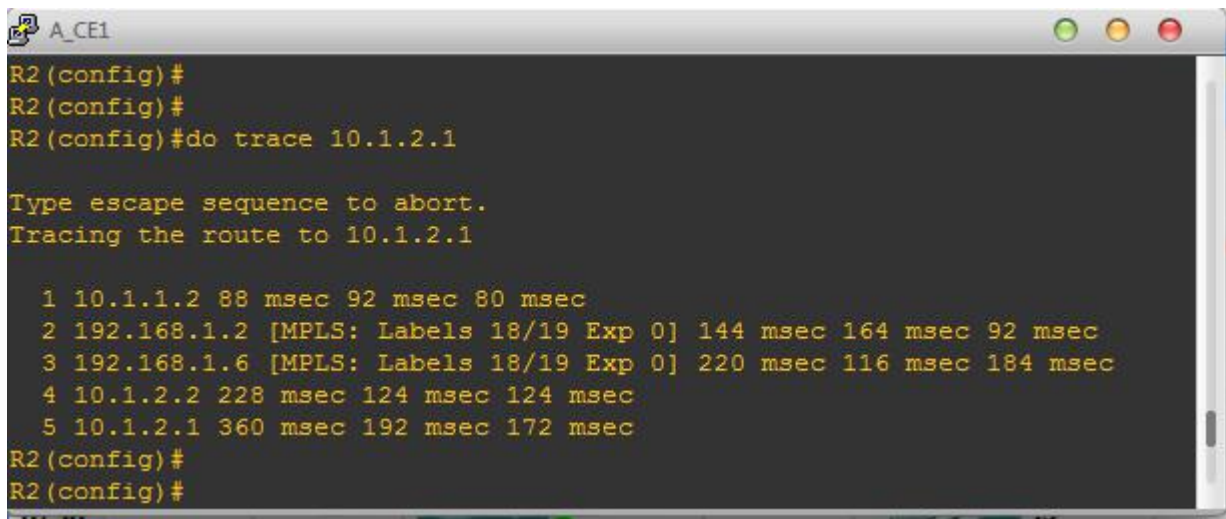
PE1
R1(config)#
R1(config)#do copy run start
Destination filename [startup-config]?
Building configuration...
[OK]
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#do sh mpls ldp bind
  tib entry: 172.16.1.1/32, rev 2
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 192.168.1.5:0, tag: 16
  tib entry: 172.16.1.2/32, rev 9
    local binding: tag: 17
    remote binding: tsr: 192.168.1.5:0, tag: 18
  tib entry: 192.168.1.0/30, rev 4
    local binding: tag: imp-null
    remote binding: tsr: 192.168.1.5:0, tag: imp-null
  tib entry: 192.168.1.4/30, rev 6
    local binding: tag: 16
    remote binding: tsr: 192.168.1.5:0, tag: imp-null
  tib entry: 192.168.1.8/30, rev 10
    local binding: tag: 18
    remote binding: tsr: 192.168.1.5:0, tag: 17
R1(config)#

```

Figure 31. Vérification des labels

Source : Investigation Personnelle

Pour terminer, analysons une faille de sécurité qui est présente sur l'architecture. Si un hacker se place sur le site A et trace la route des paquets par la commande *do trace*, nous allons remarquer qu'il recevra toutes les adresses des hôtes par lesquels les paquets transitent même ceux des réseaux intranuage.



```

A_CE1
R2(config)#
R2(config)#
R2(config)#do trace 10.1.2.1

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.1.2.1

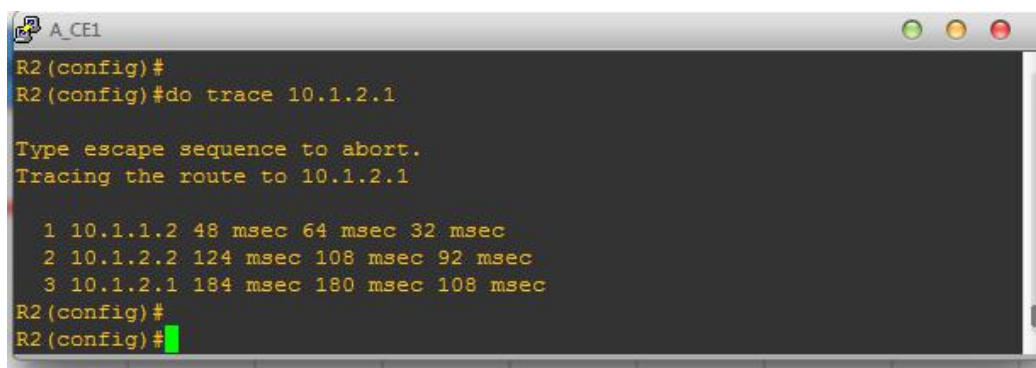
 0 10.1.1.2 88 msec 92 msec 80 msec
 1 192.168.1.2 [MPLS: Labels 18/19 Exp 0] 144 msec 164 msec 92 msec
 2 192.168.1.6 [MPLS: Labels 18/19 Exp 0] 220 msec 116 msec 184 msec
 3 10.1.2.2 228 msec 124 msec 124 msec
 4 10.1.2.1 360 msec 192 msec 172 msec
R2(config)#
R2(config)#

```

Figure 32. Test de sécurité par *do trace*

Source : Investigation Personnelle

Pour pallier à ce problème il suffit d'aller taper la commande **no mpls ip propagate-ttl** sur les routeurs directement connectés aux clients et venir réessayer.



```

A_CE1
R2(config)#
R2(config)#do trace 10.1.2.1

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.1.2.1

 0 10.1.1.2 48 msec 64 msec 32 msec
 1 10.1.2.2 124 msec 108 msec 92 msec
 2 10.1.2.1 184 msec 180 msec 108 msec
R2(config)#
R2(config)#

```

Figure 33. Test de *do trace* après avoir masqué les hôtes du nuage MPLS

Source : Investigation Personnelle

Maintenant nous remarquons que les routes du nuage MPLS ont été masquées et l'opérateur n'a pas de soucis à se faire.

CHAPITRE IV

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion

Notre passage à l'ONATEL a été pour nous un grand surplus sur nos connaissances. Nous nous sommes plongés dans le domaine professionnel et nous avons marié les théories apprises à l'université Espoir d'Afrique avec les notions pratiques.

Rappelons que dans la partie de traitement du problème rencontré, nous avons montré plusieurs raisons d'utiliser la fibre optique sur des liaisons distantes, et nous avons proposé une architecture qui interconnecte plusieurs sites ensemble et leur permet une communication totalement indépendante entre eux.

Ce fut un plaisir de réaliser ce stage et nous garderons que les bons souvenirs de l'Office National des Télécommunications (ONATEL en sigle).

Recommandations

A l'entreprise ONATEL : De bien vouloir trouver un encadreur permanent qui s'occupera des stagiaires durant leur période de stage.

A l'Université Espoir d'Afrique : De bien vouloir renforcer les séances pratiques en mettant à disposition un laboratoire informatique et des équipements réseau. De permettre aux étudiants étrangers de réaliser des stages dans leurs pays respectifs.

LISTE DES REFERENCES

« COURS DE SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS OPTIQUES, CIRCUITS HYPERFREQUENCES, ONDES ET POLARISATIONS » (UEA/GGT/ cours No BPHY 2103), 2017

Luc de Ghein . (p.d) « MPLS FUNDAMENTALS ».

« MPLS VPN - Route Target Rewrite » Cisco Systems, Inc., 170 West Tasman Drive, San Jose, CA 95134-1706 USA

WEBOGRAPHIE

<http://www.soudeuse-optique.fr/souder-une-fibre-optique>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

<https://studylib.net/doc/18860054/ansi-tia-eia-598-b-standard-colors>

https://www.ccm.ch/FreeTextFiles/.../CCM_Vue_densemble_de_la_fibre_optique.pdf

<https://fr.wikipedia.org/wiki/ADSL#Description>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_optique

<http://www.fibre-pro.fr/avantages-et-inconvenients-de-la-fibre-optique/>

<https://ccie.julienberton.fr/2012/01/01/mise-en-place-dun-vpn-mpls/>

<http://absysfrance.com/conseils-techniques/realiser-une-soudure-optique-pas-a-pas/>