
Introduction	1
 Chapitre 1: TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE	
1.1. Les Réseaux Optiques	2
a. Réseau tout optique	2
b. Réseau non tout optique.....	2
1.2 Transmission Par Fibre Optique.....	3
a. Propagation dans la fibre optique.....	3
b. Présentation générale des fibres optiques	6
c. Système de communication par fibre optique	16
 Chapitre2: LA CONCEPTION ET L'INFRASTRUCTURE DU RESEAU	
2.1. L'infrastructure du Réseau.....	18
a. Situation actuelle.	18
b. Regroupements des besoins de conception.....	21
2.2. L'architecture du Réseau.....	22
a. Architecture physique	22
b. Les équipements actifs.....	25
2.3. Infrastructure de l'installation	27
a. Cheminement et circulation des câbles	27
b. Choix des câbles et des raccordements	34
c. Condition de pose des câbles	34
d. Budget de puissance (analyse de perte de puissance).....	35
e. Local technique et équipements	36

Chapitre 3: DESCRIPTION DU PROJET D'INSTALLATION

3.1. Les étapes d'un projet.....	38
3.2. Le Cout de la réalisation.....	39
a. Bureau d'étude.....	39
b. Maintenance.....	43
3.3. Coût global.....	43
Conclusion	45
Annexe 1	46
Références	47



Liste des figures

Figure 1.1 : Systèmes optiques	3
Figure 1.2 : Propagation du signal dans une fibre optique	4
Figure 1.3 : Lois de Descartes.....	4
Figure 1.4 : Ouverture numérique d'une fibre optique	5
Figure 1.5 : Structure d'une fibre optique	7
Figure 1.6 : Fibre multimode à saut d'indice	8
Figure 1.7 : Fibre multimode à gradient d'indice	9
Figure 1.8 : Fibre monomode.....	10
Figure 1.9 : Diamètres de cœur différents	12
Figure 1.10 : Excentrement des fibres	13
Figure 1.11 : Ecartement de faces	13
Figure 1.12 : Ecart angulaire.....	14
Figure 1.13 : Défauts de connexion.	14
Figure 1.14 : Système de communication par fibre optique	16
Figure 2.1 : Carte du Campus	20
Figure 2.2 : Schéma physique de l'infrastructure de liaison.....	23
Figure 2.3 : Raccordement physique des équipements.....	24
Figure 2.4 : Positionnement du routeur.....	25
Figure 2.5 : Commutateur ou Switch.....	26
Figure 2.6 : Fonctionnement d'un Convertisseur de Media	26
Figure 2.7 : schéma bloc du déploiement des câbles	28
Figure 2.8 : Chemins des câbles	30
Figure 2.9 : Canalisation	32
Figure 2.10 : chambre de tirage en trois dimensions	33
Figure 2.11 : câble avec protection	34
Figure 2.12 : Répartiteur de type « baie ».....	36
Figure 3.1 : Les étapes d'un projet.....	36

Liste des tableaux

Tableau 1: les fibres multimodes 50/125 μm et 62.5/125 μm	15
Tableau 2: la fibre monomode 9/125 μm	15
Tableau 3: Distance physique entre les départements	19
Tableau 4: distances et câbles utilisées.....	31
Tableau 5: Perte de puissance de la fibre.....	35
Tableau 6 : Coûts des équipements	40
Tableau 7 : Coût de la mise en place du câblage.....	41
Tableau 8 : Durée de la réalisation du projet.....	42
Tableau 9 : Activités et tâches professionnelles	43
Tableau 10 : Coût global du projet	44

ATM	Asynchronous Transfer Mode
AUI	Attachment Unit Interface
BTP	Bâtiments et Travaux Public
BU	Bibliothèque Universitaire
CAN	Campus Area Network
CI	Centre Informatique
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access Collision Detect
Cyber	Cybercafé
EN	Electronique
ESPA	Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
GC	Génie Chimique
GI	Génie Industriel
GMII	Gigabit Media Independent Interface
HYDR	Hydraulique
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGF	Information Géographique et Foncier
IP	Internet Protocol
ISO	International Standards Organisation
LAN	Local Area Network
LD	Laser Diodes
LED	Light Emitting Diode
MAN	Metropolitan Area Network
MAC	Media Access Control
MAU	Media Attachment Unit
METEO	Meteorologie
MTU	Maximum Transfer Unit
MII	Media Independent Interface
OSI	Open System Interconnection
PCS	Physical Coding Sublayer

PDF	Portable Document Format
PLS	Physical Layer Signaling
PMA	Physical Medium Attachment
PMD	Physical Medium Dependant
SCOL	Scolarité
SMM	Sciences des Matériaux et Métallurgie
TAN	Tiny Area Network
TCO	Telecommunications
TCP/IP	Transfer Control Protocol/Internet Protocol
STP	Shielded Twisted Pair
VCSEL	Vertical Cavity Surface Emitting Lasers
WAN	Wide Area Network
WIFI	Wireless Fidelity
<i>d</i>	diamètre du cœur de la fibre
<i>dB</i>	décibel
<i>km</i>	kilomètre
<i>log</i>	logarithme népérien
<i>m</i>	nombre de modes
<i>n₀</i>	indice de réfraction de l'air
<i>n₁</i>	indice de réfraction du cœur
<i>n₂</i>	indice de réfraction de la gaine
<i>nm</i>	nanomètre
<i>ps/km</i>	picoseconde/kilomètre
<i>A[dB]</i>	atténuation en décibel
<i>ON</i>	Ouverture Numérique
<i>Hz</i>	hertz
<i>Gbps</i>	gigabit par seconde
<i>Mb</i>	mégabit
<i>Mbps</i>	mégabit par seconde

Les systèmes numériques les plus rapides transmettaient l'information à un débit de 10 Mbits/s, le câble coaxial était parfaitement adapté à même de remplir son rôle de support de transmission. Mais avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia, un besoin d'un débit de transmission d'informations plus élevé, et une alternative au câble coaxial sont apparus à cause des pertes trop élevées, des courtes distances de propagation, et des performances limitées. La fibre optique remplit très bien ce nouveau rôle de support de transmission. Son utilisation est désormais courante dans les réseaux de télécommunications.

Cette situation conduit à proposer la conception d'un réseau fibre optique au sein de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Vontovorona. Un réseau s'adapte au mode de communication et administration modernes, un réseau évolutif et à long terme. La réalisation de ce réseau contribue à améliorer la formation pédagogique au niveau de l'école. En effet, avec une connexion Internet à vitesse élevée, l'acquisition rapide des informations par l'intermédiaire de ce réseau sera améliorée.

Le présent mémoire s'intitule « *Conception et installation d'un réseau fibre optique au campus universitaire de Vontovorona* » et comporte trois grands chapitres. Le premier chapitre décrit la transmission par fibre optique, ainsi que les diverses techniques de l'utilisation. Cette description est destinée à comprendre la constitution d'une liaison fibre optique. Le deuxième chapitre détaille la conception du réseau et l'infrastructure utilisée. Le troisième représente l'évaluation des coûts globaux du projet.

Chapitre 1:

**TRANSMISSION
PAR FIBRE OPTIQUE**

Ce présent chapitre se focalise sur la partie technique de l'exposé. Il permet de comprendre les éléments de base des réseaux informatiques. Plus précisément, il concerne le choix de la fibre optique pour des transmissions à grande distance, et de prendre en connaissance la structure générale des systèmes de transmission par fibres optiques.

1.1. LES RESEAUX OPTIQUES

Les réseaux optiques permettent de transporter des signaux sous forme optique et non électrique dans les réseaux classiques. Les avantages de l'optique sont nombreux et seront développés plus loin dans ce chapitre. Les réseaux optiques peuvent être classés en deux catégories : le réseau tout optique, et le réseau non tout optique.

a. Réseau tout optique (ou réseau transparent)

Ce type de réseau n'intègre que des équipements optiques, c'est-à-dire que dans la chaîne de transmission, la conversion optique-électrique n'a pas lieu. La lumière est routée sous sa forme originale et ne subira pas de conversion optique-électrique jusqu'à la destination. Un réseau tout optique ne possède pas de mémoire pour stocker des paquets. Ce type de réseau coûte très cher.

b. Réseau non tout optique

Les réseaux optiques actuels (ne fonctionnant pas en mode tout optique) convertissent et traitent les paquets optiques en électronique, ensuite les gardent pendant le temps nécessaire pour obtenir la ligne demandée. Ce type de réseau est moins cher car les équipements utilisés, électroniques, existent depuis plusieurs années. La figure 1.1 représente les systèmes optiques [1].

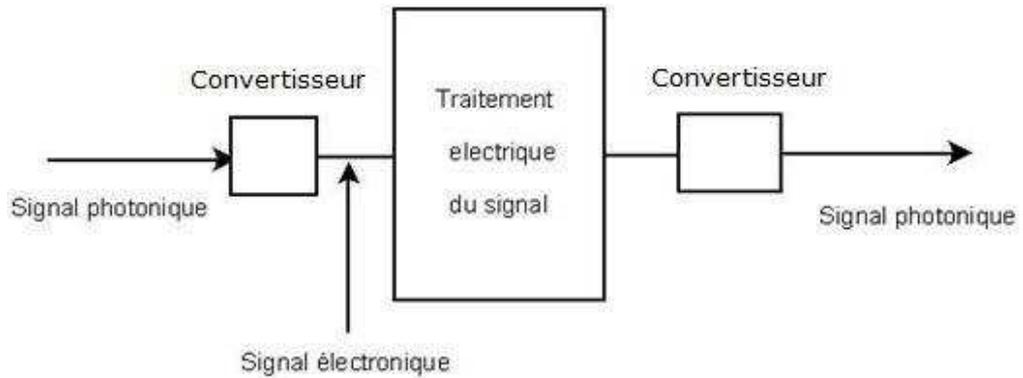


Figure 1.1 : Systèmes optiques

1.2. TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE

a. Propagation dans la fibre optique

(i). Propagation d'onde lumineuse

Lorsqu'un faisceau lumineux heurte obliquement la surface qui sépare deux milieux plus ou moins transparents, il se divise en deux : une partie est réfléchiée tandis que l'autre est réfractée. L'indice de réfraction, grandeur caractéristique des propriétés optiques d'un milieu, est le rapport entre la vitesse de la lumière c dans le vide ($C_v=299\ 792\ \text{Km/s}$) et celle de l'onde dans le milieu considéré. Plus l'indice est grand, plus la lumière s'y déplace lente.

La propagation du signal optique est basée sur la loi de Descartes. 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 (Fig. 1.2). Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique, en empruntant un parcours en zigzag [2].

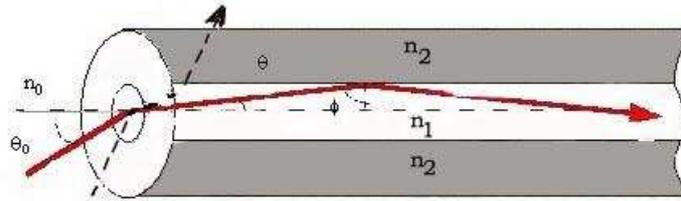


Figure 1.2 : Propagation du signal dans une fibre optique

(ii).Lois de Descartes

- Les trois rayons (incident, réfléchi et réfracté) sont dans le même plan (plan d'incidence).
- L'angle d'incidence i_1 et l'angle de réfraction i_2 sont liés par la relation :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \tag{1.1}$$

avec n_1 et n_2 sont les indices des deux milieux.

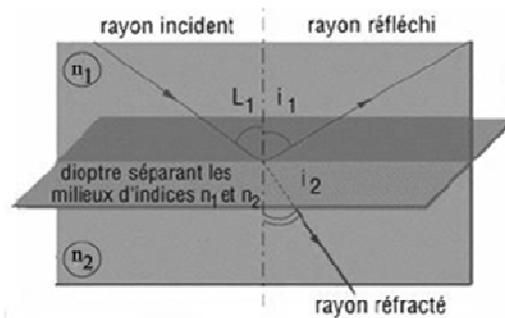


Figure 1.3 : Lois de Descartes

(iii). Angle limite

Si $n_1 > n_2$, il est théoriquement possible d'avoir $i_1 = \frac{\pi}{2}$. Dans ce cas il n'y a pas réfraction mais réflexion totale. On notera i_{iL} l'angle d'incidence correspondant à $i_2 = \frac{\pi}{2}$.

La loi de Descartes devient alors:

$$n_1 \sin(i_{iL}) = n_2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = n_2 \quad (1.2)$$

d'où
$$i_{iL} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1.3)$$

(iv). Principe de l'ouverture numérique (ON)

Pour qu'un rayon lumineux arrive à la sortie de la fibre, il doit subir plusieurs réflexions tout au long de la fibre. Or à chaque réflexion une partie de la lumière est réfractée et donc absorbée par la gaine. Le rayon finit alors par être complètement atténué (Fig.1.4). Cependant il est possible de choisir l'angle d'incidence pour qu'il n'y ait pas de réfraction soit $i_i > i_{iL}$. La lumière injectée en entrée arrivera donc en sortie sans aucune atténuation. On définit alors l'ouverture numérique d'une fibre optique en fonction de l'angle d'incidence limite i_{iL} qui permet d'assurer une transmission sans pertes théoriques [2].

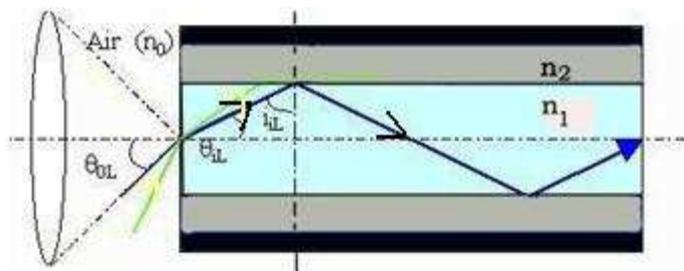


Figure 1.4 : Ouverture numérique d'une fibre optique

Les rayons lumineux à l'intérieur de la fibre attaquent l'interface cœur/gaine à des angles différents. Ceux qui ont un angle supérieur à l'angle limite i_{iL} sont transmis dans le cœur par réflexion totale ; les autres se réfractent dans la gaine et sont rapidement atténués.

Soit n_1 l'indice de réfraction du cœur, n_2 celui de la gaine et n_0 celui de l'air ($n_0=1$).

On cherche l'angle incident θ_{0L} à l'entrée de la fibre, correspondant à l'angle limite i_{iL} .

D'après la loi de Descartes on a :

$$n_0 \sin(\theta_0) = n_1 \sin(\theta_1) \quad (1.4)$$

Avec $\theta_1 = \frac{\pi}{2} - i_{iL}$ et $n_0 = 1$

Soit:

$$\sin(\theta_{0L}) = n_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - i_{iL}\right) = n_1 \cos(i_{iL}) = n_1 \sqrt{1 - \sin^2(i_{iL})} \quad (1.5)$$

Or $i_{iL} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \Rightarrow \sin(\theta_{0L}) = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \quad (1.6)$

On définit alors l'ouverture numérique (ON) d'une fibre par:

$$ON = \sin(\theta_{0L}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (17)$$

b. Présentation générale des fibres optiques

Depuis son introduction dans les systèmes de transmission dans les années 70, la fibre optique est devenue le support privilégié de transport de l'information à débits élevés sur de grandes distances. Les fibres optiques sont de plus en plus utilisées grâce à leurs propriétés exceptionnelles et particulièrement une bande passante très élevée et une atténuation très faible. L'utilisation de ce type de support pour la transmission d'information sous-entend que le signal transporté est une onde lumineuse. La fibre optique est constituée d'un cylindre de verre ou de plastique très mince (appelé cœur) entouré du même matériau (dénommé gaine) mais présentant un indice de réfraction plus faible. Le tout est protégé par une enveloppe extérieure [5]. La figure 1.5 représente la structure d'une fibre optique.

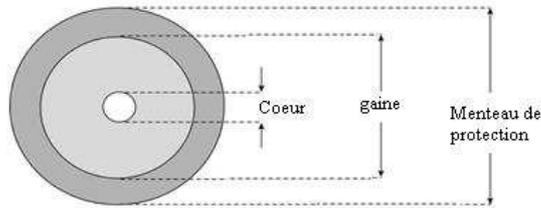


Figure 1.5 : Structure d'une fibre optique

Elle peut être utilisée pour conduire la lumière entre deux lieux distants de plusieurs centaines, voire milliers, de kilomètres. Le signal lumineux codé par une variation d'intensité est capable de transmettre une grande quantité d'informations. En permettant les communications très longue distance et à des débits jusqu'alors impossibles, les fibres optiques ont constitués l'un des éléments clef de la révolution des télécommunications [3].

(i). Les différents types de fibre Optique

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon leurs caractéristiques, la longueur d'onde utilisée et les modes de propagation de la lumière: les fibres multimodes, et les fibres monomodes.

– Les fibres optiques multimodes

Les fibres multimodes ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristiques de transporter plusieurs modes (trajets lumineux) simultanément. Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal. En conséquence, elles restent utilisées uniquement pour des bas débits et 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.

Parmi les fibres multimodes, on distingue les fibres à faible indice ou saut d'indice (débit limité à 50 Mbps) et les fibres à gradient d'indice (débit limité à 1 Gbps). Les longueurs d'onde les plus utilisées sont 850nm et 1300 nm [4].

Les modes étant l'expression de différents chemins optiques que peut suivre le signal dans la fibre. Pour ce type de fibre le nombre de mode m est donné par :

$$m = \frac{v^2}{2} \quad (1.8)$$

v : Fréquence

La fibre multimode à saut d'indice possède une région du cœur uniformément large comparé à la gaine et qui représente près de 96% du diamètre total de la fibre (Fig. 1.6). Le cœur est composé de verre (SiO_2) dopé. Elle est le support privilégié pour des applications des réseaux informatiques courte distance, sa bande passante est alors limitée. Le faisceau laser se propage en ligne droite et se réfléchit sur les parois de la gaine qui a un indice de réfraction inférieur au cœur.

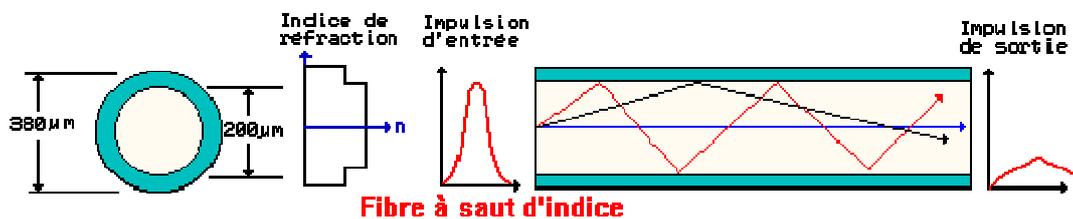


Figure 1.6 : Fibre multimode à saut d'indice

La fibre à gradient d'indice dont le cœur est constituée de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche. La variation de cet indice de réfraction cœur/gaine présente une courbe parabolique avec un maximum au niveau de l'axe (Fig. 1.7). Les rayons lumineux suivent un parcours sinusoïdal. La bande passante est comprise entre 600 et 3000 MHz/km. Les diamètres les plus fréquents sont 62.5 μm et 50 μm . Ce type de fibre est le plus utilisé pour les moyennes distances. Un des avantages est que la dispersion modale est diminuée avec cette fibre. Il y a donc une meilleure réception du signal.

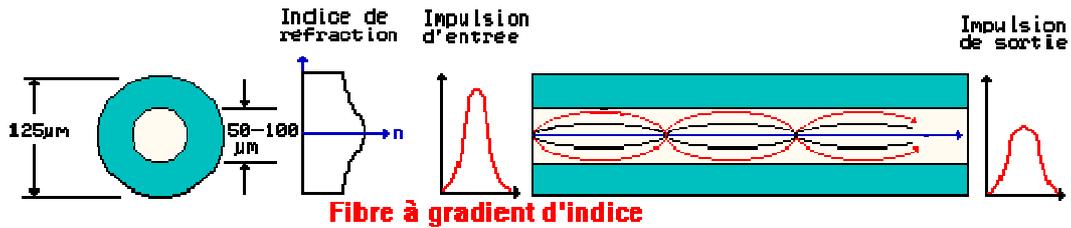


Figure 1.7 : Fibre multimode à gradient d'indice

– Les fibres optiques monomodes

Dans une fibre monomode, le cœur est très fin, ce qui permet une propagation du faisceau laser presque en ligne droite (Fig. 1.8). De cette façon, elle offre peu de dispersion du signal et celle-ci peut être considérée comme nulle. La bande passante est presque infinie, supérieure à 10 GHz/km avec une longueur d'onde de coupure 1.2 μm. Le diamètre du cœur (9 μm) et l'ouverture numérique sont si faibles que les rayons lumineux se propagent parallèlement avec des temps de parcours égaux. Ce type de fibre est surtout utilisé en liaison longue distance. Le petit diamètre du cœur des fibres nécessite une grande puissance d'émission qui est délivrée par des diodes laser. Les longueurs d'onde employées sont 1310, 1550 et 1625 nm [3] [4].

Une formule expérimentale donne le nombre de modes dans une fibre monomode

$$m = \frac{2d}{\lambda} ON \quad (1.9)$$

avec :

- d : diamètre du cœur de la fibre,
- λ : longueur d'onde de la lumière utilisée,
- ON : ouverture numérique de la fibre.

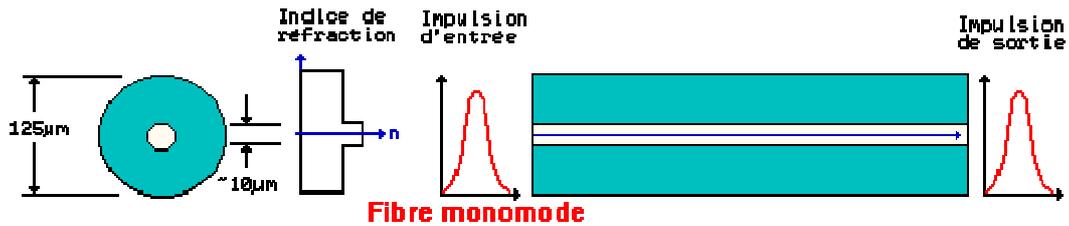


Figure 1.8 : Fibre monomode

(ii).Avantages des fibres optiques

La fibre optique est une des plus grandes avancées technologiques en matière de câblage puisqu'elle perd tous les désavantages des câbles électriques (puissance, impédances,...). Elle présente en termes de transmission une faible atténuation, une très grande bande passante et l'insensibilité aux perturbations électromagnétiques [5].

– Faible taux d'atténuation

Comparée aux autres supports de transmission existants, la fibre optique présente une atténuation faible et quasiment constante sur une énorme plage de fréquences, permettant ainsi d'envisager la transmission de débits numériques très importants. Pour des débits de 1 Gbps, l'impulsion lumineuse connaît un taux d'erreur considéré comme nul ($< 10^{-9}$ erreur/bit) jusqu'à 200 km. Ces atouts ont permis les réalisations des liaisons intercontinentales.

– Enorme Bande passante

La fibre optique est un media permettant de transférer des données numériques à très haut débit : vidéo, son, image.

Le principal pivot des communications optiques à haut débit est la bande passante qu'elles peuvent utiliser. Théoriquement, le nombre d'informations transmises par seconde ne peut accéder la fréquence de l'onde porteuse (soit au plus un bit par période de l'onde).

C'est pour cette raison que les signaux optiques sont très utiles, dont les fréquences vont de 10^{14} à 10^{15} Hz autorisant un débit d'information très élevé.

– **Insensibilité aux perturbations électromagnétiques**

La technologie optique est très utile dans des environnements difficiles et agressifs, riches en perturbations électromagnétiques comme les milieux industriels denses qui sont susceptibles de générer des erreurs de transmission sur des liaisons cuivre. La fibre optique est insensible aux perturbations et elle n'en produit pas (deux fils électriques placés côte à côte se perturbent mutuellement, ce qui n'est pas le cas avec des fibres optiques), ce qui assure une *diaphonie nulle* et une grande sécurité contre les intrusions.

De plus, elle ne peut provoquer d'étincelles (comme pourraient le faire des câbles électriques) et sa technologie ne faisant pas intervenir le métal, elle résiste à la corrosion.

(iii). Problèmes de transmission par fibre optique

Bien que très performante, la fibre optique subit plusieurs problèmes lors de la propagation du signal : les dispersions et les atténuations.

– **Les dispersions**

Lorsqu'une impulsion se propage en régime linéaire dans une fibre optique, elle subit un phénomène de dispersion qui se traduit par un étalement temporel. Plusieurs types de dispersion existent, contribuant tous à l'étalement de l'impulsion au cours de sa propagation dans le guide [5].

La dispersion intermodale est la cause principale de l'élargissement des impulsions dans les fibres optiques multimodes. Cet élargissement est provoqué par les différences de temps de parcours des rayons (ou des modes). La dispersion intermodale est l'élargissement temporel maximum d'une impulsion par unité de longueur de fibre. L'obtention d'une dispersion intermodale réduite se fait en utilisant une fibre à gradient d'indice. Dans le cas d'une fibre optique monomode, cette dispersion est nulle et ne sera donc pas prise en compte.

Quand à *la dispersion chromatique*, qui est la cause principale de l'élargissement des impulsions dans les fibres optiques monomodes dont le profil est à symétrie de révolution. Deux effets physiques contribuent à la variation de l'indice de groupe avec la longueur

d'onde, d'une part la dépendance de l'indice de la silice avec la longueur d'onde (dispersion du matériau) et d'autre part, le fait que, à profil d'indice fixé, l'indice effectif du mode fondamental dépend des dimensions du guide par rapport à la longueur d'onde (dispersion du guide)[2][5].

– *Les atténuations*

L'atténuation par connexion, le couplage source-fibre ou fibre-détecteur est l'un des éléments essentiels de la liaison par fibre optique, celui-ci est effectué par des connecteurs d'extrémités. Cette liaison nécessite aussi le raccordement des fibres entre elles d'une manière démontable (connecteurs fibre à fibre) ou permanent (épissurage). Toute interconnexion doit causer le minimum de pertes [6].

L'atténuation intrinsèque est le résultat de l'assemblage de deux fibres optiques de caractéristiques opto-géométriques différentes.

Diamètres de cœur différents

Si l'on suppose que l'énergie est répartie de manière homogène dans les fibres, L'affaiblissement dans le sens de transmission du multimode vers monomode (Fig.1.9) est :

$$A[dB] = 20 \log \frac{D_2}{D_1} \tag{1.10}$$

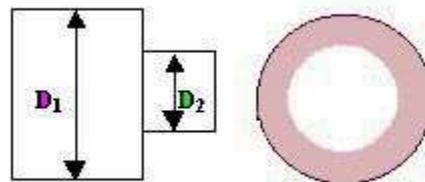


Figure 1.9 : Diamètres de cœur différents

Ouvertures numériques différentes

L'ouverture numérique différente provoque un problème au niveau de la transmission optique. L'atténuation est donnée par la formule ci-dessous :

$$A[dB] = 0.1 \log \left(\frac{ON_1}{ON_2} \right) \quad (1.11)$$

L'atténuation extrinsèque est provoquée par l'écartement de deux fibres optiques.

Excentration des fibres.

La correspondance entre courbes théorique et expérimentale, montre que la répartition de puissance dans la fibre est uniforme. Les valeurs d'atténuation sont liées aux conditions d'injection dépendant ici de l'excentration y (Fig. 1.10).

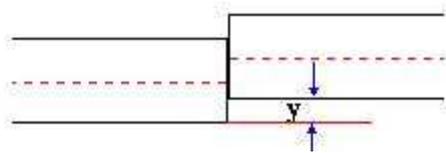


Figure 1.10 : Excentration des fibres

Ecartement de faces.

En supposant une répartition uniforme de l'énergie, pour une fibre à saut d'indice :

$$A[dB] = 20 \log \left((R + X \operatorname{tg} \theta_a) / R \right) \quad (1.12)$$

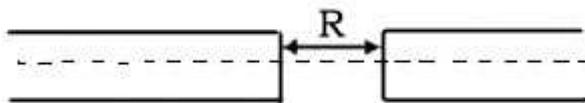


Figure 1.11 : Ecartement de faces

Les courbes expérimentales montrent que le défaut d'écartement des faces est moins critique que l'excentration (Fig.1.11).

Ecart angulaire

$$A[dB] = 20 \log \left((1 - \cos(\theta_a - \theta)) / (1 - \cos \theta_a) \right) \quad (1.13)$$

$$\sin \theta_a = ON \quad (1.14)$$

Avec l'ordre de grandeur à retenir est qu'un écart angulaire de 1 degré peut produire une atténuation de 0,5 dB. La figure 1.12 montre l'écart angulaire au niveau de l'atténuation par connexion.

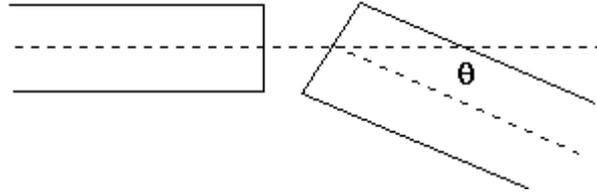


Figure 1.12 : Ecart angulaire

Autres défauts de la connexion.

La non-perpendicularité des faces (écart de 2 à 3 degrés) provoque une atténuation de 0,3 dB ; la rugosité des faces ($r = 5 \mu\text{m}$) donne également 0,3 dB de perte (Fig. 1.13). Conclusion, il faut que les deux faces optiques en contact de la connexion soient parfaitement sciées et polies.

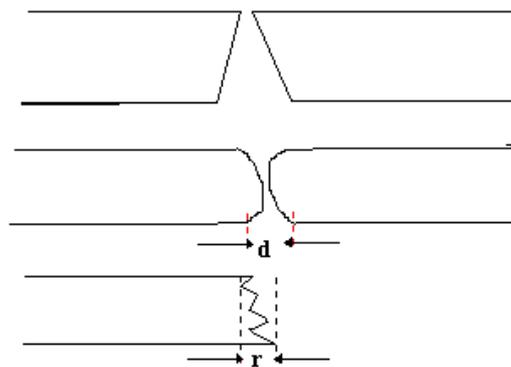


Figure 1.13 : Défauts de connexion.

Les pertes par effet de courbure sont des phénomènes induits par les courbures des câbles prises pour franchir des obstacles mais également par le positionnement de la fibre elle-même à l'intérieur du câble. Si on courbe la fibre, une partie de l'énergie lumineuse du mode peut échapper au guidage, et se perdre dans les gaines [6].

(iv). Types de fibres les plus utilisées, caractéristiques et portées

Les types de fibres les plus utilisés dans les réseaux de télécommunications sur fibres optiques sont la fibre multimode à gradient d'indice (50/125 μm et 62,5/125 μm) et la fibre monomode (9/125 μm). Cette dernière est la fibre de référence utilisée par les opérateurs car elle offre la meilleure évolutivité vers les débits élevés. En effet, grâce à son affaiblissement linéique faible et à sa bande passante élevée, elle permet la réalisation de liaisons longues à très haut débit ; mais elle est beaucoup plus chère que la fibre multimode à gradient d'indice qui est le plus pratique pour les courtes distances.

Les tableaux suivants (Tableau 1, Tableau 2) présentent les caractéristiques et portées de ces différents types de fibres.

Tableau 1: les fibres multimodes 50/125 μm et 62.5/125 μm

Diamètre du cœur (μm)	Diamètre de gaine (μm)	Bande passante à 850 nm (MHz.km)	Bande passante à 1300 nm (MHz.km)	Affaiblissement max à 850 nm (dB/km)	Affaiblissement max à 1300 nm (dB/km)	Portées (m)
50	125	> 400	> 600	< 3	< 1	2000
62.5	125	> 200	> 500	< 3.5	< 1.5	2000

Tableau 2: la fibre monomode 9/125 μm

Diamètre du cœur (μm)	Diamètre de gaine (μm)	Dispersion max à 1300 nm (ps/nm.km)	Dispersion max à 1550 nm (ps/nm.km)	Affaiblissement max à 1300 nm (dB/km)	Affaiblissement max à 1550 nm (dB/km)	Portée (m)
9	125	3.5	19	< 0.4	< 0.3	70000

c. Système de communication par fibre optique

Comme le montre la figure 1.14, l'information (données, voix, vidéo,..) venant de la source est transcrite sous forme codée en signal électrique pour que l'émetteur l'envoie, la fibre agit comme un guide d'onde optique afin que les photons puissent traverser le chemin optique vers le récepteur. Arrivée au détecteur, le signal subit une conversion optique-en-électrique, décodé, et envoyé vers sa destination [6].

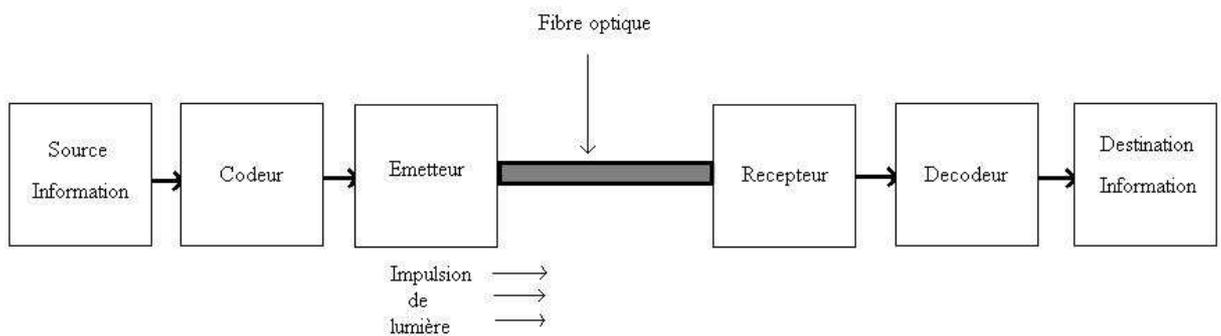


Figure 1.14 : Système de communication par fibre optique

(i). Les émetteurs

Le composant émetteur a deux rôles. D'abord il doit être source de la lumière émise sur la fibre. Et deuxièmement, il doit moduler cette lumière de telle façon qu'elle représente les données binaires émises par la source d'information. La source optique doit pouvoir générer assez de puissance optique telle que l'atténuation attendue sur le chemin soit respectée. La source optique doit aussi être facile à moduler par un signal électrique et capable d'une haute rapidité de modulation. Deux types de jonction photoémettrice peuvent être utilisés comme source optique d'un émetteur :

- Les LED (Light-Emitting diode)

Les LED sont simples, et ont une assez bonne linéarité et coûtent moins cher, mais génèrent une faible puissance.

- Les LD (Laser Diodes)

Le laser génère une lumière cohérente, puissante ; mais il coûte cher.

(ii).Les récepteurs

Les récepteurs optiques doivent détecter la lumière issue de la fibre optique et la convertir en un signal électrique. Le récepteur doit démoduler cette lumière pour déterminer les signaux binaires correspondants. Le récepteur exécute donc la fonction conversion optique-électrique. La photodiode joue le rôle de ce récepteur.

(iii). *Modulateurs Optiques*

Un modulateur dans le système fibre optique est un agent de changement qui a pour but de convertir les impulsions « Marche/Arrêt » électriques en impulsions de lumière.

Les modulateurs optiques utilisent la plus simple de modulation appelée modulation directe, cette méthode utilise un laser qui émet si le bit à coder est un « 1 » ou n'émet pas si le bit coder est zéro « 0 ».

(iv). *Les Câbles*

Un câble à fibres optiques est composé d'un nombre de fibres pouvant aller de deux à plusieurs dizaines de fibres, et ce, en fonction des besoins. Le plus souvent dans les réseaux locaux d'entreprise, ce nombre est de 6 à 24.

Deux structures élémentaires permettent la réalisation de câbles optiques: les câbles à revêtement lâche et les câbles à revêtement serré.

- Les câbles à revêtement lâche (loose tube cable), Ce câble est constitué de plusieurs tubes contenant chacun plusieurs fibres optiques. Ces dernières sont libres au sein du tube. Ce câble est utilisé pour les liaisons inter-bâtiments.
- Les câbles à revêtement serré (tight tube cable) dans lesquels une gaine plastique est directement appliquée sur la fibre ; ce qui la renforce mécaniquement et lui apporte la souplesse nécessaire à la réalisation de cordons.

Chapitre 2:

**LA CONCEPTION ET
L'INFRASTRUCTURE
DU RESEAU**

La conception est une étape décisive à la création d'un réseau, elle permet dès le début de garantir la rapidité et la stabilité du réseau. Si un réseau n'est pas conçu d'une manière adéquate, de nombreux problèmes imprévisibles risquent de se produire et de nuire à sa croissance. La conception est donc un travail de profondeur, demandant une véritable compétence venant du concepteur, en effet il ne suffit pas d'interconnecter les ordinateurs. Ainsi, le Chapitre traite tous les détails nécessaires à la réalisation effective du réseau.

2.1. INFRASTRUCTURE DU RESEAU

Le débit transporté dans les réseaux des télécommunications ne cesse d'augmenter ; le transport des voix, des données, et des images en sont les causes principales. De plus, avec l'expansion de l'utilisation de l'Internet à l'échelle mondiale, de nombreux nouveaux services à haut débit ont été développés à la fois pour les particuliers, les entreprises et les universités (débit entre 1 et 100 Mbit/s).

Pour répondre au mieux aux besoins des utilisateurs du réseau, il est nécessaire de connaître les infrastructures déjà en place. Notons au préalable, qu'en matière de conception, il est nécessaire de répondre non seulement aux besoins identifiés aujourd'hui, mais également d'anticiper l'évolution des usages de demain.

a. Situation actuelle

(i). *Présentation du site*

Actuellement, l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, à Vontovorona est constituée de douze départements (cf. ANNEXE A1), un service de scolarité, une bibliothèque, un centre informatique et deux cybercafés pour les étudiants et pour les enseignants. 0

Certains de ces départements disposent déjà de matériels informatiques, mais insuffisants et assez vétustes, ainsi que des réseaux internes qui ne sont pas interconnectés. La plupart des départements ayant des ordinateurs ne sont pas connectés à l'Internet et se trouvent donc isolés des autres départements. Cette situation constitue un handicap.

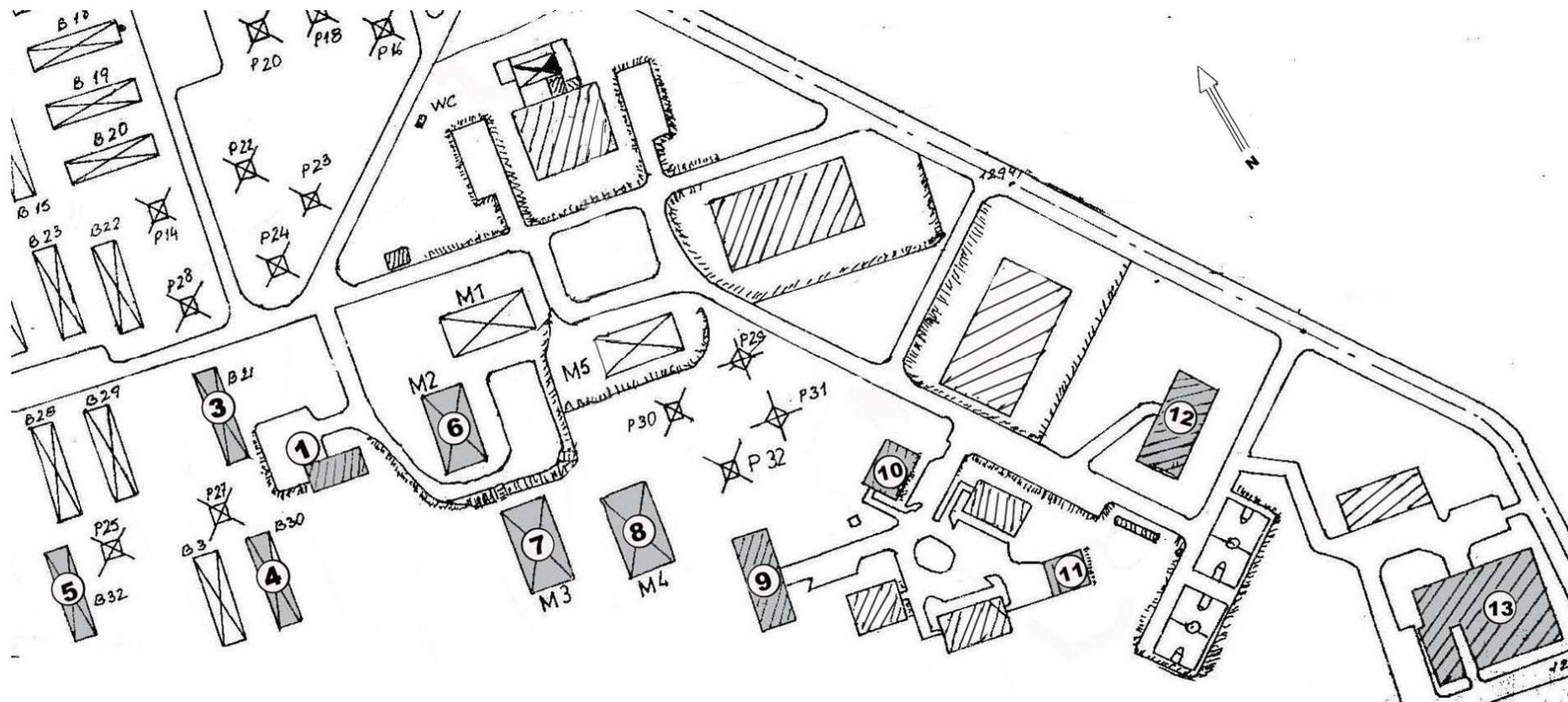
La figure 2.1 montre la carte du Campus Universitaire Polytechnique de Vontovorona avec ces différents départements, centre informatique, cybercafé et le service de scolarité.

(ii).Les distances physiques entre les départements

Pour assurer la mise en place des réseaux à fibre optique au sein du Campus, il faut connaître d’abord les distances physiques qui séparent le centre informatique avec les différents départements, bibliothèque et le service de la scolarité. Le tableau 3 ci-dessous présente ces distances.

Tableau 3: Distance physique entre les départements

Département	Distances (m)
Centre Informatique – BTP	90
BTP - Télécommunications	30
Centre Informatique - Hydraulique	180
Hydraulique-Génie Chimique	60
Centre Informatique - SIMM	330
SIMM– Bibliothèque Universitaire	70
SIMM – Génie Industriel	180
Centre Informatique –Scolarité	40
Centre Informatique -Electronique	90
Electronique-Météorologie	25
Centre Informatique - Mines	50
Mines- IGF	8
Mines - Géologie	20
Centre Informatique - Cybercafé	55



1- Centre Informatique

3- Cybercafé

4- Service de la scolarité

5- Départements Electronique et Météorologie

6- Départements IGF, Mines et Géologie

7- Département BTP

8- Département Télécommunication

9- Département Hydraulique

10- Département Génie Chimique et Tronc commun

11- Département SMM

12- Bibliothèque

13- Département Génie Industriel

Echelle :

1/2700

 Bâtiments

 Polyvalents

Figure 2.1 : Carte du Campus

b. Regroupements des besoins de conception

L'Internet est le vecteur d'information dominant dans les réseaux de télécommunications actuels. Il a permis de développer de nombreux services, surtout ceux qui sont liés aux multimédias. Afin de satisfaire les exigences des usagers et d'assurer ainsi une meilleure qualité aux services proposés par les fournisseurs d'accès, les applications proposées sont de plus en plus gourmandes en bande-passante.

Côté utilisateurs, une enquête des besoins a été réalisée auprès des différentes cibles : départements, services administratifs, cybercafé... Les besoins se basent sur les échanges actuels, fichiers textes, tableurs, quelques images, et aussi sur les connexions permanentes à l'Internet. En tant que justification du haut débit, les utilisateurs pensent à des transmissions qui supportent les grandes applications comme la vidéo (vidéoconférence).

Comme le Campus de Vontovorona s'étale sur une zone relativement vaste, avec ses bâtiments et blocs dispersés et éloignés les uns des autres. On doit employer un réseau de communication de type LAN ou réseau local qui répondra à nos besoins pour les années à venir.

On constate alors que la fibre optique est l'une des solutions pour résoudre nos problèmes actuels : elle offre

- Le moyen de transfert le plus rapide par rapport aux autres câbles,
- Les supports de communications à longue portée,
- Le support de communications à haut débit.
- Et un rapport qualité/prix meilleure.

Par rapport au câblage paire torsadée dont la distance maximale est de 100 mètres.

2.2. L'ARCHITECTURE DU RESEAU

Le modèle OSI peut être divisé en deux groupes, la partie haute et la partie basse. Nous allons travailler en particulier dans la couche physique.

a. Architecture physique

Le câblage physique est l'un des éléments les plus importants à prendre en considération lors de la conception d'un réseau. Les médias de câblage que nous allons utiliser pour la couche 1 comprennent le câble à paires torsadées, blindées de catégorie 5 (STP) et le câble à fibre optique. Une topologie physique en étoile étendue est adaptée à notre situation[9].

La figure 2.2 représente l'interconnexion physique des réseaux locaux de chaque département entre eux, cette connexion est assurée par le support en fibre optique et/ou en paire torsadée. L'architecture présente un avantage indéniable sur l'évolutivité du réseau. Car le réseau est réalisé dans un commutateur unique central se trouvant sur le centre informatique du site, facilitant ainsi le renouvellement des principaux équipements. On peut imaginer aussi un réseau en topologie en bus ou en anneau qui parcourt chaque département et auquel on connecte les *Switch*, mais cette solution n'est pas convenable car le débit est limité par la technologie utilisée.

Certains départements sont directement connectés au commutateur central se trouvant dans le Centre Informatique (Fig.2.2, Fig.2.3). Cette solution permet de réduire le coût global de l'installation car elle minimise la longueur des fibres optiques utilisées.

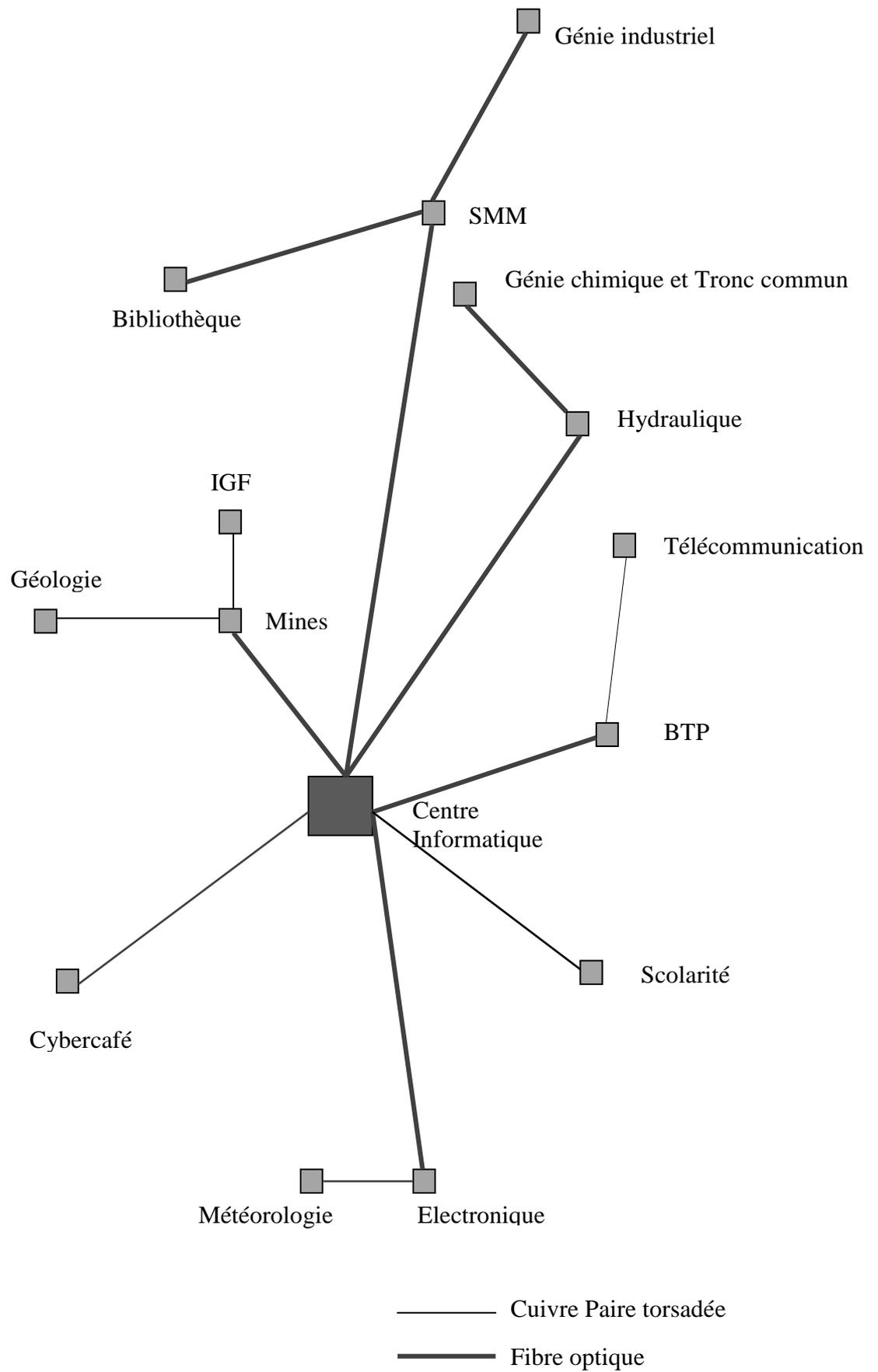


Figure 2.2 : Schéma physique de l'infrastructure de liaison

La figure 2.3 suivante montre un modèle d'interconnexion physique de plusieurs bâtiments mettant en évidence les équipements utilisés.

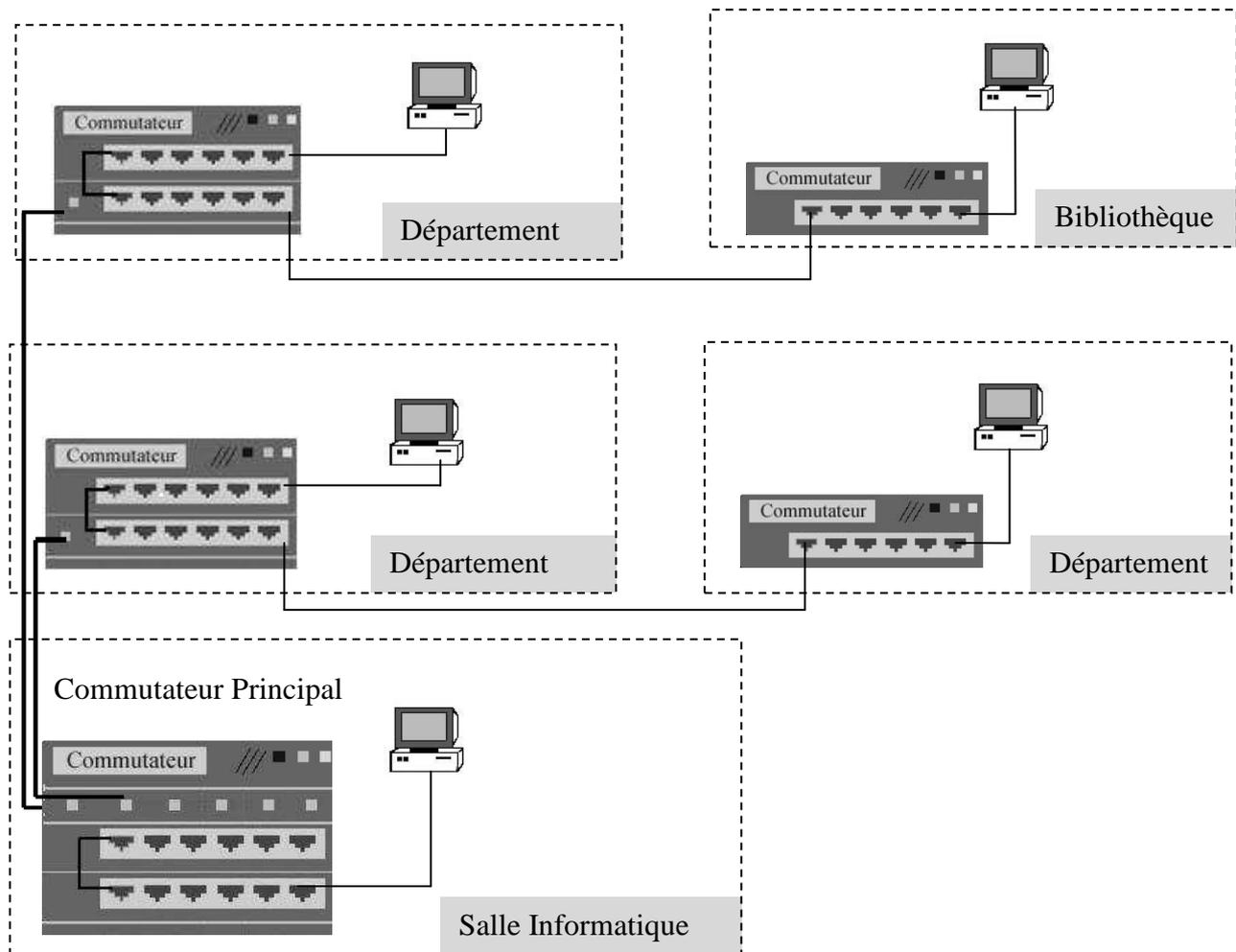


Figure 2.3 : Raccordement physique des équipements

L'interconnexion du réseau avec l'Internet est nécessaire et même une contrainte du réseau. La solution consiste à placer un routeur en amont du Commutateur principal. L'utilisation d'un routeur s'impose dès qu'on doit relier deux sites séparés par une longue distance. Ce routeur assure la liaison avec l'extérieur du réseau. Tous les départements seront connectés à Internet d'une manière ou d'une autre en utilisant le routeur (Fig. 2.4) [10].

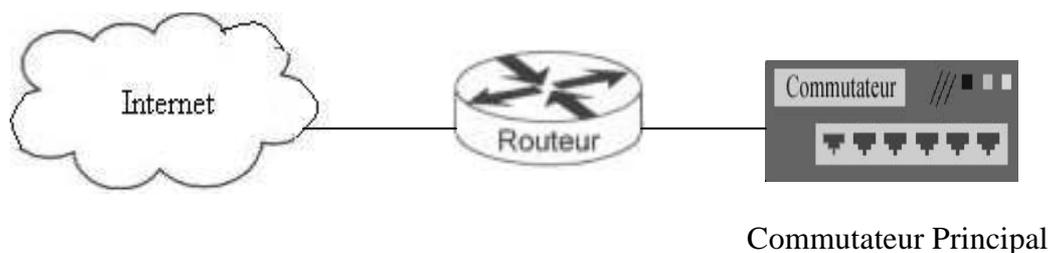


Figure 2.4 : Positionnement du routeur

b. Les équipements actifs

Les éléments actifs constituant le réseau sont décrits brièvement ci-après [7] [8].

(i). *Routeur*

Le routeur est un équipement concernant la couche 3 du modèle OSI ; ainsi il peut connecter différentes technologies de couche 2, telles qu’Ethernet, Token-Ring et FDDI.

Un **routeur** est un commutateur de niveau 3, il commute les protocoles de la couche réseau, tels que l’IP, appelé encore routage. Ce mécanisme consiste à analyser l’adresse de destination du paquet IP et à la transmettre sur le bon port. En tant que machine clé d’un réseau, un routeur est un dispositif (interface) recevant et émettant les trames au format adéquat ; il constitue aussi une partie logiciel qui fonctionne comme un système d’exploitation permettant une administration matérielle.

(ii). *Commutateur ou Switch*

La commutation est une technologie qui permet d’atténuer la congestion au sein des LAN Ethernet, en réduisant le trafic et en augmentant la bande passante. Les commutateurs LAN sont souvent utilisés pour remplacer des concentrateurs partagés (Fig.2.5). Ils sont conçus pour fonctionner avec les infrastructures de câblage déjà en place. Ainsi, ils peuvent être installés sans perturber le trafic réseau existant.

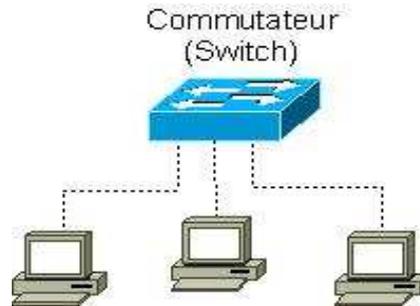


Figure 2.5 : Commutateur ou Switch

(iii). Convertisseur de Média (Media Converter)

La technologie de la conversion permet de connecter des types de médias disparates (câblage) dans des réseaux équipés d'un câblage non homogène. La plupart du temps, on utilise les Convertisseurs de Média dans des installations de câblage réseau où coexistent un câblage cuivre STP (paire torsadée blindée) et un câblage à fibre optique. Ce convertisseur réduit considérablement le coût du réseau. En effet, les équipements réseau à interface optique coûtent plus chers que leur équivalent en cuivre, ceci est largement lié au coût supérieur de leurs composants et à leur moindre volume.

Les Convertisseurs de Média sont spécifiques au protocole, ce qui signifie qu'on a besoin d'un convertisseur Ethernet pour convertir le 100BASE-T vers le 100BASE-FL. On mettra donc un Convertisseur de Media sur chaque terminaison de fibre optique dans le réseau. Cet équipement sera transparent car elle n'affecte en rien à la circulation des données sur le réseau. La figure 2.6 illustre le fonctionnement d'un Convertisseur de Média.



Figure 2.6 : Fonctionnement d'un Convertisseur de Media

(iv). Cartes réseaux

Une carte est considérée comme un composant de couche 2 du modèle OSI, parce que chaque carte réseau dans le monde porte un nom de code unique appelé adresse MAC (Media Access Control). Cette adresse est utilisée pour contrôler la communication des données de l'hôte dans le réseau. Tous les ordinateurs sur le réseau en possèdent au moins une [9].

2.3. INFRASTRUCTURE DE L'INSTALLATION

L'essentiel des coûts de mise en œuvre d'un réseau optique réside dans les travaux de génie civil. Ces infrastructures réalisées dès les premières phases devront satisfaire aux exigences de croissance du réseau. La mise en place du réseau à fibre optique sur le campus de Vontovorona nécessite plusieurs étapes pour que le réseau soit déployé correctement et fonctionne sans erreur, dès la mise en service.

a. Cheminement et circulation des câbles

Le câblage volant (à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments) ne peut pas être considéré à grande échelle. En effet au-delà de dix postes, il devient rapidement source de problèmes. Le câblage extérieur est enfui sous terre, et le câblage intérieur va passer au-dessus des plafonds et circule dans une goulotte le long des murs. Cette méthode de câblage a l'avantage de la sécurité. Mais les liaisons en cuivre inter-bâtiments sont aériennes. Il est essentiel de mettre en place un système de câblage permanent et évolutif.

(i). Distribution intérieure et extérieure des câbles

Les câbles à fibre optique, insensibles aux perturbations électromagnétiques, pourront être installés, si besoin est, dans les gaines techniques existantes pour les câbles d'énergie. Ou encore avec les câbles en cuivre dans un nouveau tube qui longe les murs ou au-dessus des plafonds. Les câbles pour les distributions extérieures sont dotés de renfort mécanique, adaptés à l'environnement qui l'entoure. Les Infrastructures doivent être conçues pour respecter les conditions imposées par les contraintes. La figure 2.7 présente le schéma bloc de l'infrastructure de déploiement.

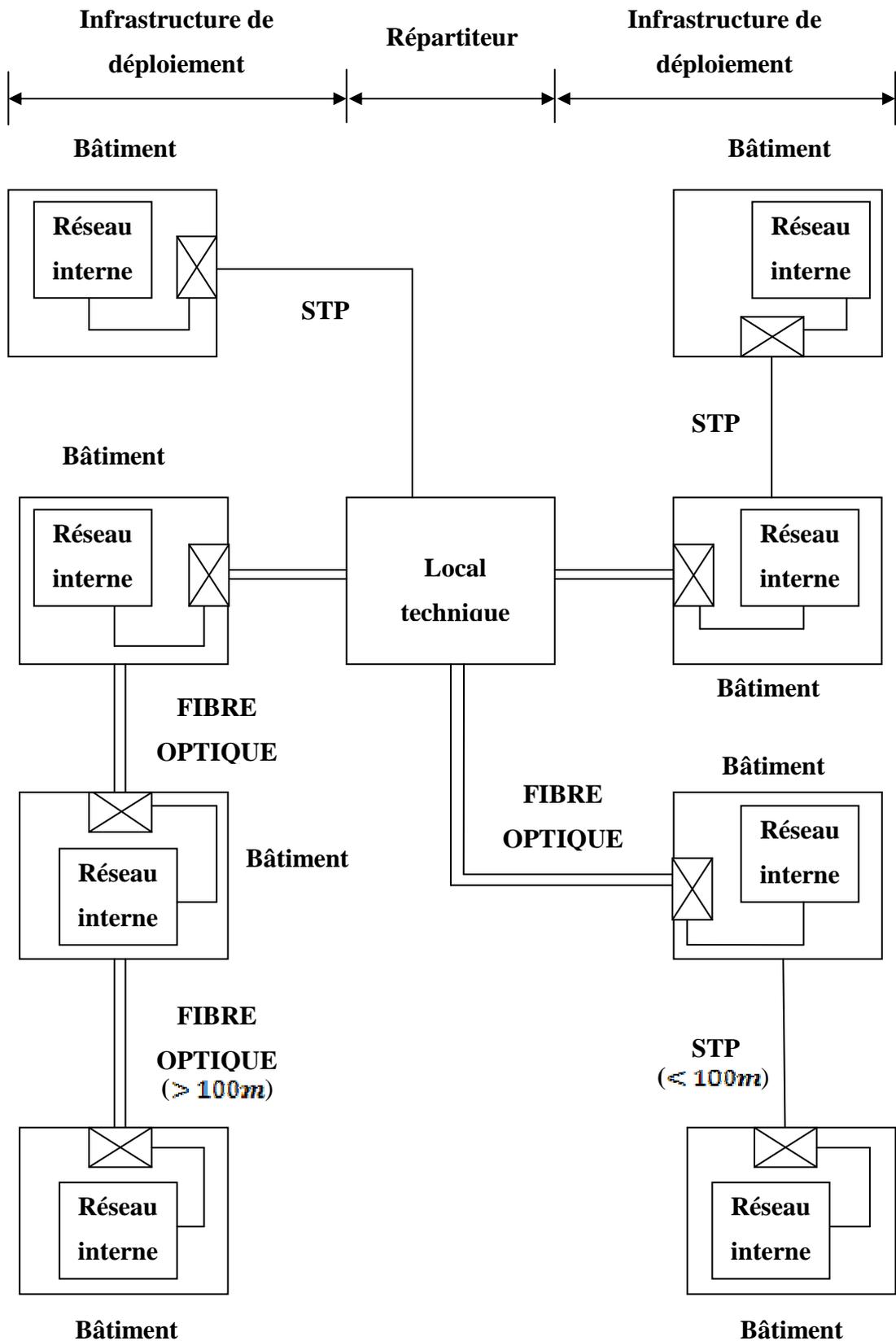
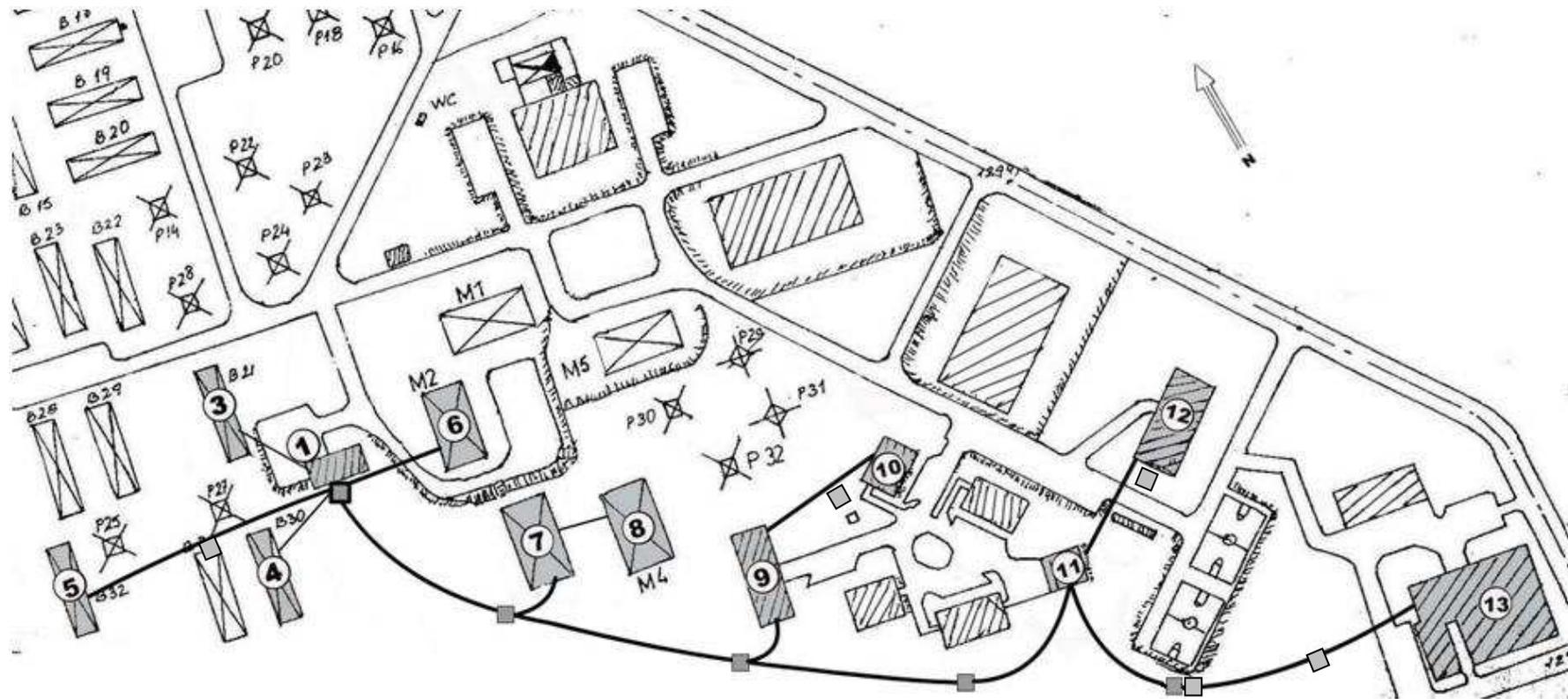


Figure 2.7 : schéma bloc du déploiement des câbles

(ii).Chemins des câbles

La planification pour des longueurs de câbles appropriées est extrêmement importante pour une installation de fibre optique pour deux raisons. La plus importante est que les épissures causent des pertes dans la qualité et la puissance du signal, dans le cas où les câbles seraient trop courts et qu'il faudrait les relier. Les câbles coûtent chers, donc surtout ne pas les jeter. La deuxième raison est que les épissures prennent beaucoup de temps et sont très coûteux.

La figure 2.8 suivante présente les chemins des câbles provenant du répartiteur vers les différents départements, centre informatique, cybercafé et la bibliothèque.



Echelle : 1/2700

■ Chambres de tirage de câble

— Câbles des Fibres optiques

— Câbles en Paires Torsadées

Figure 2.8 : Chemins des câbles

(iii). Les distances et les câbles à utiliser

Nous allons regrouper en deux ou trois au maximum les bâtiments pour minimiser le coût de l'installation, sauf le cybercafé et la scolarité. Le choix du câble dépend de la distance que ce câble va parcourir. La distance de transmission maximale pour le câblage en cuivre est de 100 m. Par contre, la distance de transmission pour la fibre optique multimode à gradient d'indice 62.5/125 μm est de 2km.

Les mesures sur le tableau ci-dessous sont calculées à partir du plan des chemins de câbles précédent. Le tableau 4 récapitule les distances et les types de câbles à utiliser. Lors de la réalisation des travaux, les mesures exactes seront faites par des personnes expérimentées, et seront exactes et précises. Car il est pratiquement impossible pour les concepteurs de prévoir tous les états et les conditions des terrains, et ce n'est pas aux concepteurs de le faire. La mesure sur le terrain doit être faite pour que les longs morceaux de câbles ne soient recoupés et les morceaux courts ne soient gaspillés.

Tableau 4: distances et câbles utilisées

Département	Liaison	Distances (m)
CI - BTP	Fibre optique	100
BTP- TCO	STP	40
CI- HYDR	Fibre optique	190
HYDR-GC	Fibre optique	70
CI-SMM	Fibre optique	340
SMM - BU	Fibre optique	80
SMM – GI	Fibre optique	190
CI-SCOL	Fibre optique	50
CI-EN	Fibre optique	100
EN-METEO	STP	30
CI - Mines	Fibre optique	60
Mines- IGF	STP	10
Mines - GEO	STP	25
CI - Cyber	STP	60

(iv). Canalisation sous-terrine

– Dimension du canal

La canalisation doit être assez profonde pour la sécurité des câbles, mais pas trop profonde pour la facilité de l'installation. Un compromis est le standard de 70 cm de profondeur et de 40 cm de largeur, comme le montre la figure 2.9.

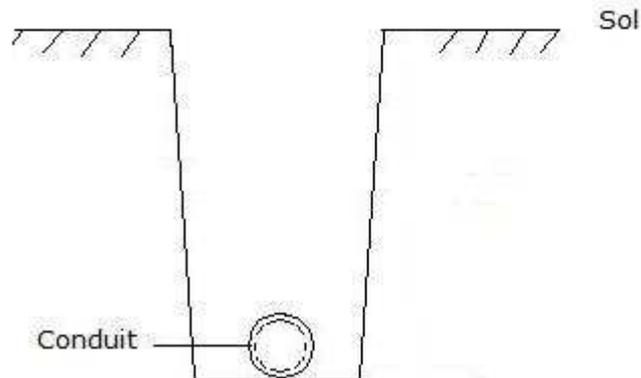


Figure 2.9 : Canalisation

– Conduits et fourreaux

Les conduits protègent les câbles contre les rongeurs et contre l'humidité. Les conduits sont en effets en polychlorure de vinyle (P.V.C) qui ont une forte résistance, une longue durée de vie et insensible à la rouille. Ils facilitent aussi l'installation d'autres câblages futurs et les actions de tirage s'en trouvent moins difficiles à entamer.

La bonne conception impose que les câbles ne doivent occuper la totalité du conduit mais laisser 60 à 70 pour cent de l'espace disponible du tuyau. Le diamètre d'un câble bi-fibre étant en moyenne de 5 mm, un diamètre de conduit 80mm est convenable.

(v). Mise en place des chambres de tirages

Une chambre de tirage sert à tirer les câbles, elle donne accès aux conduits souterrains. Ces chambres de tirage sont espacées typiquement de 50 m et d'un maximum de 100 m et chaque fois qu'une topologie particulière s'impose : changement de niveau, de direction, etc...

La pénétration d'humidité étant le principal facteur de dégradation des câbles optiques, une attention particulière sera portée pour s'en prémunir : installation, dans le domaine du possible, dans les parties hautes des fourreaux, permettant de diminuer les risques de séjours prolongés dans les chambres de tirages inondées, il est nécessaire de boucher les extrémités des conduits pour qu'ils soient étanches. Le haut de la chambre peut être verrouillé pour sécuriser l'endroit.

Les figures suivantes (Fig. 2.10) montrent différentes coupent d'une chambre de tirage qu'on utilise (*unités en cm*).

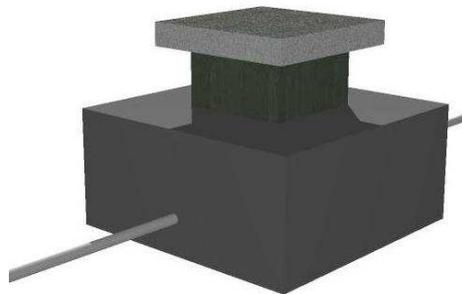


Figure 2.10 : chambre de tirage en trois dimensions

b. Choix des câbles et des raccordements

(i). *Choix des câbles utilisés*

Les câbles pour utilisation à l'extérieur sont dotés de protections spéciales. L'utilisation de ces types de câbles s'impose donc pour notre situation. Plus précisément des câbles bi-fibres multimode en gradient d'indice 62.5/125 μm , car ils sont faits pour la situation. La figure 2.11 montre un câble bi-fibre avec protection.



Figure 2.111 : câble avec protection

(ii). *Choix des raccordements*

Il y a deux manières de mettre bout à bout deux fibres optiques (pour le couplage source-fibre ou fibre-détecteur), par épissure (fusion de deux fibres) c'est un raccord définitif ou par connecteur pour les raccords démontables. Dans les deux cas (surtout le deuxième), cela entraîne des pertes à cause de l'écartement, de l'excentrement et du désalignement. Adoptons le raccordement avec les connecteurs de type ST qui sont le plus couramment déployés dans les réseaux optiques surtout pour les fibres multimodes (62.5/125 μm) et dans le cas des câbles paires torsadées, il est préférable en effet d'utiliser les connecteurs RJ45 [10][11].

c. Condition de pose des câbles

(i). *Contraintes lors de l'installation*

Les contraintes spécifiques relatives à la technologie optique sont d'ordre mécanique et climatique (rayons de courbure, résistance à la traction).

- *Force maximale de traction*

La résistance en traction d'un câble a été dimensionnée par rapport à l'environnement dans lequel le câble sera posé (intérieur, extérieur, ...) et à ses caractéristiques intrinsèques (diamètre, poids, type de gaine). Le non respect de ces valeurs peut entraîner des dégradations irréversibles de la fibre.

- *Rayon de courbure*

Le rayon de courbure minimal recommandé lors de l'installation est spécifié par chaque constructeur. Au-delà de cette limite, il y a une forte atténuation du signal ou même la perte totale de ce dernier, la rupture de la fibre ou la rupture du câble. Ce rayon est habituellement, mais pas toujours, spécifié comme 20 fois le diamètre du câble à courber. Une valeur moyenne du rayon minimal de courbure est de 200mm.

d. **Budget de puissance (analyse de perte de puissance)**

Un réseau fibre optique doit avoir une marge de perte de puissance adéquate pour fonctionner correctement. La puissance arrivée au récepteur doit être supérieure à sa sensibilité, et une marge doit être tenue au dessus de cette sensibilité. Les pertes se situent au niveau de la fibre optique, connecteurs et convertisseurs de media. Le tableau 5 illustre les pertes au niveau de la fibre.

Tableau 5: Perte de puissance de la fibre

Modes	Matériel	Profile d'Indice de réfraction	Bande passante (MHz/km)	Diamètre (cœur/gaine) (µm)	Atténuation (dB/km)	Longueur d'onde (nm)
Multimode	Verre	Gradient	850	62.5/125	3.3	200
Multimode	Verre	Gradient	850	50/125	2.7	600
Multimode	Verre	Gradient	1300	62.5/125	0.9	800
Multimode	Verre	Gradient	1300	50/125	0.7	1500

e. Local technique et équipements

(i). *Le Local technique*

Le local technique est le point essentiel du réseau local, sans lequel il ne peut fonctionner correctement. Il présente le point fort de l'installation dans la mesure où il abrite plusieurs appareils sensibles (Switch, routeur,..) et sur lequel pèse des menaces importantes (écoute, piratage,...).

Bien que ces équipements soient souvent regroupés dans une même salle, il est nécessaire de séparer les différents types de matériels.

Nous choisissons le Centre Informatique du Campus comme local technique. Il abrite le répartiteur principal qui supporte les têtes de câbles et peuvent être constitués soit de châssis de répartiteurs, soit des tiroirs au format 19 pouces (48.26 cm). Pour des raisons de sécurité et de confort, les têtes de câbles devront se trouver dans une enceinte fermée.

Ce local devra être alimenté en énergie électrique sécurisée, éventuellement équipés d'une climatisation [12].

(ii). *Répartiteur de type " baie "*

Ce répartiteur est un armoire munis d'un capot avec serrure qui est bien placée dans le local technique , sa largeur et profondeur peuvent varier entre 800x800 cm, 600x800 cm, avec porte fermant à clé pour la sécurité mais l'arrière de la baie doit être dégagée pour en faciliter l'accès (Fig. 2.12).

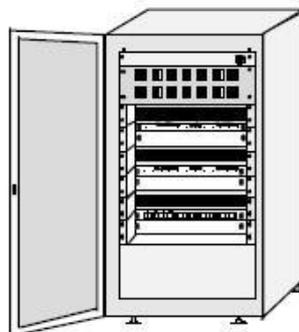


Figure 2.12 : Répartiteur de type « baie »

La baie accueille un panneau de brassage dans sa partie haute (notamment les tiroirs à fibres optiques) et les équipements actifs dans ses parties basses.

La taille de 800x800 a notre préférence, car elle offre suffisamment d'espaces latéraux pour y faire passer des cordons de brassage et suffisamment de profondeur pour y loger tous types d'équipements actifs.

(iii). *Les tiroirs fibres optiques*

La gestion des câbles optiques est effectuée grâce à des tiroirs fibres optiques qui se trouvent dans la baie. Leur conception doit permettre de les utiliser dans tous les cas de mise en œuvre:

- terminaison de câble par connecteurisation,
- utilisation mixte (épissure et connecteurs).

Ils doivent offrir les caractéristiques suivantes:

- encombrement faible,
- face avant pour recevoir au minimum 12 ou 24 connecteurs,
- logement pour la fixation, la gestion et l'organisation des câbles en arrivés[13].

Chapitre 3:

**DESCRIPTION
DU PROJET
D'INSTALLATION**

Le présent chapitre étudie le fondement du projet, de la conception avec la description des différentes étapes qui entrent en jeu depuis l'étude théorique, jusqu'à l'exploitation du réseau. Il expose également l'évaluation du coût des équipements utilisés par le réseau et du coût de la réalisation.

3.1. LES ETAPES D'UN PROJET

Un projet d'étude et de mise en place d'un réseau de communication à fibre optique comporte plusieurs étapes. Pour chacune d'entre elles, différents intervenants sont amenés à exercer leur domaine de compétences. En fonction de la taille du projet, le nombre d'intervenants peut bien sûr être variable. Même dans ce cas, les niveaux de compétences et de connaissances doivent être en adéquation avec les besoins et objectifs du projet global finalisé.

Le projet de conception d'un réseau fibre optique au Campus Universitaire Polytechnique de Vontovorona s'effectue en sept étapes. La figure 3.1 nous montre :

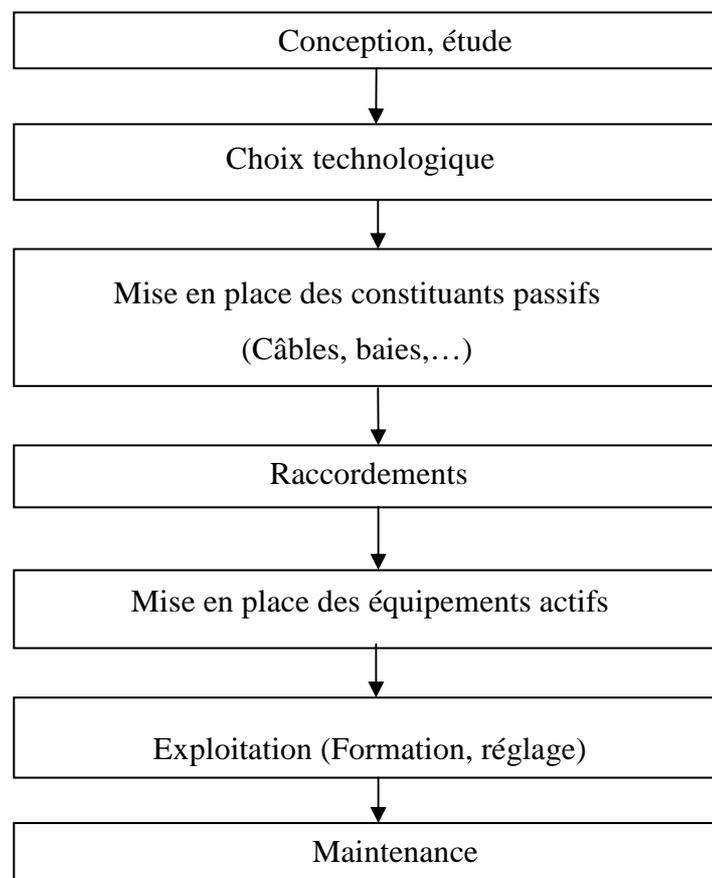


Figure 3.1 : Les étapes d'un projet

3.2 LE COUT DE LA REALISATION.

Cette partie représente une charge importante dans le projet, nous ne détaillerons pas cette partie mais nous allons essayer d'en sortir le coût de l'installation. Ce dernier est un facteur essentiel pour évaluer les offres d'installation de réseau par les entreprises et bureaux d'étude. La mise en place d'un réseau fibre optique de type LAN se décompose suivant cinq parties importantes :

- Etudes
- matériels actifs,
- travaux d'infrastructure,
- Formation du personnel,
- Maintenance.

a. **Bureau d'étude**

Le bureau d'étude a pour rôle d'assurer le bon fonctionnement et organisation du projet en évaluant le devis et estimant la durée de sa réalisation. Lors de la recherche, on obtient la méthode suivante.

Le prix de ces différentes étapes est calculé, en commençant par l'évaluation des coûts des équipements actifs et passifs, c'est-à-dire le coût des matériels.

(i). *Evaluation des matériels*

Le tableau 6 montre les prix en Ariary des divers équipements à utiliser par le réseau.

Tableau 6 : Coûts des équipements

Produits	Types
Câble	
Fourreau	PVC 42/45
Fibre optique	G.651 bi-fibre
Paire Torsadée	STP cat 5
Connecteurs	
ST	ST
RJ 45	RJ 45
Equipements actifs	
Switch	8 ports
Routeur	CISCO 2600
Convertisseur de Media	(1port 10/100Mb) Ethernet
Autres	
Baie	
Tiroir optique	

Le prix total des équipements est donc de 17.726.900 Ariary

(ii). Evaluation de la mise en place du câblage

La réalisation des canalisations, la pose des chambres de tirage, la mise en place des conduits, le tirage des câbles, etc..., sont les éléments appropriés à la mise en place du câblage. Les prix moyens que les entreprises offrent pour ces services sont détaillés ci-dessus :

Tableau 7 : Coût de la mise en place du câblage

Travaux de Génie Civil /Raccordement/Tirage	Unité	Nombre
Aiguillage et Tirage du câble 24 en conduite		9
Pose câble en pleine terre (Profondeur : 0,70m)	m	900
Démolition et Réfection de route goudronnée (CI-MI NES)	m	6
Démolition et Réfection de route goudronnée et chaussée bitumée (SIM-BIBLIOTHEQUE)	m	10
Nettoyage de chambre		9
Pompage (par chambre)		9
Pose d'un fourreau PVC (diam 45)	m	900
Raccordement tête de câble 24 F.O.		24
Mesure et recette liaison 24 F.O.		1
Nettoyage de conduite (par section)		15
Construction de chambre (L1T)		9

Le prix total de la mise en place du câblage est 17.364.025 Ariary.

(iii). Coût de la formation des personnels exploitants

La formation doit être ciblée en fonction du profil et du rôle de chaque intervenant en exploitation et en maintenance : superviseur, technicien, administrateur réseau pour chaque département, administrateur réseau central et sous-traitants de chaque département. En plus d'une information générale sur le réseau et une forte sensibilisation aux risques que génère toute intervention, il faut assurer des formations par métier et fournir les procédures d'intervention et les procédures d'accès aux informations du système de gestion du réseau. Le coût total de cette formation est de 5.000.000 Ariary. La formation dure une semaine avec des formateurs ayant une bonne expertise technique.

(iv). Durée de réalisation du projet

La réalisation de ce projet demande beaucoup de temps pour assurer la meilleure tâche afin d'éviter l'erreur pendant l'installation et la mise en place des matériaux. Celle-ci est commencée par la canalisation, la mise en place des constituants passifs et des équipements actifs, les raccordements, enfin, la formation des superviseurs, techniciens et administrateurs réseaux.

Tableau 8: Durée de la réalisation du projet

Phases	Durée (jours)
Canalisation et mise en place des constituants passifs	120
Raccordements	7
Mise en place des équipements actifs	15
Exploitation (Formation, réglage)	6
Total	148

b. Maintenance

Pour assurer une exploitation et une maintenance de qualité, il est impératif de mettre en place une organisation structurée. Certaines tâches sont généralement réalisées par le gestionnaire du réseau, d'autres pourront être sous-traitées. La maintenance est donc inévitable afin de garder les performances, la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité de l'installation. La recherche des meilleures solutions et outils sont toujours nécessaires afin de limiter le coût d'indisponibilité.

Tableau 9: Activités et tâches professionnelles

ACTIVITES	TACHES ASSOCIEES
MAINTENANCE CORRECTIVE	<ul style="list-style-type: none">• Diagnostiquer les pannes,• Préparer les interventions,• Mettre à jour l'antivirus et les logiciels utilisés par le réseau
MAINTENANCE PREVENTIVE	<ul style="list-style-type: none">• Définir le plan de maintenance préventive systématique et prévisionnelle,• Planifier et mettre en œuvre le plan de maintenance préventive,• Mettre à jour et optimiser le plan de maintenance préventive.
INTEGRATION	<ul style="list-style-type: none">• Préparer l'installation et participer à la réception et à la mise en service des nouveaux biens.
ORGANISATION	<ul style="list-style-type: none">• Définir et justifier la stratégie de maintenance.
ANIMATION ET ENCADREMENT	<ul style="list-style-type: none">• Animer et encadrer une équipe de maintenance.

3.3 COUT GLOBAL

D'une manière générale, le coût global est la valeur totale du projet de la mise en place du réseau fibre optique au sein du Campus. Le tableau 10 ci-dessous récapitule les résultats des évaluations des différentes étapes du projet.

Tableau 10: Coût global du projet

Réalisations	Coût (Ariary)
Matériels	17.726.900
Mise en place des câbles	17.364.025
Formation des personnels	5.000.000
Total	40.090.925

L'estimation globale est évaluée à la somme de « **40.090.925 Ariary** ». Au niveau du coût, la mise en place de ce réseau est beaucoup plus chère par rapport aux autres supports comme la paire torsadée, mais elle offre les meilleurs services et avantage pour les futurs utilisateurs.

La conception d'un réseau est un travail de profondeur dont il faut en comprendre le fondement, ainsi nous avons abordé l'étude par les bases de la mise en réseau, puis en étudiant de près les fibres optiques et leurs caractéristiques. Nous avons ensuite établi l'architecture du réseau et les plans d'installation, en faisant des enquêtes auprès des personnes connaissant le campus. L'installation souterraine de la fibre optique entraîne la mise en place des conduits, qui augmente aussi le coût global du projet. Nous avons aussi évalué les coûts de la réalisation et le coût global du projet.

La mise en place d'un réseau haut-débit reliant les différents départements de l'ESPA apportera une amélioration dans l'enseignement et la recherche, cependant un réseau haut-débit entre ce réseau et le réseau de l'Université d'Antananarivo situé à Ankatso en apportera d'avantage. Une expansion future de cette étude est donc la conception d'un réseau WAN, reliant l'Ecole et les autres universités de Madagascar, par une ligne spécialisée en fibre optique, et en utilisant les techniques de modulation et multiplexage pour augmenter le débit de la liaison.

ANNEXES

Les départements au sein de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

Département Bâtiments et Travaux publics

Département Electronique

Département Génie Chimique

Département Tronc commun

Département Géologie

Département Génie Industriel

Département Hydraulique

Département Information Géographique et Foncier

Département Météorologie

Département Mines

Département Sciences des Matériaux et de Métallurgie

Département Télécommunications

- [1] I. Joindot and M. Joindot, « *Les Télécommunications par Fibre Optique* ». Collection Technique et Scientifique des Télécommunications .Dunod, 1996.
- [2] Vivek Alwayn, « *Optical Network Design and Implementation* », Cisco Press, March 17, 2004.
- [3] Transmission des Télécommunications – Partie 2 –Chapitre 5 –Gérard Hincelin – Electronique B8.2003
- [4] <http://www.iut-lannion.fr/LEMEN/MPDOC/NTPF2/SERIE2/fibrpres.htm>
- [5] <http://www.htr.ups-tlse.fr/pedagogie/cours/fibre/fotheori.htm>
- [6] Guy Pujolle, « *Les Réseaux, Édition 2003* », EYROLLES, juin 2002
- [7] Gary A. Donahue, « *Network Warrior* », O'Reilly, June 01, 2007
- [8] <http://www.infocellar.com/networks/standards/ethernet.htm>
- [9] E510, Cours de « *Réseau Local* », 5ème Année, Département Electronique, ESPA, 2006- 2007
- [10] G.P.Agrawal. « *Fiber-Optic Communication System* ». Wiley, 1992
- [11] Joe Casad, « *Sams Teach Yourself TCP/IP in 24 Hours, Third Edition* », Sams Publishing.
- [12] F.Douglas Elliott and Paul Rosenberg,«*Fiber Optics Technician's Manual 2nd edition*», juin 2001, PDF
- [13] John Crisp, « *introduction to Fiber optics* », 1996, 2001, PDF

Auteurs: MILAZAVATA Mahairae Tsimiondra

Titre : «**Conception et installation d'un réseau fibre optique au campus universitaire de Vontovorona**»

Nombre de pages : 47

Nombre de figures : 27

Nombre de tableau : 10

RESUME

Ce travail est l'étude de faisabilité de la mise en place d'un réseau local LAN utilisant la fibre optique. La mise à la disposition de l'enseignement supérieure permet l'interconnexion de tous les départements de l'Ecole et assure la rapidité de l'accès aux informations.

Le réseau fait un compromis entre coûts, performances et maintenance, ainsi notre choix est arrêté sur le câble bi-fibres multimode en gradient d'indice 62.5/125µm qui est le mieux adapté à notre situation et aussi en raison de son prix.

Mots-clés : Fibre optique, architecture, réseau optique, configuration IP

ABSTRACT

This work is the feasibility study of deploying a local network LAN using the optical fiber. The up disposing of the higher education permits the interconnection of all departments of the university and makes sure the rapidity of the information's access.

The network makes a compromise between costs, performances and maintenance, so our choice is stopped on the cable bi fibers multimode graded index 62.5/125µm which is the best adapted to our situation and also because of its price.

Keywords: Optic fiber, architecture, optical network, IP configuration

Rapporteur: Monsieur RAKOTONDRASOA Justin

Adresse de l'auteur : Lot IXC 19 Avarantsena AMBOHIMAHASOA 305

Tel : 0324892895