



ÉTUDE DE LA TECHNOLOGIE FTTX DANS L'INTERCONNEXION DES SITES DISTANTS

[STUDY OF FTTX TECHNOLOGY IN THE INTERCONNECTION OF REMOTE SITES]

Ass Lutumba Nkanga Darcy¹, Ngoie caleb², Koka Mavinga³, Mulanda Kwamba Charly⁴, Koka Walendua Phillipe⁵, Mwamba Mpoyi Christopher⁶, Inyekaka Ndeka⁷, Muaka Mabengi⁸, Koffi Nkinda⁹, Mfuana Kuanda Gaël¹⁰

¹ Université Pédagogique Nationale, Ministère de l'enseignement supérieur Universitaire.

² Centre de recherche sur l'enseignement de la Mathématique, Ministère de la recherche Scientifique, République Démocratique du Congo.

³ Centre de recherche sur l'enseignement de la Mathématique, Ministère de la recherche Scientifique, République Démocratique du Congo.

⁴ Centre de recherche sur l'enseignement de la Mathématique, Ministère de la recherche Scientifique, République Démocratique du Congo.

⁵ Centre de recherche sur l'enseignement de la Mathématique, Ministère de la recherche Scientifique, République Démocratique du Congo.

⁶ Département de Physique et Science Appliquées, Université Pédagogique Nationale, République Démocratique du Congo.

⁷ Centre de recherche sur l'enseignement de la Mathématique, Ministère de la recherche Scientifique, République Démocratique du Congo.

⁸ Centre de recherche sur l'enseignement de la Mathématique, Ministère de la recherche Scientifique, République Démocratique du Congo.

⁹ Centre de recherche sur l'enseignement de la Mathématique, Ministère de la recherche Scientifique, République Démocratique du Congo.

¹⁰ Chercheur indépendant.

Auteur correspondant : Lutumba Nkanga Darcy. Tel : (+243) 89 640 59 93

Résumé

La connectivité entre sites distants est un enjeu majeur pour les entreprises et institutions modernes. La technologie FTTx (Fiber To The x) offre une solution efficace pour répondre aux besoins croissants en bande passante, en fiabilité et en sécurité. Cet article explore les concepts clés de la FTTx, ses avantages dans le contexte de l'interconnexion des sites distants, ainsi que ses limites et perspectives.

Méthodes : Méthode analytique, méthode descriptive, méthode historique, méthode comparative associé aux techniques d'interview, d'observation et la collecte des données, Matériels : questionnaire numérique élaboré sur Survey Solution, constituant un dataset sur Excel et le logiciel R en rapport avec les données, le logiciel Cisco Packet Tracers pour la construction des architectures réseaux et GNS pro.

Il était question dans cette recherche de mener une étude sur la technologie FTTX pour enfin montrer son efficacité dans l'interconnexion des sites distant par rapport à sa maniabilité et aux différentes type des possibilités qu'elle offre par rapport à d'autre technologies existant.

En conclusion, la FTTx reste la solution la plus performante pour les besoins actuels et futurs en connectivité car elle offre une large bande passante, une sécurité fiable tant matérielle que logiciel et une adaptabilité dans des longues distances.

Mots clés : Etude, Technologie, FTTx, Interconnexions, Site, Distant

Abstract

This research aimed to conduct a study on FTTX technology to demonstrate its effectiveness in interconnecting remote sites, highlighting its ease of use and the various possibilities it offers compared to other existing technologies.

In conclusion, FTTx remains the most efficient solution for current and future connectivity needs because it offers high bandwidth, reliable hardware and software security, and adaptability over long distances.

Keys words : Study, Technology, FTTx, Interconnexion, Site, Remonte

1. Introduction

En ce jour, le monde entier connaît une grande évolution, une transformation graduelle et continue, surtout en informatique avec l'évolution du Système d'Information et

d'interaction d'aide à la décision qui a permis de réduire le flux d'informations à traiter et à les diffuser, le plus facilement possible dans un temps plus court [6].

Avec l'augmentation très rapide du nombre d'utilisateurs, ainsi que des nouveaux services implémentés, le besoin croissant de débit nécessitait des composants très performants. Pour répondre à ce problème, des techniques et des équipements ont été inventés. Plusieurs évolutions ont eu lieu et un nouveau type de support de transmission a été mis en place, la fibre optique, dans laquelle l'information codée sous forme de lumière délivrée par une source Laser [1].

L'Internet est un réseau public accessible par tous. Donc, le transport des données sur Internet n'est pas du tout sécurisé et la qualité de celles-ci peut de fois être douteuse car, des personnes (hackers) mal intentionnées peuvent toutefois modifier ou changer la destination des informations.

Au début, les fibres optiques étaient essentiellement utilisées pour des liaisons poste à poste sur de longues distances, au fur et à mesure, elles deviennent beaucoup plus utilisées dans les entreprises, les bâtiments ainsi que dans les maisons, mais le passage des connections existantes classiques vers les fibres optiques, a entraîné la nécessité de remplacer plusieurs composants électroniques tel que les composants de routage, les émetteurs et les filtres par des composants photoniques [4].

L'idée d'utiliser des systèmes de communications optiques au lieu des systèmes de communications classiques à base d'électrons offre d'excellents avantages tels que : la rapidité de traitement de l'information, l'importance de la vitesse de propagation, la diminution rapport signal/bruit, et le débit binaire élevé. Le développement croissant des performances en matière de transmission de l'information entraîne toujours plus d'exigences sur le plan de support de propagation des données. L'utilisation de la fibre optique comme un support de transmission étaient largement répandu grâce au concept de confinement de la lumière [7].

Dans un contexte où les entreprises, institutions et organisations étendent de plus en plus leurs infrastructures sur plusieurs sites géographiquement dispersés, la nécessité d'une interconnexion fiable, rapide et sécurisée devient cruciale. Or, les technologies traditionnelles de communication (cuivre, liaisons radio, etc.) montrent des limites en matière de bande passante, de latence et de stabilité.

Face à ces défis, la technologie FTTx (Fiber To The x) apparaît comme une solution prometteuse, mais sa mise en œuvre soulève encore des questions quant à sa faisabilité, son coût, son adaptabilité aux environnements locaux et sa rentabilité à long terme [3].

De ce fait, pour mieux circonscrire le contour du problème dans notre étude, nous avons agencé le questionnaire suivant :

- Dans quelle mesure la technologie FTTx peut-elle répondre efficacement aux besoins d'interconnexion des sites distants, tout en assurant performance, fiabilité et accessibilité ?

- Et quels sont les facteurs techniques, économiques et environnementaux à prendre en compte pour garantir une mise en œuvre optimale de cette technologie ?

La technologie FTTx (Fiber To The x) offre une réponse efficace aux besoins d'interconnexion des sites distants grâce à sa capacité à fournir une large bande passante, une faible latence et une haute fiabilité. Contrairement aux technologies basées sur le cuivre ou les liaisons radio, la fibre optique permet une transmission stable et rapide sur de longues distances, sans perte significative de signal.

En termes de performance, FTTx permet des débits pouvant atteindre plusieurs gigabits par seconde, ce qui est crucial pour les échanges de données massifs entre sites (centres de données, agences distantes, établissements universitaires, etc.).

Du point de vue de la fiabilité, la fibre optique est moins sensible aux interférences électromagnétiques, aux intempéries et aux coupures, ce qui garantit une meilleure continuité de service. Quant à l'accessibilité, bien que le coût initial d'installation reste élevé (travaux de génie civil, équipements actifs et passifs), les coûts de maintenance sont réduits, et plusieurs opérateurs proposent désormais des solutions mutualisées ou subventionnées pour en faciliter l'accès, y compris dans les zones moins denses.

Pour garantir une mise en œuvre optimale de la technologie FTTx, plusieurs facteurs techniques, économiques et environnementaux doivent être pris en compte :

1. Facteurs techniques :

- Topologie du réseau : choix entre point-à-point, arbre GPON, ou autres architectures selon les besoins.
- Qualité des équipements : sélection de câbles à fibres optiques, boîtiers d'épissure, OLT/ONT fiables et adaptés.
- Compétence technique : disponibilité de techniciens qualifiés pour l'installation, la soudure et la maintenance de la fibre.
- Infrastructure existante : possibilité d'utiliser les conduits ou poteaux déjà présents pour réduire les coûts.
- Distance et dispersion : contrôle de la perte de signal sur de longues distances (nécessité d'amplificateurs ou répéteurs).

2. Facteurs économiques :

- Coût d'investissement initial : travaux de génie civil, achat d'équipements, frais de raccordement.
- Modèle économique : mutualisation de l'infrastructure, financement public-privé, ou subventions pour zones rurales.
- Rentabilité : prévision de retour sur investissement selon le nombre d'abonnés ou d'utilisateurs interconnectés.
- Maintenance : coût et fréquence des interventions pour assurer la continuité du service.

3. Facteurs environnementaux :

- Impact écologique : minimiser les perturbations lors du creusement des tranchées ou de la pose aérienne.
- Conditions géographiques : zones inondables, sols rocheux ou urbains denses, qui influencent le mode de déploiement.
- Résilience climatique : choix de matériaux résistants à la chaleur, l'humidité ou aux chocs pour une durabilité accrue.

Cette recherche a pour objectifs :

- Analyser la contribution de la technologie FTTx dans l'amélioration de l'interconnexion entre sites distants, en termes de performance, fiabilité, évolutivité et accessibilité.
- Identifier les besoins techniques et fonctionnels liés à l'interconnexion des sites distants.
- Étudier les différentes variantes de la technologie FTTx (FTTH, FTTB, FTTC, etc.) et leurs applications concrètes.
- Évaluer les performances (bande passante, latence, stabilité) offertes par FTTx par rapport à d'autres technologies (Wi-Fi, VSAT, DSL...).
- Identifier les facteurs limitants (coût, infrastructure, compétences techniques) à la mise en œuvre de FTTx.
- Proposer des recommandations pour une adoption optimale de la technologie FTTx dans les contextes similaires (public ou privé).

2. Matériels et Méthodes

2.1. Matériels

Un jeu de donnée élaborer avec le logiciel Survey Solution servant d'instrument de collecte des données en temps réel et en comptant les données avec le GPRS pour plus des véracité, dans le cadre d'une étude qualitative

2.2. Méthodes

Pour l'élaboration de cette recherche nous avons recouru aux méthodes suivantes :

La méthode descriptive dans l'optique où la recherche est plus qualitative circonscrit dans un cadre bien précis tout en traitant les données pour afin fournir des solutions précises (Patrick, 2018)

. La méthode analytique : cette démarche nous a permis de faire une circonscription clairement notre sujet en rapport avec des documents y afférant tels que les articles scientifiques, les livres, mémoires etc. La méthode comparative : elle nous a été très utile dans l'évaluation des diverses méthodes scientifiques et cartésiens pour afin dégager les mieux possibles pour notre recherche, dans l'étude des logiciels et matériels pour afin choisir quoi utiliser pour la matérialisation de notre recherche.

Ces méthodes étaient complétées par les techniques ci-après :

Documentaires qui nous a été très utilisés dans la collecte des certains contenue dans des livres, articles, mémoires etc.,

D'entretien : elle nous a permis de mener des interviews auprès des spécialistes en télécommunication et en réseau informatique pour évaluer l'apport de la technologie FTTx dans l'interconnexion des sites distants

Questionnaire : elle a été très utile car elle était le matériel essentiel de la collecte des données, élaboré selon les critères et pour mieux rencontrer l'objectivité de l'étude.

D'observation : elle nous a aidés dans le sens où nous avons observé, inspecté, les spécialistes en télécommunications et en réseau informatique dans l'utilisation de la technologie FTTx.

3. La technologie FTTx

3.1. Qu'est-ce que la technologie FTTx ?

FTTx signifie Fiber To The x, où "x" désigne le point d'arrivée de la fibre :

- FTTH (Home) : jusqu'au domicile.
- FTTO (Office) : jusqu'au bureau.
- FTTB (Building) : jusqu'à un immeuble.
- FTTC (Curb) : jusqu'au trottoir.

Les architectures FTTx peuvent être de type PON (réseau passif optique) ou point-à-point, avec des équipements comme l'OLT (Optical Line Terminal) au central, et l'ONT (Optical Network Terminal) chez l'abonné [9].

3.2. Avantages pour l'interconnexion des sites distants

- Haut débit garanti (symétrique ou asymétrique) : jusqu'à 1 Gbps et plus.
- Faible latence : idéale pour les applications critiques (visioconférence, VoIP, cloud...).
- Stabilité et fiabilité : insensibilité aux perturbations électromagnétiques.
- Sécurité accrue : plus difficile à intercepter que les connexions cuivre ou sans fil.
- Évolutivité : la fibre est prête pour les futurs besoins.

3.3. Intégration dans une architecture multisite

Dans un réseau d'entreprise avec plusieurs sites (siège + succursales), la FTTx peut être combinée avec :

- VPN IPsec pour la sécurité.
- MPLS ou SD-WAN pour la performance et la gestion du trafic.
- QoS pour prioriser certaines applications.

Exemple : une banque reliant son siège à plusieurs agences peut garantir une connexion sécurisée, stable et rapide via la fibre FTTO ou FTTH selon les sites.

3.4. Limites et défis

1. Coût élevé de déploiement

- L'installation de la fibre optique, surtout en FTTH, nécessite de gros investissements en infrastructures, matériaux et main-d'œuvre.

- Les zones rurales ou peu denses sont souvent moins rentables, ce qui ralentit le déploiement.

2. Contraintes techniques

- Nécessité de tranchées, tirage de câbles, et parfois de travaux lourds en milieu urbain.
- Problèmes d'intégration avec les réseaux existants (cuivre ou coaxial).

3. Maintenance spécialisée

- La fibre optique est fragile et nécessite du personnel formé pour l'installation et les réparations.
- Les équipements actifs (convertisseurs optiques, ONT) doivent être bien gérés.

4. Dépendance énergétique

- Certains points du réseau (nœuds, boîtiers) nécessitent une alimentation électrique constante.

5. Facteurs réglementaires et environnementaux

- Nécessité d'autorisations administratives.
- Impact sur l'environnement lors des travaux (pollution sonore, perturbation du sol).

6. Accessibilité limitée

- Dans certains pays ou régions, l'accès à FTTx reste limité à cause du manque d'investissement ou de priorités politiques différentes.

Etude de cas

Dans cette partie, nous allons concevoir et simuler une architecture en réseau d'accès à très haut débit basé sur la technologie FTTB ci-après : « Simulation d'interconnexion par fibre optique des différents sites de la DGDA Kinshasa » :

1. Présentation de l'architecture physique

a) Présentation du cahier de besoins matériels

Pour ce projet, le cahier de besoins matériels est repris dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Cahier de besoins matériels

N°	Matériels	Type	Quantité	P. U (\$)	Prix total (\$)
	Equipements hardware				
1	Routeur	Cisco 2811	4	2 500	10 000
2	Switch cœur	Cisco 2960	1	2 000	2 000

3	Switch d'accès	Cisco 2960	4	906,2	3 624,8
4	Ordinateur fixe	HP	142	500	71 000
	Ordinateur portale	HP	12	500	6 000
5	Serveur esclave		4	1229,8	4 919,2
	Serveur central		1	3600	3 600
6	Point d'Accès	Cisco	1	250	250
	Imprimante	HP Laser Jet	100	450	45 000
	Câbles UTP		50 rouleaux	80	4 000
	Sous total				150 394
	Logiciels				
7	Système d'exploitation (serveur)	Windows serveur intégral 2019 R2	4	210	840
8	Système d'exploitation (client)	Windows10 professionnel	50	190	9 500
9	Microsoft Office 2019		50	346.55	17 327,5
10	Antivirus Kaspersky		154	40	6 160
	Sous total				33 827,5
	Divers				18 422,15
	Total matériels				184 221,5
	Main d'œuvre				46 055,38
	Total général				248 699

(Source : l'analyse sur base des recherches menées)

Le coût global de réalisation du projet est obtenu en faisant la sommation de rubriques suivantes :

- Montant du coût de réalisation des tâches du projet estimé à 8550 USD ;
- Montant du cahier de besoins matériels, estimé à 184 221,5 USD ;
- Divers, évalués à 10 pourcent qui vaut à 18 422,15 USD ;
- Main d'œuvres évaluée à 25 pourcent, ce qui représente un montant de 46 055,38 USD ;

Ce qui donne en somme un montant de 248 699 USD

b) Principe fonctionnel de l'architecture simulé

La DGDA dispose des plusieurs Directions Provinciales pour ce qui est de ce travail nous proposons une architecture réseau interconnectant la Direction Générale avec les deux Directions provinciales de Kinshasa, à savoir :

- La Direction Provinciale Kin-Aéro ;
- La Direction Provinciale Kin Ville.

Signalons que chaque site à son réseau local. Pour leur interconnexion, jusqu'à présent il n'utilise pas la fibre optique malgré ces multiples avantages. D'où l'originalité de notre proposition tendant à utiliser la fibre optique en passant par l'opérateur SCPT.

- Un petit serveur pour le stockage de données au niveau local ;
- Un routeur pour assurer l'interconnexion entre les sites distants ;
- Un commutateur mangeable pour les différents VLAN ;
- Les ordinateurs symbolisant les différents sous-réseaux ;

En local, tous ces équipements en réseau sont reliés entre eux par les câbles en paires torsadées UTP. C'est la topologie en étoile qu'on a utilisée pour chaque LAN au niveau des sites. Tandis qu'en interconnexion avec les sites distants, c'est la fibre optique monomode qui est utilisée. C'est au niveau de la Direction Générale où nous avons placé le serveur central du réseau métropolitain conçu.

c) architecture réseau

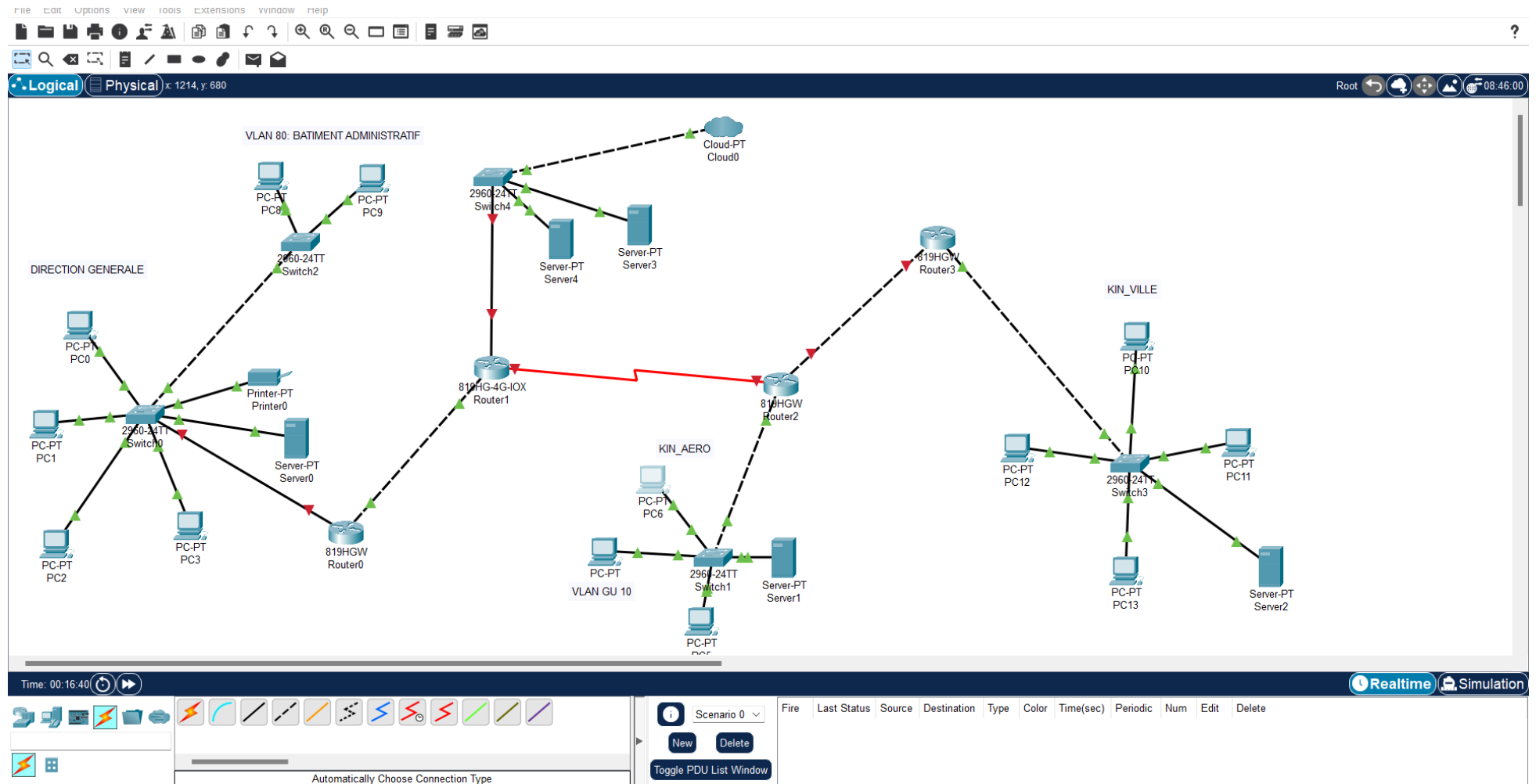


Figure 2 : Architecture réseau proposé (Source : Nous-même)

d) Plan d'adressage

Le tableau ci-dessous donne le plan d'adressage du réseau en se focalisant sur :

- Les noms des VLAN ;
- Les adresses de chaque réseau ;
- La notation CIDR ;
- Le masque de sous réseau ;
- Les plages d'hôtes et le nombre d'hôtes.

Tableau 2 : Plan d'adressage

Nom	Réseaux	Notation CIDR	Masque de sous-réseaux	Plage d'hôtes	Nombre d'hôtes
KIN-AEROPORT					
Vlan 10 : Guichet unique	192.168.4.0	/24	255.255.255.0	192.168.4.1-192.168.4.254	254
Vlan 20 : HRS	192.160.0.0	/24	255.255.255.0	192.160.0.1-192.160.0.254	254
Vlan 30 : Adm Kin-Aero	192.150.0.0	/24	255.255.255.0	192.150.0.1-192.150.0.254	254
KIN-VILLE					
Vlan 40 : Adm Kin Ville	192.168.8.0	/24	255.255.255.0	192.168.8.1-192.168.8.254	254
Vlan 50 : Accises	193.168.10.0	/24	255.255.255.0	193.168.10.1-193.168.10.254	254

Vlan 60 : Statistiques	194.168.10.0	/24	255.255.255.0	194.168.10.1-194.168.10.254	254
Direction Général	192.168.1.0	/24	255.255.255.0	192.168.1.1-192.168.1.254	254

© GSJ

e) Affectation des ports aux VLAN

L'affectation des ports au commutateur ainsi que celle des ports d'agrégation pour transporter les informations de différents vlan sont repris ci-dessous dans le tableau.

Tableau 3: Affectation des ports aux VLAN

Ordinateurs	Ports	VLAN
Guichet unique	f0/2	10
HRS	f0/3	20
Adm Kin-Aero	f0/4	30
Adm Kin Ville	f0/2	40
Accises	f0/3	50
Statistiques	f0/4	60
G.U	f0/9, f0/11 et f0/13	70
B.adm	f0/2, f0/14 et f0/15	80

Remerciements

Nos sentiments de gratitude aux professeurs Marcher Luendu, Lema Nkualu, Kisoki Mbunga ainsi que le Département de Physique et des Sciences Appliquées de l'UPN pour leurs orientations et précieux conseils lors de la rédaction de cet article, nous exprimons de plus notre gratitude au Centre des Recherches sur l'Enseignement de la Mathématique pour sa contribution scientifique dans la réalisation de cette étude.

Financement

Cette recherche n'a bénéficié d'aucun financement particulier de la part d'une institution tant public que privé, d'aucun centre de recherche et d'aucune entreprise. Cette étude a vu le jour sur fond propre des auteurs.

Considération d'éthique

Cette étude a été conduite dans le strict respect des principes. Le consentement libre et éclairé de chaque participant a été obtenu avant la collecte des données. L'anonymat et la confidentialité des réponses ont été garantis. Aucune pression n'a été exercée, les participants avaient la liberté de se retirer à tout moment. Les données ont été utilisées uniquement à des fins scientifiques sans manipulation ni modification.

Conflit d'intérêt

Aucun conflit d'intérêt n'est déclaré par les auteurs.

Contribution des auteurs

LND a conçu et supervisé l'étude, rédigé le manuscrit principal et validé la version finale.

N.C a conçu et supervisé l'étude, rédigé le manuscrit principal et validé la version finale.

M.K.G a contribué à l'interprétation des résultats et à la relecture critique du manuscrit.

C.M.M à validé les données, contribué à l'élaboration des architectures et l'approbation finale.

N.M a participé à la collecte des données et à la configuration des sites.

M.K.C. a participé à la rédaction et à l'adressage.

K.W.P a participé à la collecte des données et adressage.

I.N a participé à l'adressage et à la configuration du réseau.

M.B a participé à l'adressage et à la configuration du réseau.

K.M a participé à l'adressage et à la configuration du réseau.

ORCID des auteurs

Ngoie-caleb : <https://orcid.org/0009-0001-9042-1508>.

Mfuana Kwanda : <https://orcid.org/0009-0001-1038-6467>.

Mwamba Mpoyi : <https://orcid.org/0009-0009-9115-1157>.

Mulanda Kwamba : <https://orcid.org/0009-0006-2674-8254>.

Koka Mavinga : <https://orcid.org/0009-0009-0198-0919>.

Koka Walendua : <https://orcid.org/0009-0006-4319-0491>.

Références bibliographiques

AURELIEN R. (2011). *Configurez routeurs et commutateurs : Exercices et corrigés* : 3^{ème} édition. Edition Eni. Paris.

BRENT S. (2017). *CCNP Building Cisco Scalable Inter Networks Official Study Guide*. Edition Cisco press.

CLERMANT F. (2018). *Ingénierie des Systèmes d'Information*. Edition Eyrolles. Paris.

COMER D. (2013). *TCP/IP architecture, protocoles, applications: 4 ème Edition*. Edition Dunod, Paris.

DROMARD D et SERET D. (2010). *Architecture des réseaux : 2ème édition*. Edition Pearson Education, Paris.

KIBAMBE B. (2020). *Méthodologie de conduite des projets en science et technologie*, Edition CRIDUPN. Kinshasa.

SEVERIN C. (2021). *Réseaux et télécoms*. Edition Dunod. Paris.

VAUCMPS A. (2014). *Protocoles et concepts de routage : configuration avancée des routeurs*. Edition Eni. Paris.

[http:// www.Cisco-packet.com/fr](http://www.Cisco-packet.com/fr). Consulté le 18/08/2025 à 20h05’.

<http://www.Wikipédia.org/Architecture de réseau.html>. Consulté le 23/10/2025 à 15h09’.

<http://www.Wikipédia.org/Architecture de réseau/FDDI.html>. Consulté le 13/11/2025 à 15h09’.

http://www.Wikipédia.org/Technologie_FTTH.html. Consulté le 12/11/2025 à 11h35’.

http://www.Wikipédia.org/Réseau_haut_debit.html. Consulté le 23/12/2025 à 12h30’.

