



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO



ÉCOLE SUPÉRIEURE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT TÉLÉCOMMUNICATION

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

en vue de l'obtention

du **DIPLÔME d'INGÉNIEUR**

Spécialité : Télécommunication

Option : Réseaux et Systèmes (RS)

par : **ANDRIANTSIRESY Manoa Holihantaniaina**

***ÉTUDE ET IMPLÉMENTATION DES DONNÉES
AÉRONAUTIQUES SUR FIBRE OPTIQUE***

Soutenu le 26 Mars 2011 devant la Commission d'Examen composée de :

Président : M.RANDRIAMITANTSOA Paul Auguste

Examineurs : M.RAKOTOMALALA Mamy Alain

M. RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste

Mme. ANDRIANTSILAVO Haja

Directeur de mémoire : M. RANDRIAMAHANDRY François

Encadreur Professionnel : M. RAFANAMBINANTSOA Valohery Clermont

«Misaora an'i Jehovah, ry fanahiko; ary izay rehetra ato anatiko, misaora ny anarany masina. Misaora an'i Jehovah, ry fanahiko ; ary aza misy hadinoinao ny fitahiany rehetra».

Salamo 103 : 1, 2

REMERCIEMENTS

Je ne saurais présenter ce travail sans rendre gloire à Dieu pour sa bonté et sa fidélité, de m'avoir donné la force, le courage et la santé durant la réalisation de ce mémoire.

Ma vive gratitude s'exprime tout particulièrement à Monsieur ANDRIANARY Philippe, Professeur, Directeur de l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, qui m'a donné l'opportunité de suivre mes études supérieures au sein de l'établissement.

Ma sincère reconnaissance va à Monsieur RAZAKARIVONY Jules, Maître de Conférences, Chef de Département Télécommunication, qui s'est toujours efforcé de trouver la meilleure voie pour nous, lors de notre formation.

Mes hommages respectueux sont prononcés à l'intention de Monsieur RANDRIAMAHANDRY François, Ingénieur Principal de la Navigation Aérienne et Directeur du présent mémoire, pour l'aide inestimable et les conseils judicieux qu'il m'a prodigués, tant technique que rédactionnel.

Ma profonde considération s'exprime plus spécialement à Monsieur RAFANAMBINANTSOA Valohery Clermont, Diplômé d'Études Supérieures Spécialisées en Informatique et Encadreur Professionnel du travail en question, pour son soutien, sa sympathie ainsi que le temps et la disponibilité qu'il a fait preuve face à mes sollicitations tout au long de ce mémoire.

Ma sincère gratitude va à l'endroit de Monsieur RANDRIAMITANTSOA Paul Auguste, Professeur Titulaire au sein du Département Télécommunication, qui a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon Jury.

Mes vifs remerciements s'adressent aux autres membres de Jury, pour leur contribution significative à l'amélioration de ce travail :

- Monsieur RAKOTOMALALA Mamy Alain, Assistant d'Enseignement et de Recherche, Enseignant-Chercheur à l'ESPA,
- Monsieur RANDRIAMITANTSOA Andry Auguste, Enseignant-Chercheur à l'ESPA,
- Madame ANDRIANTSILAVO Haja, Enseignant-Chercheur à l'ESPA.

Je joins à ce témoignage de reconnaissance tous nos Enseignants et Personnels de l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo pour le dévouement exemplaire qu'ils ont manifesté durant ces cinq années d'étude pour notre réussite.

Monsieur ANDRIANANTENAINA Zo Ambinintsoa, Chef du Bureau Radioélectrique de l'ASECNA Ivato mérite une mention particulière pour toute l'aide qu'il m'a apportée.

Je tiens à dédier spécialement ce livre et à exprimer ma gratitude la plus profonde et mes remerciements les plus sincères à la mémoire de mon père RANDRIANTSIRESY Ernest qui nous a quittés définitivement. Il aurait tant aimé assister à ce jour. Je prie notre Dieu pour qu'il puisse reposer en paix.

Ma très grande attention sera naturellement à mes parents, à mon frère et à mes deux petites sœurs pour leur amour et leur soutien. Je reconnais les sacrifices que ces longues années ont représentés et je les remercie d'avoir appuyé mes choix et d'avoir toujours su m'encourager.

Mes pensées particulières vont à l'endroit de ma famille, mes amis et mes collègues pour leur aide et appui. Qu'ils trouvent dans ces lignes tous mes remerciements.

Et que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce présent mémoire trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude. MERCI à tous !

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLE DES MATIÈRES	iii
NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS.....	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1 LA TRANSMISSION DES DONNÉES AÉRONAUTIQUES À TRAVERS LE RÉSEAU.....	2
1.1 Préambule.....	2
1.2 Le réseau RSFTA.....	2
1.2.1 Définition	2
1.2.2 Les différents types de données RSFTA.....	3
1.2.2.1 Les données asynchrones	3
1.2.2.2 Les données synchrones	4
1.2.2.3 Les données IP	4
1.3 Les protocoles de communication.....	6
1.3.1 Définition	6
1.3.2 Les catégories de protocole.....	6
1.3.2.1 Les protocoles orientés connexion	6
1.3.2.2 Les protocoles non orientés connexion	6
1.3.3 Les protocoles associés aux données aéronautiques	7
1.3.3.1 Le protocole V24.....	7
1.3.3.2 Le protocole X25.....	10
1.3.3.3 La pile TCP/IP over Ethernet	11
1.4 L'encapsulation des données.....	15
1.4.1 Définition	15
1.4.2 Principe	15
1.5 Le réseau de transport.....	16

1.5.1 Définition	16
1.5.2 Le réseau Frame Relay.....	17
1.5.2.1 Principe.....	17
1.5.2.2 Normalisation	18
1.5.2.3 Avantages	18
1.6 Conclusion	19
CHAPITRE 2 LES CHAÎNES VSAT D'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE	20
2.1 Préambule.....	20
2.2 Notions sur les satellites.....	20
2.3 La modulation numérique.....	21
2.3.1 La modulation BPSK.....	22
2.3.2 La modulation QPSK.....	22
2.4 La technologie VSAT	23
2.4.1 Définition	23
2.4.2 Topologies des réseaux VSAT	23
2.4.2.1 La topologie en étoile	24
2.4.2.2 La topologie maillée	24
2.4.3 Les méthodes d'accès au satellite	25
2.4.3.1 Le FDMA	25
2.4.3.2 Le TDMA.....	26
2.4.3.3 Le CDMA.....	26
2.4.4 Les méthodes d'assignation.....	27
2.5 Structure et fonctionnement des modules VSAT d'entreprise aéronautique.....	27
2.5.2 La partie utilisatrice.....	27
2.5.2.1 Le commutateur de messages.....	28
2.5.2.2 Le commutateur de paquets.....	29
2.5.2.3 Le switch Ethernet.....	29
2.5.3 La station terrienne.....	29

2.5.3.1 Le multiplexeur	30
2.5.3.2 Le modem satellite	30
2.5.3.3 Les convertisseurs de fréquences	31
2.6 Problématiques des solutions satellites.....	31
2.7 Conclusion	33
CHAPITRE 3 LA FIBRE OPTIQUE.....	34
3.1 Préambule.....	34
3.2 Historique	34
3.3 Définition	35
3.4 Principes de base	35
<i>3.4.1 Propagation de la lumière</i>	<i>35</i>
<i>3.4.2 Propagation dans la fibre optique</i>	<i>36</i>
3.5 Fabrication d'une fibre optique en silice	37
3.6 Caractéristiques	38
<i>3.6.1 Dispersion chromatique et dispersion intermodale</i>	<i>38</i>
<i>3.6.2 Atténuation.....</i>	<i>38</i>
<i>3.6.3 Perte par effet de courbure.....</i>	<i>39</i>
<i>3.6.4 Perte par microcourbure</i>	<i>40</i>
<i>3.6.5 Les effets non linéaires.....</i>	<i>40</i>
<i>3.6.6 Fiabilité de la fibre optique</i>	<i>40</i>
<i>3.6.7 Vieillissement de la fibre optique</i>	<i>40</i>
3.7 Les différents types de fibres.....	41
<i>3.7.1 Fibres multimodes</i>	<i>41</i>
3.7.1.1 Fibre à saut d'indice	41
3.7.1.2 Fibre à gradient d'indice.....	41
<i>3.7.2 Fibres monomodes.....</i>	<i>42</i>
3.8 Transmission sur fibre optique	43
3.9 Câblage et raccordement.....	43

3.9.1 Câblage.....	43
3.9.2 Raccordement	44
3.10 Avantages.....	47
3.11 Applications	47
3.12 Conclusion	47
CHAPITRE 4 ÉTUDES RÉALISÉES ET INFRASTRUCTURES EXISTANTES AU SEIN D’UNE ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE À MADAGASCAR	48
4.1 Préambule.....	48
4.2 Le réseau RSFTA existant.....	48
4.3 L’organisation du système VSAT.....	49
4.4 Structure et fonctionnement des chaînes VSAT.....	52
4.4.2 La partie utilisatrice.....	52
4.4.2.1 Le commutateur de messages AMS 1500	53
4.4.2.2 Le commutateur de paquets Megapac	56
4.4.2.3 Le switch Ethernet Cisco.....	56
4.4.3 La station terrienne.....	56
4.4.3.1 Les multiplexeurs : MOL2P et Memotec	57
4.4.3.2 Les modems satellites Datum Systems.....	58
4.4.3.3 Les convertisseurs de fréquences : BUC et LNB	59
4.5 Exemple de transmission de données aéronautiques : cas d’un plan de vol.....	59
4.6 Devis approximatif des infrastructures existantes	62
4.7 Les contraintes des infrastructures existantes.....	62
4.8 Conclusion	63
CHAPITRE 5 ÉTUDE DE L’IMPLÉMENTATION DES DONNÉES AÉRONAUTIQUES SUR LE BACKBONE NATIONAL EN FIBRE OPTIQUE	64
5.1 Préambule.....	64
5.2 Notions sur le backbone.....	64
5.3 Le backbone national en fibre optique à Madagascar.....	64

5.4 Description des besoins.....	66
5.4.1 Le périmètre d'intervention.....	66
5.4.2 Les fonctionnalités attendues.....	66
5.4.2.1 La technique ADSL.....	67
5.4.2.2 L'ADM.....	67
5.4.2.3 Modification des existants de l'entreprise et déploiement de la future infrastructure.....	68
5.4.3 Les qualités de services.....	70
5.4.3.1 Le débit de liaison	70
5.4.3.2 Le temps de réponse	71
5.4.3.3 Le taux de perte des paquets.....	71
5.4.3.4 La disponibilité de liaison	71
5.4.3.5 La sécurité et la confidentialité des données	71
5.4.4 Le système back-up ou système de secours.....	72
5.5 Architecture des nouveaux supports de transmission de données aéronautiques.....	72
5.6 Exemples de transmission de données aéronautiques.....	73
5.6.1 Liaison Mahajanga - Toamasina.....	74
5.6.2 Liaison Mananjary - Toamasina.....	76
5.7 Devis approximatif du nouveau projet.....	78
5.8 Synthèse et avantages du nouveau projet par rapport aux existants.....	78
5.9 Conclusion	79
CHAPITRE 6 SIMULATION DE LA NOUVELLE INFRASTRUCTURE AVEC CISCO PACKET TRACER 5.3.....	80
6.1 Préambule.....	80
6.2 Contexte	80
6.3 Étapes de la simulation.....	82
6.3.1 Étape 1 : Lancement de Cisco Packet Tracer 5.3 et disposition des équipements dans chaque site.....	82
6.3.2 Étape 2 : Câblage et raccordement des équipements	84

6.3.3 Étape 3 : Configuration IP des équipements.....	86
6.3.4 Étape 4 : Configuration des tables de routage.....	91
6.3.5 Étape 5 : Envoi de messages depuis Mahajanga jusqu'à Toamasina	94
6.4 Conclusion	96
CONCLUSION GÉNÉRALE	97
ANNEXE 1 : PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE	98
ANNEXE 2 : ADMINISTRATION DE L'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE	100
ANNEXE 3 : MISSIONS DE BASE DE L'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE	102
ANNEXE 4 : LES ADRESSES RSFTA	103
ANNEXE 5 : EXEMPLE DE DONNÉES AÉRONAUTIQUES : UN PLAN DE VOL	104
GLOSSAIRE.....	106
BIBLIOGRAPHIE	107
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	110
RÉSUMÉ.....	111
ABSTRACT	111

NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS

1. Minuscules latines

e_1	Excentricité des cœurs
e_2	Ellipticité des cœurs
f_0	Fréquence de la porteuse
f_i	Sous-fréquence
i	Indice
n_c	Indice de réfraction du cœur d'une fibre optique
n_g	Indice de réfraction de la gaine d'une fibre optique
d	Distance parcourue par un signal lumineux, écartement transversal
k	Constante, indice
$m(t)$	Signal modulé
n	Paramètre de modulation, facteur de durée de vie d'une fibre optique
$p(t)$	Porteuse
t	Retard
t_i	Tranche horaire

2. Majuscules latines

A	Amplitude
D	Écartement longitudinal
Im	Imaginaire
M	Nombre de symboles
N	Couche
Re	Réel
Rx	Réception
Tx	Transmission

3. Minuscules grecques

θ	Écartement angulaire
θ_{max}	Angle d'entrée maximale de la lumière dans la fibre optique
φ_0	Phase de la porteuse

φ_k	Phase modulée
ω_0	Pulsation de la porteuse

4. Majuscules grecques

Δ	Différence d'indice normalisé
$\Delta\tau$	Décalage de l'élargissement du signal

5. Abréviations

2R	Regeneration - Reshaping
3R	Regeneration – Reshaping - Retiming
ADM	Add Drop Multiplexer
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMS	Automatic Message System
ANSI	American National Standards Institute
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
BCT	Bureau Central de Télécommunication
BdP	Bureau de Piste
BF	Basse Fréquence
BIA	Bureau d'Information Aéronautique
BIA/BdP	Bureau d'Information Aéronautique / Bureau de Piste
BNI	Bureau Notam International
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BSC	Binary Synchronous Communication
BUC	Block Up Converter
CA	Circulation Aérienne
CAT	Centre Automatique de Transit
CCITT	Comité Consultatif International des Téléphones et Télégraphes
CCR	Centre de Contrôle Régional
CDMA	Code Division Multiple Access
CELICA/ENA	Cellule d'Instruction Centre ASECNA/ Exploitation de la Navigation
CELICA/IRE	Cellule d'Instruction Centre ASECNA/ Infrastructure Radioélectrique

CELICA/MTO	Cellule d’Instruction Centre ASECNA/Météorologie
CIV	Centre d’Information de Vol
CLI	Command Line Interface
CMP	Centre Météorologique Principal
CMS	Centre Météorologique Secondaire
CRT	Centre Régional de Télécommunications
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CTS	Clear To Send
CVC	Circuit Virtuel Commuté
CVP	Circuit Virtuel Permanent
DAMA	Demand Assigned Multiple Access
DARPA	Defense Advanced Research Project Agency
DCD	Data Carrier Detect
DEL	Diode Électroluminescente
DL	Diode Laser
DLCI	Data Link Connection Identifier
DoD	Department of Defense
DSR	Data Set Ready
DTR	Data Terminal Ready
EASSy	Eastern Africa Submarin System
ETCD	Équipement Terminal de Circuit de Données
ETTD	Équipement Terminal de Transmission de Données
FCPC	Fiber Channel Physical Contact
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FI	Fréquence Intermédiaire
FIFO	First In First Out
FIR	Flight Information Region
FPL	Flight Plan
FR	Frame Relay
GST	Gestion Stock et Transit
HDLC	High level Data Link Control

HF	Haute Fréquence
INTELSAT	International Telecommunications Satellite
IOE	Interface Optique d'Émission
IOR	Interface Optique de Réception
IP	Internet Protocol
ISO	International Standard Organization
LAN	Local Area Network
LAP-B	Link Access Protocol - Balanced
laser	light amplification by stimulated emission of radiation
LC	Lucent Connector
LNB	Low-Noise Block
LNC	Low-Noise Converter
LND	Low-Noise Downconverter
MAN	Metropolitan Area Network
MEB	Maintenance Électrique et Balisage
MIC	Media Interface Connector
MIE	Multiplexeur à Insertion/Extraction
MOL2P	Multiplexeur Optimisant la Liaison avec la Priorité à la Parole
MTO	Météorologie
MT-RJ	Mechanical Transfer-Registered Jack
MTU	Maximum Transfer Unit
NGVL	Numéro de Groupe de Voies Logiques
NVL	Numéro de Voie Logique
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OSI	Open Systems Interconnection
PAMA	Pre Assigned Multiple Access
PC	Personal Computer
PCI	Protocol Control Information
PDU	Protocol Data Unit
PSK	Phase Shift Keying
QoS	Qualité de Service
QoS	Quality of Service

QPSK	Quaternary Phase Shift Keying
R	Regeneration
RAD	Radio Électrique
RD	Receive Data
RI	Ring Indicator
RSFTA	Réseau des Services Fixes des Télécommunications Aéronautiques
RSI	Réseau et Système Informatique
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
RTS	Ready To Send
SAF	Service Administratif et Financier
SC	Square Connector
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDLC	Synchronous Data Link Control
SDU	Service Data Unit
SENA	Service Exploitation Météorologique
SIGC	Service Infrastructure Génie Civil
SMA	Sub Miniature version A
SSLI	Service de Sécurité et Lutte contre Incendie
ST	Straight Tip
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TCTS	Trans Canada Telephon System
TD	Transmission Data
TDMA	Time Division Multiple Access
Telma	Télécom Malagasy
TWR	Tour de Contrôle
UIT	Union Internationale des Télécommunications
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing

INTRODUCTION GÉNÉRALE

« Assurer la sécurité optimale des usagers de l'espace aérien », telle est souvent la mission de base de toute entreprise aéronautique. Cependant, comment pourrait-elle accomplir cette tâche si cruciale ? Conforme aux exigences de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) pour toute phase de vol des aéronefs, la navigation aérienne a généralement recours au « Réseau des Services Fixes des Télécommunications Aéronautiques » ou RSFTA, l'unité fondamentale des télécommunications sol-sol. À l'intérieur de ce réseau mondial, d'innombrables messages liés à la sécurité aérienne sont échangés via la technologie satellite dénommée système VSAT pour Very Small Aperture Terminal. Il s'agit d'une technique de transmission de données qui utilise des antennes paraboliques et des satellites en orbite géostationnaire autour de la terre. Les performances de cette technologie ne sont pas toutefois idéales. Il existe notamment des verrous à lever, en termes de fiabilité, de qualité de service, et tout particulièrement de rentabilité.

Ainsi, dans un domaine en perpétuelle évolution, il importe pour toute entreprise de suivre le rythme des diverses avancées technologiques. Parmi celles-ci figure la naissance de la fibre optique qui marque le « boom » de la télécommunication aéronautique, étant un système plus économique quoique à très haut débit. La fibre optique constitue en effet un tournant dans le monde de la communication. La convergence des systèmes de télécommunication optique fait partie des enjeux principaux des acteurs de la télécommunication d'aujourd'hui.

Intitulé « Étude et implémentation des données aéronautiques sur fibre optique », l'objectif de ce mémoire est donc d'analyser et de critiquer les supports de communication satellite de l'entreprise aéronautique afin de mettre sur pied la nouvelle infrastructure de transmission de données RSFTA, basée sur le backbone en fibre optique.

Dans le présent mémoire, nous allons dans un premier chapitre décrire la transmission de ces données aéronautiques à travers le réseau de transport de l'entreprise. Les bases théoriques sur les chaînes VSAT d'entreprise aéronautique et sur la fibre optique seront représentées dans le second chapitre et le troisième chapitre. Dans l'appréhension du concept et des éléments clés de ce travail, le quatrième chapitre sera consacré aux études réalisées et aux infrastructures existantes au sein d'une entreprise aéronautique à Madagascar. Le cinquième chapitre consistera principalement à découvrir la solution propice qui est l'implémentation proprement dite des données aéronautiques sur le backbone national en fibre optique. Une approche pratique du nouveau projet sera conçue dans le dernier chapitre et terminera ce travail.

CHAPITRE 1

LA TRANSMISSION DES DONNÉES AÉRONAUTIQUES À TRAVERS LE RÉSEAU

1.1 Préambule

Les télécommunications sol-sol se trouvent être un des éléments importants de la navigation aérienne. En effet, des messages sont échangés entre deux points afin d'assurer la sécurité des aéronefs durant toutes les phases de vol. Pour faciliter l'échange de ces messages, la plupart des entreprises aéronautiques s'appuie sur le concept de réseau. Un réseau est un ensemble d'entités (objets, personnes, etc.) interconnectées les unes avec les autres, permettant la circulation et la transmission des éléments matériels ou immatériels entre chacune de ces entités selon des règles bien définies. [1]

De ce fait, ce chapitre va nous donner un aperçu général de ces données aéronautiques véhiculées et leurs aspects protocolaires. Il montrera également l'acheminement de ces données dans le réseau de transport.

1.2 Le réseau RSFTA

1.2.1 Définition

Une unité essentielle constitutive des télécommunications sol-sol est le réseau RSFTA, réseau mondial conçu en fonction des besoins spécifiques de l'aviation civile internationale. C'est un réseau qui relie toutes les stations fixes des aéroports, notamment le Centre d'Information de Vol (CIV), le Bureau d'Information Aéronautique (BIA), le Bureau de Piste (BdP), la Tour de Contrôle (TWR), la Météorologie (MTO) et autres. Ces stations éparses dans le monde, sont reliées par des liaisons appropriées, conçues de façon à desservir les aéronefs pendant leurs phases de vol.

Les messages liés à la sécurité de la navigation aérienne sont : des plans de vol pour les avions ou Flight Plans (FPL), des autorisations de survol de territoire, certains messages météorologiques, etc.

Tout enregistrement et retransmission de ces messages se fait à l'aide de mode d'adressage normalisé par l'OACI.

1.2.2 Les différents types de données RSFTA

Il existe trois types de données aéronautiques échangées au sein du réseau RSFTA : les données asynchrones, les données synchrones et les données IP (Internet Protocol).

1.2.2.1 Les données asynchrones

Ce sont des données qui exploitent la liaison asynchrone.

La transmission asynchrone de la figure 1.01 s'effectue au rythme de la présence de données, c'est-à-dire, s'il n'y a pas de données, il n'y a pas de signal transmis. Les informations sont sous forme de caractère. On utilise la plupart du temps le code ASCII ou American Standard Code for Information Interchange (par exemple : le caractère A correspond au 41H du code ASCII). [2]

Les fréquences d'horloge de l'émetteur et du récepteur peuvent être sensiblement différentes. De ce fait, pour effectuer correctement la lecture des bits reçus, le récepteur doit « être réveillé ». L'intervalle de temps pendant lequel s'effectue la lecture doit correspondre, au temps de transmission près, à celui d'émission du bit par l'émetteur. Les horloges émetteur et récepteur doivent être, au temps de propagation près, en phase. Cette opération s'appelle la synchronisation des horloges. [2]

En transmission asynchrone, un caractère est délimité par un bit, dit bit de Start, et un ou plusieurs bits, dits bits de Stop. Le bit de Start permet de synchroniser le récepteur, c'est un front descendant à partir du repos de la ligne. Les bits de Stop quant à eux permettent de terminer la trame, c'est la signalisation de la fin de la trame. Après l'émission des bits de Stop, la ligne se met au repos. Le bit de Repos est un niveau haut persistant tant qu'il n'y a pas de données à transmettre. [3]

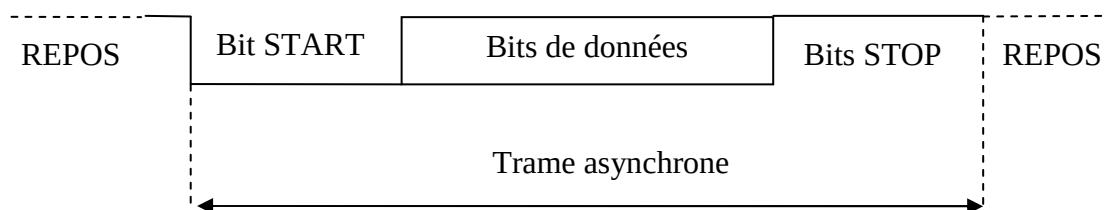


Figure 1.01: Mode de transmission asynchrone [3]

1.2.2.2 Les données synchrones

Ce sont des données qui utilisent la liaison synchrone.

Dans ce mode de transmission, comme illustré sur la figure 1.02, les caractères à transmettre sont regroupés pour former des blocs. De manière identique à la transmission asynchrone, le début et la fin d'une entité transmise, ici le bloc, doivent être délimités. Les blocs sont délimités par des caractères spéciaux (fanion de début et de fin) reconnus comme tels par le protocole utilisé. Le fanion de début d'un bloc peut servir de fanion de fin du précédent. Notons que la structure de la trame synchrone varie suivant le type de protocole utilisé, mais souvent on rencontre des informations de commande et des informations de contrôle. Les principaux protocoles synchrones sont : BSC (Binary Synchronous Communication), SDLC (Synchronous Data Link Control) et HDLC (High level Data Link Control).

Les horloges de l'émetteur et du récepteur doivent être parfaitement synchronisés. Même en absence de données utiles, il faut garder la synchronisation. L'efficacité du mode synchrone est supérieure à celle du mode asynchrone. Seules les transmissions à faible débit seront effectuées en mode asynchrone (débit ≤ 2400 bit/s). [3]

Fanion	Commande 8 bits	Blocs de n caractères de données	Contrôle 8 bits	Fanion
--------	--------------------	----------------------------------	--------------------	--------

Figure 1.02: *Structure type des données en transmission synchrone*

1.2.2.3 Les données IP

Ce sont des données qui sont échangées entre les différents nœuds d'un réseau informatique utilisant généralement le modèle TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), facile à implémenter.

Le réseau informatique est un ensemble d'équipements reliés entre eux pour échanger des informations. On appelle nœud l'extrémité d'une connexion, qui peut être une intersection de plusieurs connexions (un ordinateur, un routeur, etc.). On distingue plusieurs types de réseau informatique, depuis le LAN (Local Area Network) jusqu'au WAN (Wide Area Network), mais pour notre part, nous allons plutôt nous pencher sur le réseau LAN.

Le réseau LAN est un réseau local, constitué d'un ensemble d'ordinateurs appartenant à une même organisation et reliés entre eux dans une petite aire géographique par un réseau, souvent à l'aide d'une même technologie (la plus répandue étant Ethernet). La vitesse de transfert d'un réseau local peut s'échelonner entre 10 Mbit/s (pour un réseau Ethernet) et 1 Gbit/s. En élargissant le contexte de la définition aux services qu'apporte le réseau local, il est possible de distinguer deux modes de fonctionnement : le mode « peer to peer » (il n'y a pas de serveur et de client, chaque ordinateur a un rôle similaire) et le mode « client/serveur » (un ordinateur central fournit des services aux utilisateurs). C'est ce dernier mode qui est souvent utilisé. Rappelons que les clients sont des applications qui prennent l'initiative du lancement de la communication, c'est-à-dire demande l'ouverture de connexion, d'une requête, l'attente de la réponse à la requête, reprise du programme. Les serveurs quant à eux sont des applications qui attendent la communication, c'est-à-dire l'attente d'une demande d'ouverture de connexion, la réception d'une requête et l'envoi d'une réponse. [4]

Chaque nœud connecté à un réseau informatique LAN possède une adresse IP ou numéro IP afin de pouvoir l'identifier dans le réseau. Limitée à 4 octets (32 bits), on représente l'adresse IP par quatre valeurs décimales séparées par un point, la notation est dite décimale pointée : X.Y.Z.T. Pour assurer une meilleure utilisation de l'espace d'adressage et d'adapter celui-ci à la taille et au besoin de chaque organisation, il a été introduit une modularité dans la répartition des octets entre l'adresse réseau et l'adresse machine (adresse hôte). Ainsi, trois classes d'adresse ont été définies comme l'indique le tableau 1.01. [5]

Classes d'adresse	Adresse réseau	Adresse hôte
Classe A	X	YZT
Classe B	XY	ZT
Classe C	XYZ	T

Tableau 1.01: *Tableau des classes d'adresse*

On aura donc, par exemple, pour la classe A :

- X : 8 bits, ce qui correspond à $2^8 = 256$ réseaux formés
- YZT : 24 bits, soit $2^{24} = 16\,777\,216$ machines

1.3 Les protocoles de communication

1.3.1 Définition

Le protocole est un langage de communication entre deux machines. C'est un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données dans un réseau. [1]

1.3.2 Les catégories de protocole

Les protocoles se différencient par le mode de service utilisé, c'est-à-dire la façon dont ils gèrent les données. Ils sont classés généralement en deux grandes catégories : les protocoles orientés connexion et les protocoles non orientés connexion.

1.3.2.1 Les protocoles orientés connexion

Il s'agit des protocoles opérant un contrôle de transmission des données pendant la communication établie entre deux machines. Dans un tel schéma, la machine réceptrice envoie des accusés de réception, au cours de la communication, à la machine émettrice pour lui signaler l'arrivée des données. [6]

Prenons l'exemple de TCP. En effet, c'est un protocole de transport de la pile TCP/IP dit fiable : mode connecté et acquitté. Il assure l'arrivée des paquets sans altérations et dans l'ordre. C'est-à-dire qu'il numérote les paquets, et à la réception, il vérifie qu'ils sont tous bien arrivés. S'il existe des paquets dupliqués, il les élimine. En cas de perte des paquets, il demande la retransmission. Un réassemblage des paquets est effectué avant de les donner aux couches supérieures. Des accusés de réception sont envoyés pour prévenir l'expéditeur que les données sont arrivées.

1.3.2.2 Les protocoles non orientés connexion

Il s'agit d'un mode de communication dans lequel la machine émettrice envoie des données sans prévenir la machine réceptrice, et la machine réceptrice reçoit les données sans envoyer d'avis de réception à la première. [6]

C'est le cas du protocole IP de la couche réseau de la pile TCP/IP. Comme les paquets passent par des dizaines de nœuds, il arrive que les paquets se perdent ou arrivent en double exemplaire. Et même si le paquet arrive à destination, le protocole IP ne permet pas de savoir si le paquet est bien arrivé (aucun accusé de réception). C'est la raison pour laquelle il a besoin de TCP pour fiabiliser la connexion. [32]

1.3.3 Les protocoles associés aux données aéronautiques

Multiples sont les protocoles de transmission de données aéronautiques ou données RSFTA, mais les plus souvent rencontrés sont : le protocole V24 pour les données asynchrones, le protocole X25 pour les données synchrones et la pile TCP/IP over Ethernet pour les données IP.

1.3.3.1 Le protocole V24

1.3.3.1.1 Notions d'ETTD et d'ETCD

La communication entre systèmes informatiques s'effectue grâce à des liaisons dont les principaux éléments sont définis par des normes dans le cadre du CCITT (Comité Consultatif International des Téléphones et Télégraphes). La figure 1.03 montre ces éléments. [7]



Figure 1.03: *Éléments d'une liaison entre systèmes informatiques [7]*

L'ETTD (Équipement Terminal de Transmission de Données) est un élément qui ne se connecte pas directement à la ligne de transmission (un ordinateur, un terminal, une imprimante, etc.). [7]

L'ETCD (Équipement Terminal de Circuit de Données) assure la transmission des données (un modem, un multiplexeur, etc.). Il a deux fonctions principales :

- l'adaptation du signal de l'ETTD à la ligne (codage et modulation en émission, démodulation et décodage en réception) ;
- la gestion de la liaison (établissement, maintien et libération de la ligne). [7]

1.3.3.1.2 Définition

La norme V24 définit les caractéristiques fonctionnelles de la jonction ETTD - ETCD pour un connecteur DB25. Elle est fonctionnellement équivalente à la norme RS232. La liaison série RS232 des PC (Personal Computer) utilise généralement un protocole asynchrone. Effectivement, en transmission série, tous les bits d'un mot ou d'un message sont transmis successivement sur une même ligne. La vitesse de transmission est définie à l'avance, elle est donnée en bit/s. Pour la liaison RS232, les vitesses normalisées utilisées sont : 150, 300, 600, 1200, 2400,... [7]

Le tableau 1.02 nous donne un aperçu de quelques circuits de jonction et notons que ces derniers sont actifs niveau bas.

RS232	Fonction
Transmission Data (TD)	Transmission de données
Receive Data (RD)	Réception de données
Data Terminal Ready (DTR)	L'ETTD est prêt et demande à l'ETCD de se connecter à la ligne
Data Set Ready (DSR)	L'ETCD est prêt à recevoir les commandes en provenance de l'ETTD: la ligne est connectée
Ready To Send (RTS)	L'ETTD demande à l'ETCD de s'apprêter à recevoir des données, pour les émettre sur la ligne
Clear To Send (CTS)	L'ETCD est prêt à émettre des données sur la ligne qui lui parviendront de l'ETTD
Data Carrier Detect (DCD)	Porteuse détectée par l'ETCD : le signal reçu par l'ETCD est conforme à ce qu'il attendait
Ring Indicator (RI)	Utilisé pour les appels automatiques, indique à l'ETTD que l'ETCD vient de détecter une demande de connexion

Tableau 1.02: Les circuits de commande [7]

1.3.3.1.3 Echange de données par l'intermédiaire d'une liaison V24

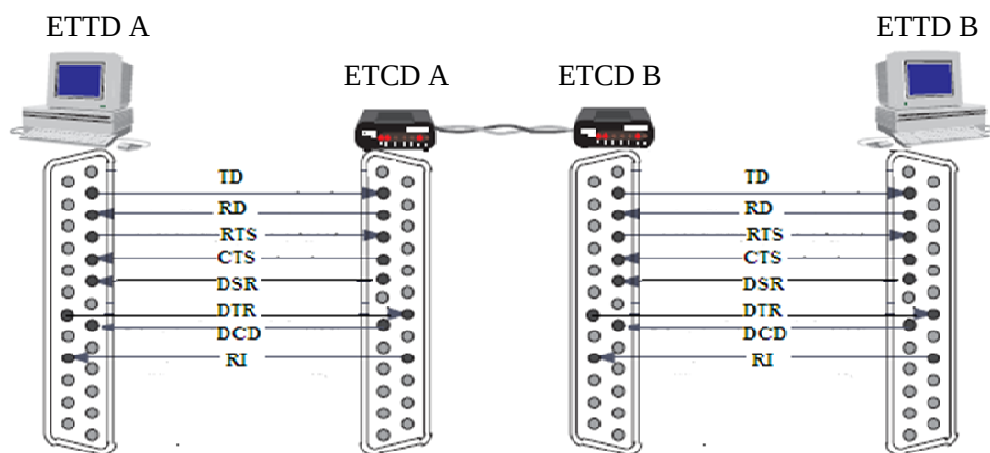


Figure 1.04: Les principaux circuits utilisés dans une liaison V24 [7]

La figure 1.04 ci-dessus montre les principaux circuits utilisés dans une liaison V24.

Les données s'échangent par les circuits TD et RD. Avant la transmission de données, la connexion doit être établie entre les deux systèmes. Les chronogrammes de la figure 1.05 décrivent les différentes phases de l'établissement d'une liaison entre le système émetteur A et le système récepteur B :

- Phase 1 : Connexion de ligne sur les systèmes A et B. Les signaux DTR et DSR peuvent être validés suite à une procédure de réponse automatique transmise par le circuit RI ;
- Phase 2 : Validation de l'émission sur A (RTS=0 et CTS=0). L'ETCD A émet une porteuse sur la ligne ;
- Phase 3 : Détection de porteuse par l'ETCD B (DCD=0) ;
- Phase 4 : Transmission de données ;
- Phase 5 : Arrêt de l'émission par A (RTS=1 et CTS=1) ;
- Phase 6 : Déconnexion de la ligne sur A et B (DTR=1 et DSR=1). [7]

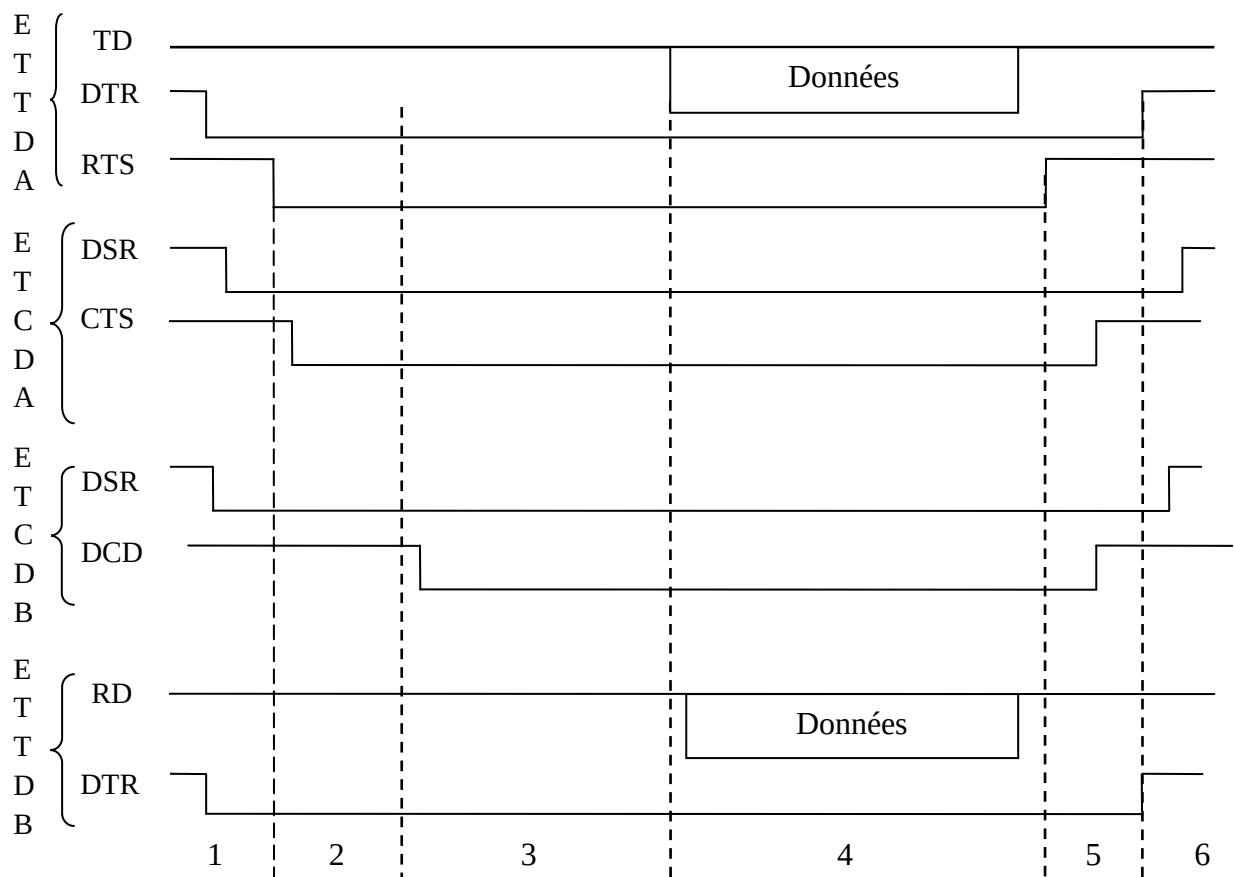


Figure 1.05: Etablissement de la liaison entre deux systèmes avec la norme V24 [7]

1.3.3.2 Le protocole X25

Conçu par TCTS (Trans Canada Telephon System) et Telnet, le protocole X25 est un protocole de communication normalisé par commutation de paquets. Il permet la transmission des données par une liaison synchrone. L'avis X25 adopté par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) définit les protocoles d'accès au réseau, c'est-à-dire le protocole entre l'ETTD et l'ETCD. Ce protocole travaille en mode connecté et intègre les trois couches basses du modèle OSI (Open Systems Interconnection). La figure 1.06 montre l'architecture du protocole X25. [5]

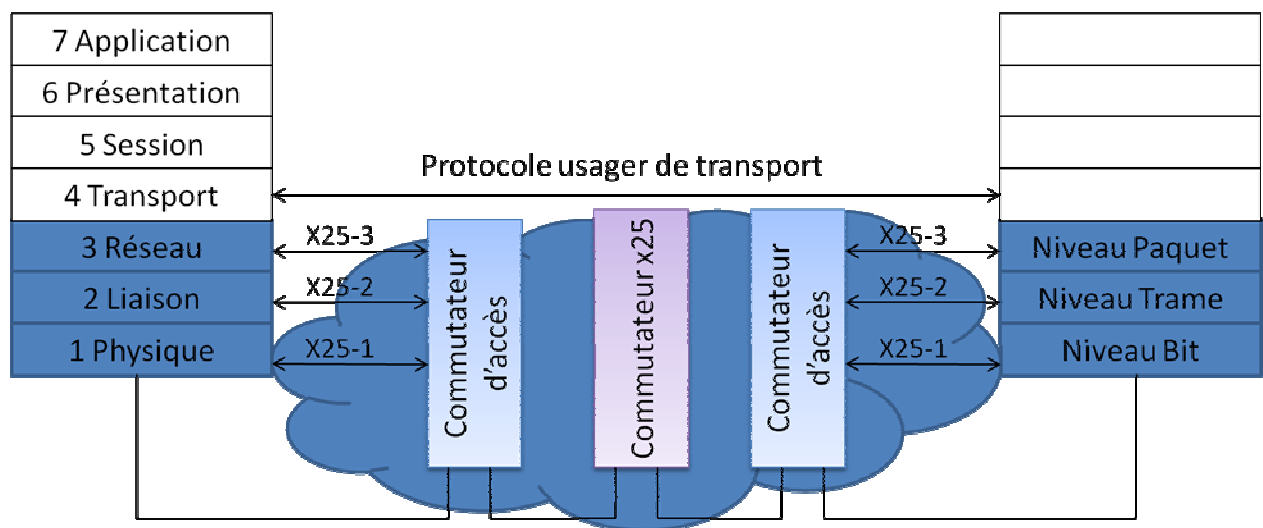


Figure 1.06: Architecture du protocole X25 [5]

1.3.3.2.1 La couche physique ou le niveau X25-1 (niveau bit)

Ce niveau concerne les interfaces physiques (X21, V35,...) entre l'équipement d'abonné et l'équipement d'accès X25. [3]

1.3.3.2.2 La couche liaison ou le niveau X25-2 (niveau trame)

Au niveau trame, X25-2 ajoute des informations de service en tête et à la fin des différents paquets (adresse des stations concernées, informations de contrôle, informations de commande, etc.) permettant de contrôler la transmission appelée encapsulation. Effectivement, les paquets X25 sont encapsulés dans les trames HDLC. Le protocole HDLC LAP-B (Link Access Protocol - Balanced) est un protocole point à point en duplex intégral, dans lequel les deux stations communicantes ont une responsabilité égale vis-à-vis de la liaison, chacune des extrémités

pouvant émettre une commande et une réponse. L'une des stations est l'ETTD, l'autre le nœud de rattachement au réseau ou ETCD. [3][5]

1.3.3.2.3 La couche réseau ou le niveau X25-3 (niveau paquet)

La recommandation X25-3 gère l'établissement, le maintien et la libération des circuits virtuels. En effet, le circuit virtuel définit un chemin logique entre deux extrémités. Pour le protocole X25, C'est une association bidirectionnelle entre l'émetteur et le récepteur. Un circuit virtuel une fois établie permet de considérer la connexion entre deux ETTD comme une liaison directe. On peut le considérer comme une liaison téléphonique classique, c'est-à-dire en commutation de circuits. [3][5]

Cette liaison virtuelle peut être permanente (Circuit Virtuel Permanent ou CVP) ou établie à la demande (Circuit Virtuel Commuté ou CVC). La liaison CVP établit un circuit qui est utilisé pour des échanges fréquents de données entre des ETTD, elle correspond à des circuits virtuels préconfigurés. La liaison CVC quant à elle utilise des circuits temporaires pour des transferts occasionnels entre des ETTD ; le caractère temporaire nécessite un établissement de la communication puis une déconnexion pour chaque connexion. [3][5]

La connexion entre deux adresses d'extrémité s'expriment par une correspondance entre deux références appelées voies logiques. Une voie logique est une technique de multiplexage d'une ligne physique. À chaque voie logique est attribué un numéro nommé NVL (Numéro de Voie Logique). X25 peut mettre en œuvre 4096 voies logiques simultanément entre un ETTD et un ETCD. Les voies logiques sont classées en groupe de voies logiques et chaque groupe possède un numéro appelé NGVL (Numéro de Groupe de Voies Logiques). [3]

Le niveau X25-3 résout donc les problèmes d'adressage et de multiplexage des connexions virtuelles sur la même liaison d'abonné. Il assure également le transfert de données, le contrôle de flux, la fragmentation et le réassemblage des paquets. [3]

1.3.3.3 La pile TCP/IP over Ethernet

L'architecture TCP/IP a été développée, dans le milieu des années 1970, par la DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) pour les besoins d'interconnexion des systèmes informatiques de l'armée (DoD ou Department of Defense). Aujourd'hui, TCP/IP est le protocole

standard de tous les réseaux, du LAN au WAN. Le modèle en couches utilisant TCP/IP est représenté sur la figure 1.07 et comporte quatre couches. [4][5]

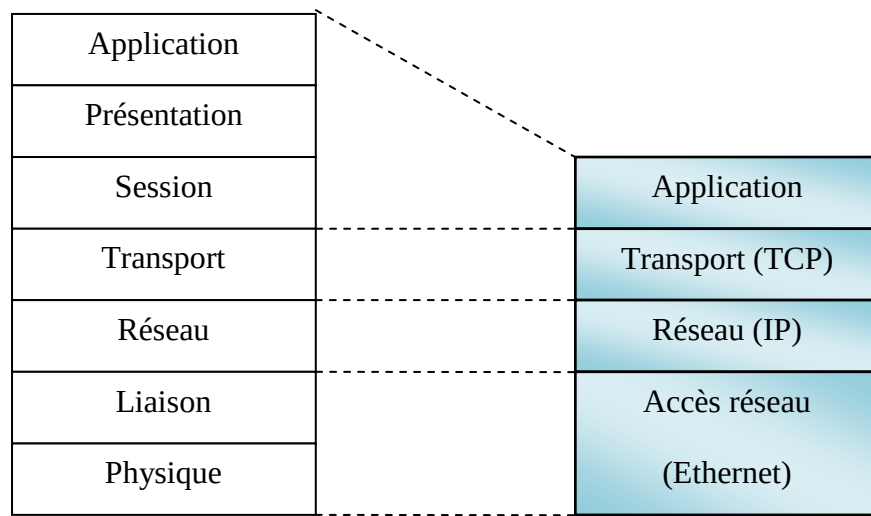


Figure 1.07: *L'architecture TCP/IP* [5]

Dans le modèle TCP/IP, les données de l'application constituent des messages, ceux-ci sont transportés dans les segments qui seront émis sur le réseau sous forme de datagrammes. L'unité de transport élémentaire est la trame qui constitue au niveau physique un train de bits. [5]

1.3.3.3.1 La couche accès réseau (Ethernet)

La couche accès réseau correspond aux couches 1 et 2 du modèle OSI. Elle prend en charge la coordination de la transmission de données (synchronisation), la conversion des signaux (analogique/numérique), le contrôle des erreurs, etc. [4][33]

Ethernet est aussi implémenté dans cette couche. Chaque trame Ethernet contient un en-tête de 14 octets qui contient les adresses source et destination. La taille de l'unité de transmission maximale MTU (Maximum Transfer Unit) est fixée à 1500 octets. [4][5]

Développé en 1976 par les sociétés Xerox, Intel et Digital Equipment, Ethernet s'est progressivement imposé comme une technologie incontournable sur les réseaux locaux. Elle connecte les postes de travail aux serveurs des entreprises. Les ordinateurs d'un réseau sont reliés suivant la déclinaison d'Ethernet adopté à l'aide de câbles coaxiaux, de câbles en paires torsadées cuivre ou de fibre optique. [8][9]

Une méthode connue sous le nom de « Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection » ou CSMA/CD, dérivée d'Aloha qui un système de transmission radio entre sites répartis sur plusieurs îles et un site central, est utilisée par le réseau de type Ethernet. Son principe est de laisser chacun libre de gérer ses émissions en fonction de ses besoins et de la disponibilité du réseau. En l'absence d'information à transmettre, la station écoute (ou reçoit) les paquets qui circulent sur le câble. Quand la station a besoin d'émettre un ou plusieurs paquets, elle agit indépendamment des autres. Chaque machine a à tout instant la possibilité de débiter une transmission de manière autonome, la méthode d'accès est dite à accès multiple. Une fois les paquets émis, la station continue à écouter le canal en vue de détecter une éventuelle collision qui est un phénomène résultant de la superposition de deux trames lorsque deux machines émettent simultanément. Si tel est le cas, elle réitère l'opération d'émission des paquets. Cependant, de manière à ne pas saturer un réseau qui s'avèrerait déjà très chargé, la machine n'essayera pas indéfiniment de retransmettre un paquet. Si à chaque tentative, elle se trouve en conflit avec une autre ; après un certain nombre d'essais défectueux, le paquet est éliminé. On évite ainsi l'effondrement du réseau. Les couches supérieures sont averties que la transmission du message a échoué. [8][10]

1.3.3.3.2 La couche réseau (IP)

Cette couche présente les mêmes fonctionnalités que la couche réseau d'ISO (International Standard Organization) en mode datagramme. Elle gère les connexions entre les nœuds du réseau. Un service supplémentaire fourni par cette couche concerne la façon de router les datagrammes IP entre les nœuds d'un réseau. Le routage est la manière de déterminer le meilleur trajet pour l'acheminement des datagrammes IP de la source au destinataire. [4][5][11]

La couche réseau sert aussi à éliminer les congestions et à réguler le flot de données. [11]

1.3.3.3.3 La couche transport (TCP)

Elle assure l'acheminement des données ainsi que les mécanismes permettant de connaître l'état de la transmission. La couche transport, sur laquelle s'appuient les applications, fournit un service en mode connecté : TCP. Effectivement, TCP assure le contrôle des données en vérifiant les envois de données par des signaux d'accusés de réception. [5][33]

1.3.3.4 La couche application

Un mécanisme particulier, les sockets, assure une communication d'application à application. Les sockets fournissent une interface d'accès, à partir d'un hôte, aux interfaces de transport comme l'illustre la figure 1.08. Cette interface d'accès permet donc d'utiliser facilement le protocole de transport TCP. [5][12]

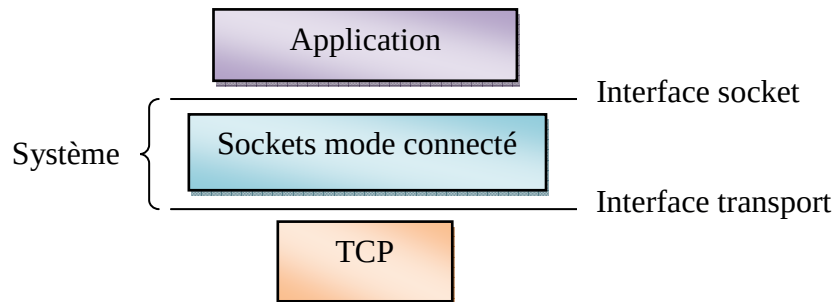


Figure 1.08: L'interface socket [12]

Un socket est la combinaison de l'adresse IP et du numéro de port. En fait, l'adresse IP du serveur ne suffit pas, car le serveur peut comporter différents services ; il faut préciser le service demandé au moyen d'un numéro de port, qui permet d'atteindre un processus particulier sur la machine serveur. Bref, l'adresse IP permet de s'adresser à une machine donnée, et le numéro de port permet de s'adresser à un service particulier sur cette machine. Un numéro de port comprend 16 bits (0 à 65 535). Les numéros de 0 à 1023 sont réservés, par convention, à des services spécifiques (exemples : 80 : serveur web, 25 : mail, etc.) [12]

De ce fait, un socket est simplement un moyen de désigner l'extrémité d'une connexion, côté émetteur ou récepteur. Une fois la connexion (bidirectionnelle) établie via des sockets entre un processus client et un processus serveur, ceux-ci peuvent se communiquer. La figure 1.09 représente cette communication socket. [12]

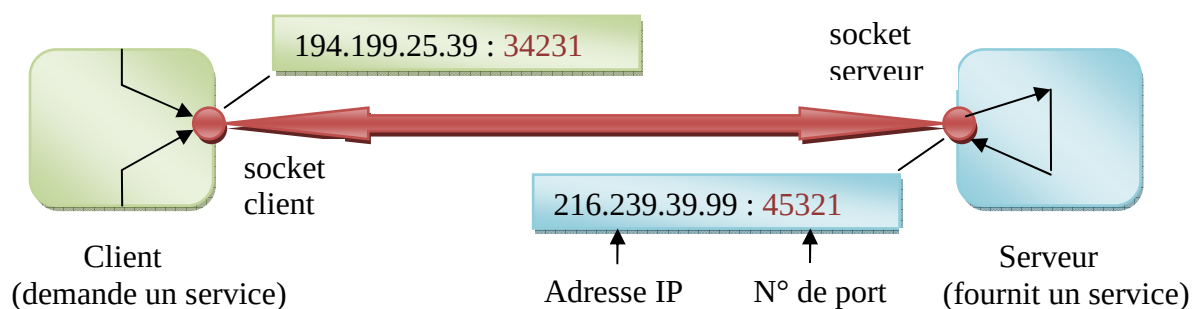


Figure 1.09: Exemple type d'une communication socket [12]

La communication entre deux machines utilisant la pile IP over Ethernet se résume par la figure 1.10 ci-après.

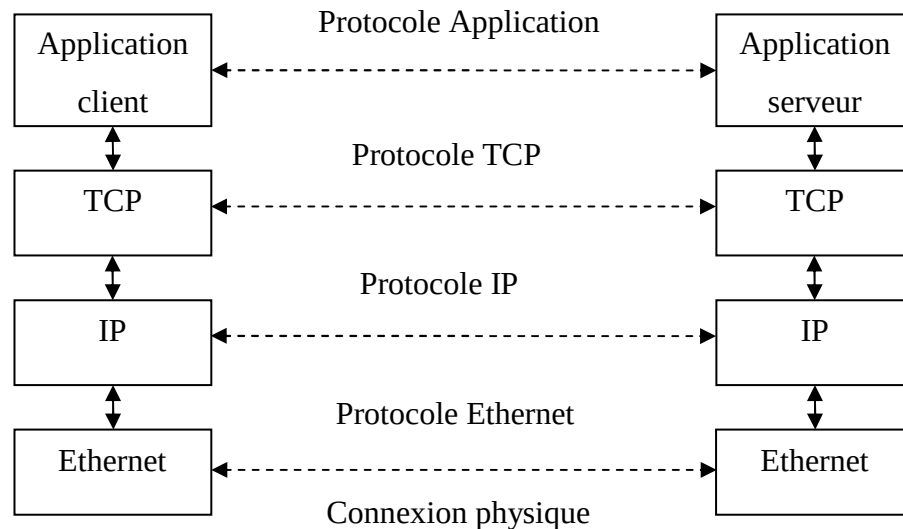


Figure 1.10: Connexion de deux applications sur un réseau Ethernet, TCP/IP [4]

1.4 L'encapsulation des données

Comme toutes les données vont transiter à travers le réseau de transport, il est indispensable de parler de l'encapsulation de ces données.

1.4.1 Définition

L'encapsulation est une technique qui permet de placer des données dans une enveloppe afin qu'elles soient compatibles avec un autre protocole de réseau de transport. On place ainsi un protocole dans un autre protocole. Cela permet de transporter des paquets de données formatés dans un protocole à travers un réseau ne supportant des données que formatées dans un autre protocole. Lorsque le paquet a été transporté et qu'il doit être traité, il subit le processus inverse de désencapsulation. [13]

Par exemple, un paquet IP est encapsulé dans une trame Frame Relay par le multiplexeur puis est envoyé sur le réseau Frame Relay. L'opération de démultiplexage est effectuée par le processus inverse en ouvrant la trame Frame Relay pour traiter le paquet IP. [13]

1.4.2 Principe

Une entité de la couche N dialogue avec son homologue sur un site adjacent en s'échangeant des unités de données du protocole ou PDU (Protocol Data Unit). Ce PDU est constitué par les

informations de gestion du protocole connu sous le nom de PCI (Protocol Control Information), et éventuellement par des données issues de l'unité de données du service ou SDU (Service Data Unit). En effet, cette entité de la couche N reçoit un SDU de la couche supérieure N+1, l'encapsule avec un PCI, ce qui devient alors un PDU et le passe à la couche inférieure N-1. L'entité de la couche inférieure N-1 reçoit ce PDU mais le voit comme un SDU. Elle répète un processus similaire au niveau de sa couche et ainsi de suite. La figure 1.11 résume ce principe d'encapsulation. [14][15][16]

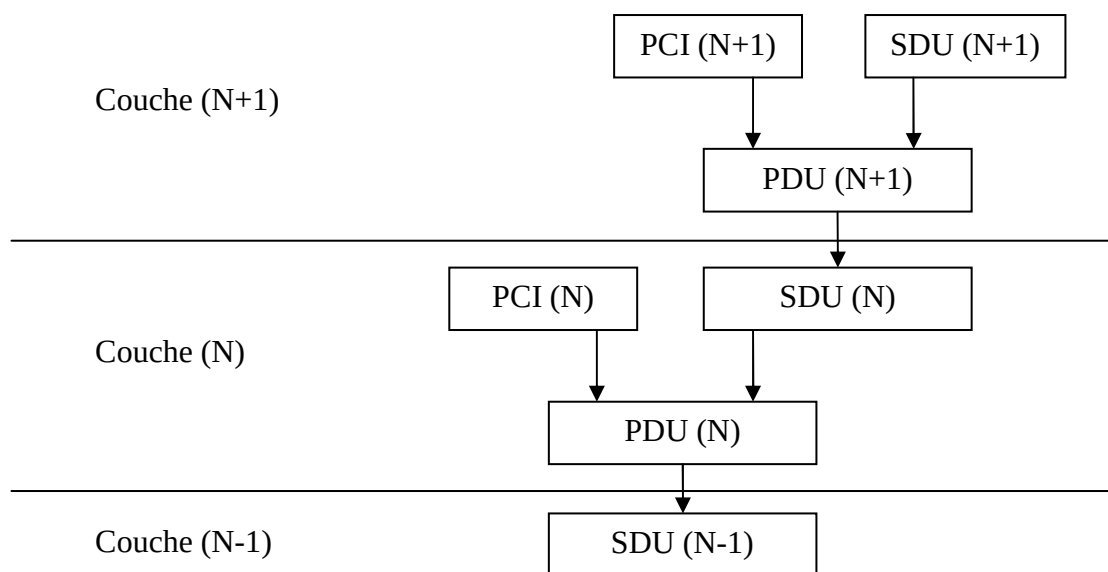


Figure 1.11: *Principe d'encapsulation* [16]

1.5 Le réseau de transport

1.5.1 Définition

Le réseau de transport correspond au réseau réel de transmission de données. Plus précisément, les données partent de l'émetteur, puis transitent dans le réseau de transport, avant d'arriver au récepteur.

Rappelons que l'échange des données aéronautiques requiert un débit élevé et un encombrement minimum. De ce fait, nous allons nous intéresser au réseau Frame Relay (FR).

1.5.2 Le réseau Frame Relay

1.5.2.1 Principe

Le Relais de Trames ou FR a été conçu par l'UIT comme étant un réseau de transfert rapide de données à faible taux d'erreur. Il est considéré comme la nouvelle technologie de base de commutation de paquets, standardisé par l'UIT et l'ANSI (American National Standards Institute). C'est un réseau pour les échanges intersites des entreprises. Il offre un service en mode connecté et couvre les couches 1 et 2 du modèle OSI. La commutation se faisant au niveau 2, toutes les données sont encapsulées dans une trame FR portant l'identifiant DLCI (Data Link Connection Identifier) du prochain commutateur du FR qui possède un chemin virtuel vers la destination. [17]

Ce réseau introduit également les notions d'ETTD, d'ETCD et de circuits virtuels. La connexion est établie à travers une liaison virtuelle, comparable à un circuit virtuel X25, identifiée par un identificateur de lien virtuel appelé DLCI similaire au NVL d'X25. Le DLCI permet d'adresser 1024 liaisons virtuelles, mais seules 992 sont utilisables, les restes sont réservées (par exemple, DLCI 0 et 1023 sont destinés pour la signalisation de congestion). La connexion virtuelle entre les extrémités résulte de la concaténation des DLCI. À l'instar des NVL d'X25, les DLCI n'ont qu'une signification locale, c'est-à-dire entre un ETTD et son ETCD. Dans la figure 1.12 qui montre l'exemple d'acheminement des données dans le réseau, la liaison virtuelle entre A et C résulte de la concaténation des voies logiques : 245, 18, 35 et 25. Les tables d'acheminement sont établies sous la responsabilité de l'opérateur (CVP) ou du réseau lors d'une demande de connexion (CVC). Et rappelons que FR fournit un multiplexage de nombreuses données à travers un seul lien de communication en se servant du concept circuit virtuel. [5]

Le Relais de Trames a aussi été débarrassé de toutes les fonctions de correction d'erreurs et de contrôle de flux qui se sont reportées au niveau de la couche supérieure. La fonction de détection d'erreurs est cependant conservée afin de garantir l'intégrité des données. De même, le contrôle de flux a été remplacé par un mécanisme plus simple de détection de congestion. En d'autres termes, le Relais de Trames a pour but de diminuer au maximum le temps passé dans les commutateurs, en n'effectuant qu'un travail minimal. De plus, toute nouvelle connexion n'est acceptée que si le réseau est apte à la satisfaire sans préjudice pour les connexions. [17]

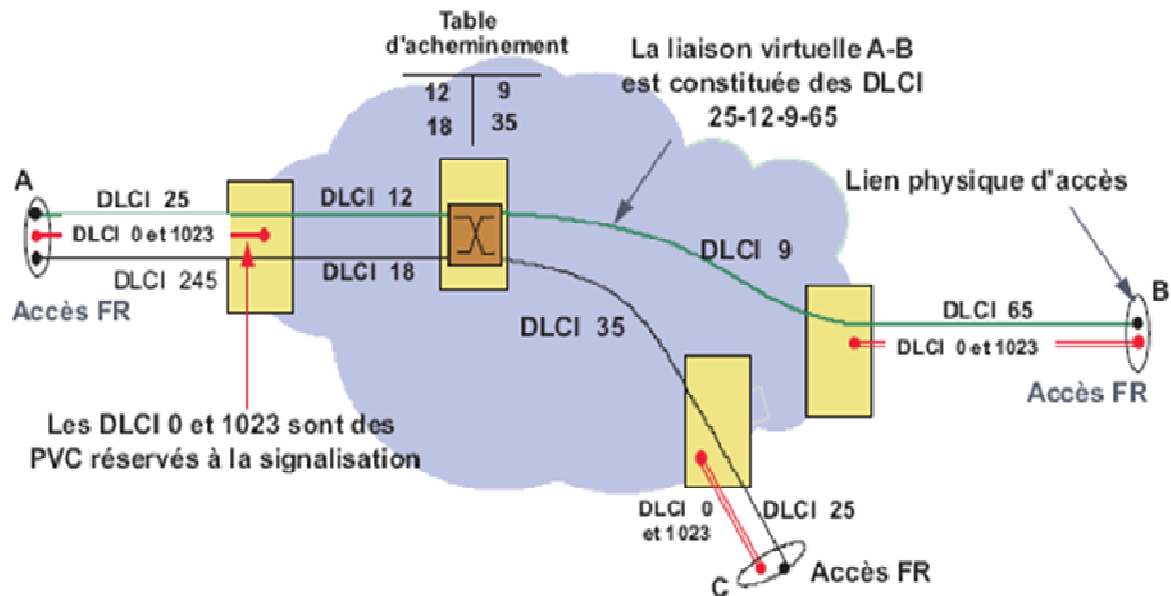


Figure 1.12: Acheminement des données dans le réseau FR [5]

1.5.2.2 Normalisation

La normalisation du Relais de Trames s'appuie sur la recommandation Q922 de l'UIT. Les fonctionnalités de cette recommandation sont les suivantes :

- délimitation des trames,
- inspection de la trame pour vérifier qu'elle possède un nombre approprié d'octets avant son insertion ou son extraction (vérification de la longueur de la trame),
- détection des erreurs de transmission et demande de retransmission dans les éléments de la connexion,
- fonction de contrôle de congestion [17]

1.5.2.3 Avantages

L'utilisation du réseau FR présente multiples intérêts. Le Relais de Trames est généralement qualifié de « X25 allégé » car le format de paquets ainsi que les procédures d'échanges apportent une simplification due à la réduction des erreurs de transmission sur les lignes. De plus, il a permis de pousser les débits jusqu'à 45 Mbit/s en réduisant le nombre de contrôles, la qualité des liaisons étant supposée suffisante pour que cela n'entraîne pas trop de demandes de renvoi de paquets. Aussi, il est adapté à l'interconnexion des réseaux locaux, notamment dans le cadre d'applications

client/serveur, partage de ressources, transfert de fichiers grands volumes, accès à des applications distantes, en utilisant des protocoles différents. Le réseau FR est donc un réseau fiable de transmission de données aéronautiques. [17]

1.6 Conclusion

D'après tout ce qu'on a vu précédemment, afin de garantir la sécurité optimale des usagers de la navigation aérienne, RSFTA met en œuvre un réseau qui a pour particularité de procurer des débits élevés et de ne générer qu'un encombrement faible, voire inexistant. Les données aéronautiques qu'elles soient asynchrones, synchrones ou IP, véhiculent à travers le réseau FR tout en suivant des règles de communication ou protocoles respectifs. Toutefois, pour transiter réellement les données, le réseau doit s'appuyer sur un support physique dit support de transmission.

CHAPITRE 2

LES CHAÎNES VSAT D'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE

2.1 Préambule

La transmission des données aéronautiques tient un rôle prépondérant dans l'entreprise aéronautique. Elle requiert divers supports physiques, à savoir : le câble (filaire) et le faisceau hertzien dont la technologie satellite.

Ce chapitre aura pour vocation de présenter les concepts et les éléments clés dans l'appréhension des technologies satellites, et plus particulièrement la technologie VSAT dans le monde de la télécommunication aéronautique. Il montrera également les problématiques apportées par ces solutions satellites dans le domaine aéronautique.

2.2 Notions sur les satellites

Un satellite de télécommunication peut être considéré comme une sorte de relais hertzien. Il ne s'occupe pas de la compréhension des données : ce n'est qu'un simple miroir. Son rôle est de régénérer le signal qu'il a reçu et de le retransmettre amplifié en fréquence à la station réceptrice. Le satellite offre également une capacité de diffusion, c'est-à-dire qu'il peut retransmettre les signaux captés depuis la terre vers plusieurs stations. La démarche inverse peut être aussi effectuée ; il peut récolter des informations venant de plusieurs stations différentes et les retransmettre vers une station particulière. De plus, il est possible d'établir des liaisons directes entre satellites. [18]

Afin d'assumer son rôle cité précédemment, le satellite se sert de la force gravitationnelle de notre planète afin de se maintenir à une position et à une distance déterminées de la terre. Il est ainsi possible de définir à tout moment quelles sont les caractéristiques du satellite pour établir des transmissions. Il existe plusieurs types d'orbites mais la plus répandue et la plus exploitée aujourd'hui est l'orbite géostationnaire. Pour cette dernière, le satellite se déplace en même temps que la terre ; il fait donc le tour de la terre en 24h (durée qui correspond au temps de rotation de la terre) et paraît immobile dans le ciel. De ce fait, les antennes fixes au sol peuvent être utilisées. Dans cette orbite, le satellite est placé à une altitude de 35 786 km de la terre, ce qui induit un délai de propagation aller-retour de l'ordre de 270 ms et un débit allant jusqu'à 155 Mbit/s. [18]

2.3 La modulation numérique

En télécommunications, le signal transportant une information doit passer par un moyen de transmission entre un émetteur et un récepteur. Le signal est rarement adapté à la transmission directe par le canal de communication choisi, hertzien, filaire, ou optique.

La modulation peut être définie comme le processus par lequel le signal est transformé de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission (démodulation est l'opération inverse).

La modulation numérique consiste à faire varier un ou plusieurs paramètres de la porteuse Haute Fréquence (HF) tels que l'amplitude A , la fréquence f_0 ou la phase φ_0 , en fonction du signal Basse Fréquence (BF) modulant. [19]

La porteuse est définie par :

$$p(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2.01)$$

Où : $\omega_0 = 2\pi f_0$

Multiplés sont les types de modulation numérique, mais nous allons nous intéresser plus particulièrement à la modulation PSK (Phase Shift Keying), qui est le type de modulation utilisé principalement pour les transmissions par satellite.

La modulation PSK consiste à faire varier la phase de la porteuse en fonction du signal.

Si on a une porteuse $p(t)$, le signal modulé est :

$$m(t) = A \cos(\omega_0 t + \varphi_k) \quad (2.02)$$

L'ensemble des phases φ_k possibles est donné par :

$$\varphi_k = \varphi_0 + (2k + 1) \frac{\pi}{M} \quad (2.03)$$

La valeur $M = 2^n$ est le nombre de symboles pouvant être distingués. On voit que ces symboles sont répartis de manière uniforme sur un cercle de rayon 1. [20]

Nous allons voir ici deux méthodes de modulation par déplacement de phase du type PSK très répandues : les modulations BPSK (Binary PSK) et QPSK (Quaternary PSK). [20]

2.3.1 La modulation BPSK

La modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying) est une modulation à 2 états de phase, correspondant à $\varphi_0 = 0$ et $M = 2$ dans (2.03). Les 2 états de phase sont 0 et π et le signal modulé est :

$$m(t) = k \cos(\omega_0 t) \quad (2.04)$$

Avec $k = \pm 1$

Il s'agit d'une modulation binaire puisqu'on n'a que 2 symboles +1 et -1. On voit que seule la porteuse en phase $\cos(\omega_0 t)$ est modulée. La figure 2.01 donne la répartition des symboles sur un cercle de rayon 1 pour $M = 2$. [20]

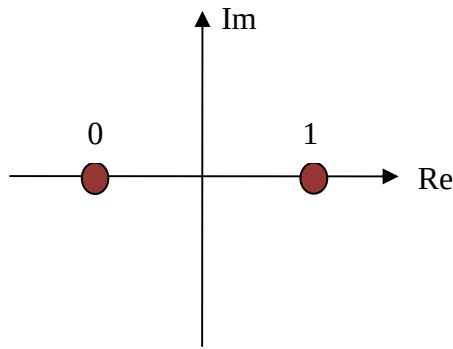


Figure 2.01: Modulation à 2 états de phase [20]

2.3.2 La modulation QPSK

La modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) est une modulation à 4 états de phase, correspondant à $\varphi_0 = 0$ et $M = 4$ dans (2.03).

Les 4 états de phase sont donnés par :

$$\varphi_k = (2k + 1) \frac{\pi}{4} \quad (2.05)$$

Avec $0 \leq k < 4$

Ainsi, le signal modulé s'écrit:

$$m(t) = A \cos(\omega_0 t) \cos(\varphi_k) - A \sin(\omega_0 t) \sin(\varphi_k) \quad (2.06)$$

On peut donc coder des symboles de 2 bits. La phase du signal modulé peut ainsi changer de 0, $\pm \frac{\pi}{2}$ ou π en passant d'un symbole à l'autre. La modulation QPSK s'obtient par une double modulation de 2 porteuses en quadrature par un groupe de 2 bits. Elle permet donc de transmettre, dans une bande passante donnée, deux fois plus d'information que BPSK. La figure 2.02 illustre la répartition des symboles sur un cercle de rayon 1 pour $M = 4$. [20]

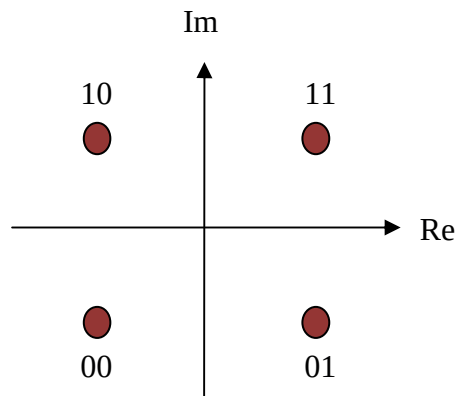


Figure 2.02: Modulation à 4 états de phase [20]

2.4 La technologie VSAT

2.4.1 Définition

VSAT signifie "terminal à très petite ouverture". Il s'agit d'une technique de transmission de données qui utilise des satellites en orbite géostationnaire autour de la terre. Cette technologie a recours à des antennes paraboliques de réception et de transmission de petites tailles qui varient en fonction des fréquences. Pour les communications aéronautiques, c'est la bande C qui est la bande de fréquences généralement utilisée : 6 GHz dans le sens montant et 4 GHz dans le sens descendant. Les diamètres d'antenne varient de 1,1 m à 4,2 m.

2.4.2 Topologies des réseaux VSAT

Un réseau de type VSAT est constitué d'une multitude de points distants dits stations VSAT permettant de connecter un ensemble de ressources au réseau, et d'un site central appelé hub ayant un diamètre supérieur à celui des VSAT (5 à 11 m). [18][21]

La plupart des réseaux VSAT sont généralement configurés selon une de ces topologies : la topologie en étoile et la topologie maillée. Néanmoins, il existe une autre configuration qui est la combinaison de ces deux types de topologie : la topologie mixte ou hybride. [22]

2.4.2.1 La topologie en étoile

C'est l'architecture la plus exploitée. Elle utilise un hub pour relier les VSAT entre eux à travers le satellite. Le hub est le point le plus important du réseau, c'est par lui que transitent toutes les données qui circulent sur le réseau. L'ensemble de la voie montante et la voie descendante allant du VSAT émetteur vers le hub est appelé inbound link tandis que l'ensemble de la voie montante et la voie descendante allant du hub vers le VSAT récepteur est appelée outbound link. La figure 2.03 suivante nous montre cette architecture. [18][21]

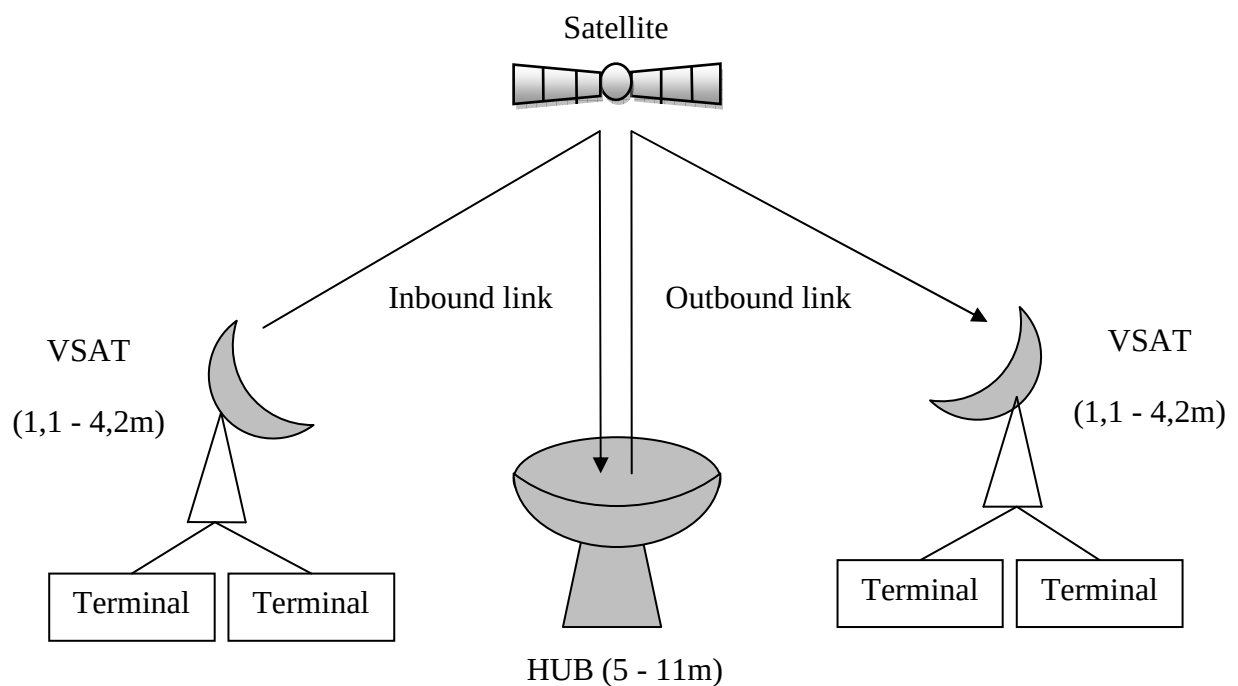


Figure 2.03: Réseau étoilé [21]

2.4.2.2 La topologie maillée

Dans la topologie maillée représentée sur la figure 2.04, chaque VSAT est directement connecté à un autre VSAT en passant par le satellite, mais pas par le hub. Il n'existe pas, dans ce cas, de point central. [21]

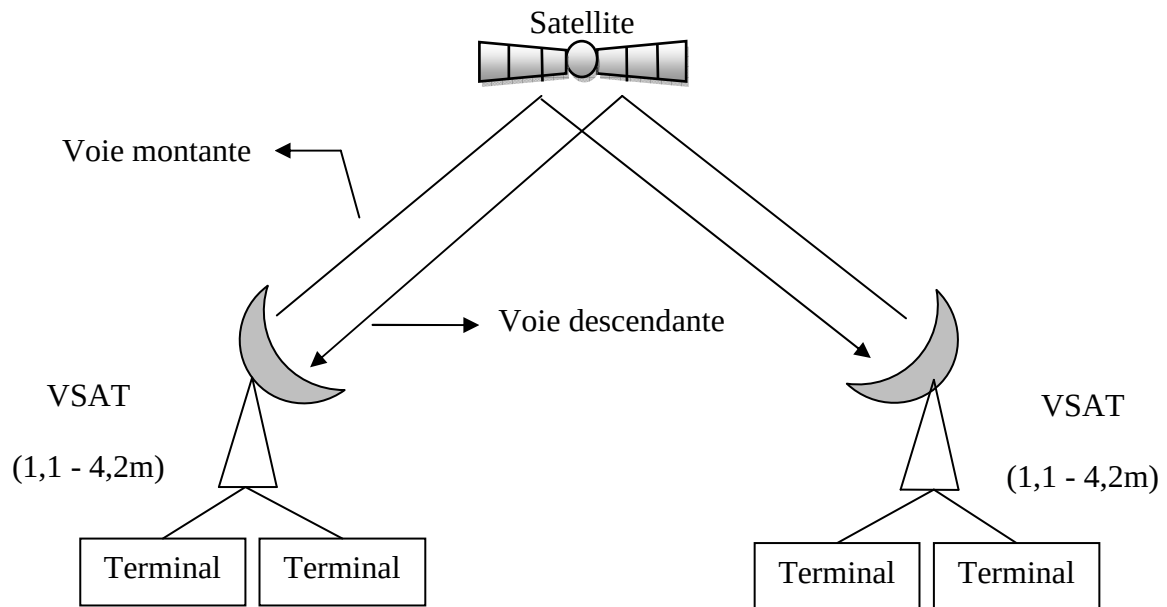


Figure 2.04: Réseau maillé [21]

2.4.3 Les méthodes d'accès au satellite

Les méthodes d'accès permettent de gérer le trafic, les problèmes de surcharges et de collisions ainsi que le gaspillage de bande passante dans le cas des liaisons par satellite. On distingue trois types de méthodes d'accès : le FDMA (Frequency Division Multiple Access), le TDMA (Time Division Multiple Access), et le CDMA (Code Division Multiple Access).

2.4.3.1 Le FDMA

Dans cette méthode, la fréquence est découpée en sous-fréquences de même taille f_i ($i=1, 2, 3$). Chaque station émettrice possèdera sa sous-fréquence, et pourra émettre de façon indépendante, sans avoir besoin de tenir compte des autres stations. La figure 2.05 ci-après illustre cette méthode d'accès. [23]

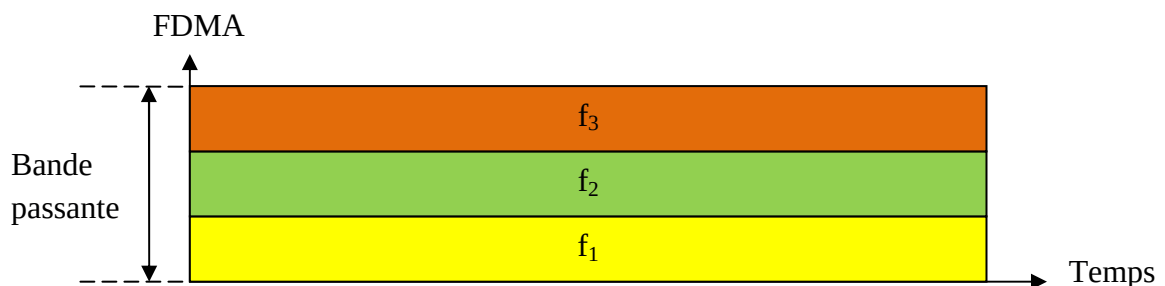


Figure 2.05: Le FDMA [21]

2.4.3.2 Le TDMA

Avec la méthode d'accès TDMA représentée sur la figure 2.06, on découpe des tranches horaires t_i ($i=1, 2, 3$) qui sont allouées, dans un ordre bien précis, à chacune des stations émettrices. De cette façon, elles vont avoir la possibilité d'émettre toutes sur la même fréquence, et de disposer de toute la bande passante de la fréquence au moment qui leur est alloué. Elles émettront ainsi successivement dans l'ordre qui est déterminé préalablement. Il est dès lors facile de reconstituer le signal d'origine. [21]

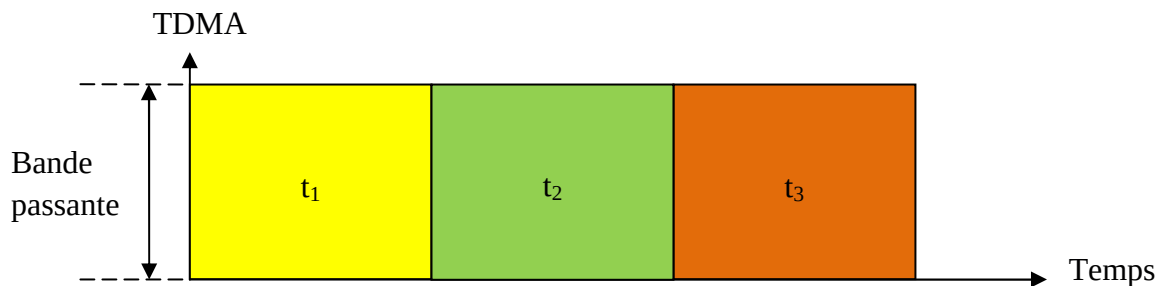


Figure 2.06: *Le TDMA* [21]

2.4.3.3 Le CDMA

Dans cette méthode, toutes les stations émettrices, utilisent la même fréquence. Un signal particulier, accompagne l'émission. Ce signal permet d'identifier la station et ainsi de reconstituer le message initialement émis. Les paquets sont transmis dans l'ordre d'arrivée et reconstruits selon les normes de cette méthode. Les stations émettrices se partagent donc la bande passante à un moment donné. La figure 2.07 suivante montre cette méthode d'accès. [23]



Figure 2.07: *Le CDMA* [21]

2.4.4 Les méthodes d'assignation

Les méthodes d'assignation déterminent les méthodes d'attribution de fréquences porteuses et de bandes passantes aux stations émettrices. Il en existe deux types : PAMA (Pre Assigned Multiple Access) et DAMA (Demand Assigned Multiple Access). PAMA consiste à définir à l'avance les fréquences porteuses et les bandes passantes tandis que pour DAMA, elles sont définies à la demande en fonction du trafic et allouées dynamiquement. [22]

2.5 Structure et fonctionnement des modules VSAT d'entreprise aéronautique

Les modules VSAT sont divisés en deux grandes parties comme le montre la figure 2.08 suivante.

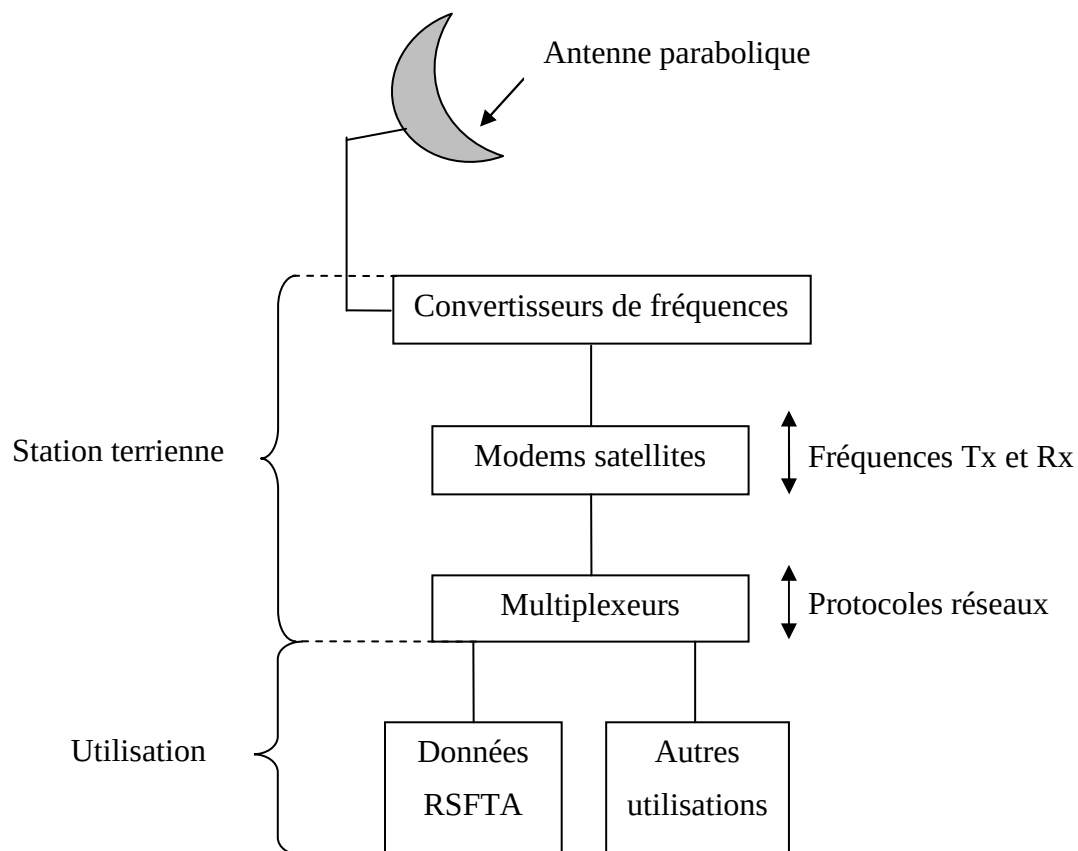


Figure 2.08: Les chaînes VSAT d'entreprise aéronautique

2.5.2 La partie utilisatrice

Les équipements utilisés dans une transmission des données aéronautiques sont : le commutateur de messages, le commutateur de paquets et le switch Ethernet.

2.5.2.1 Le commutateur de messages

C'est un équipement destiné pour la commutation des messages. Il permet la gestion des messages aéroportuaires (asynchrones, synchrones, IP) selon les normes OACI.

Rappelons que la commutation de messages est le processus d'acheminement de messages dans un réseau de télécommunication. Les messages qui arrivent dans le nœud de commutation sont traités selon l'ordre d'arrivée : file FIFO (First In First Out). S'il y a trop de trafic, il y a attente dans la file. Donc, le temps de traversée du réseau n'est pas constant et dépend des temps d'attente qui est fonction du trafic. La technique utilisée est le « store and forward » ou mise en mémoire et retransmission des messages. [24]

La figure 2.09 représente un exemple de fonction du commutateur de messages aéronautiques.

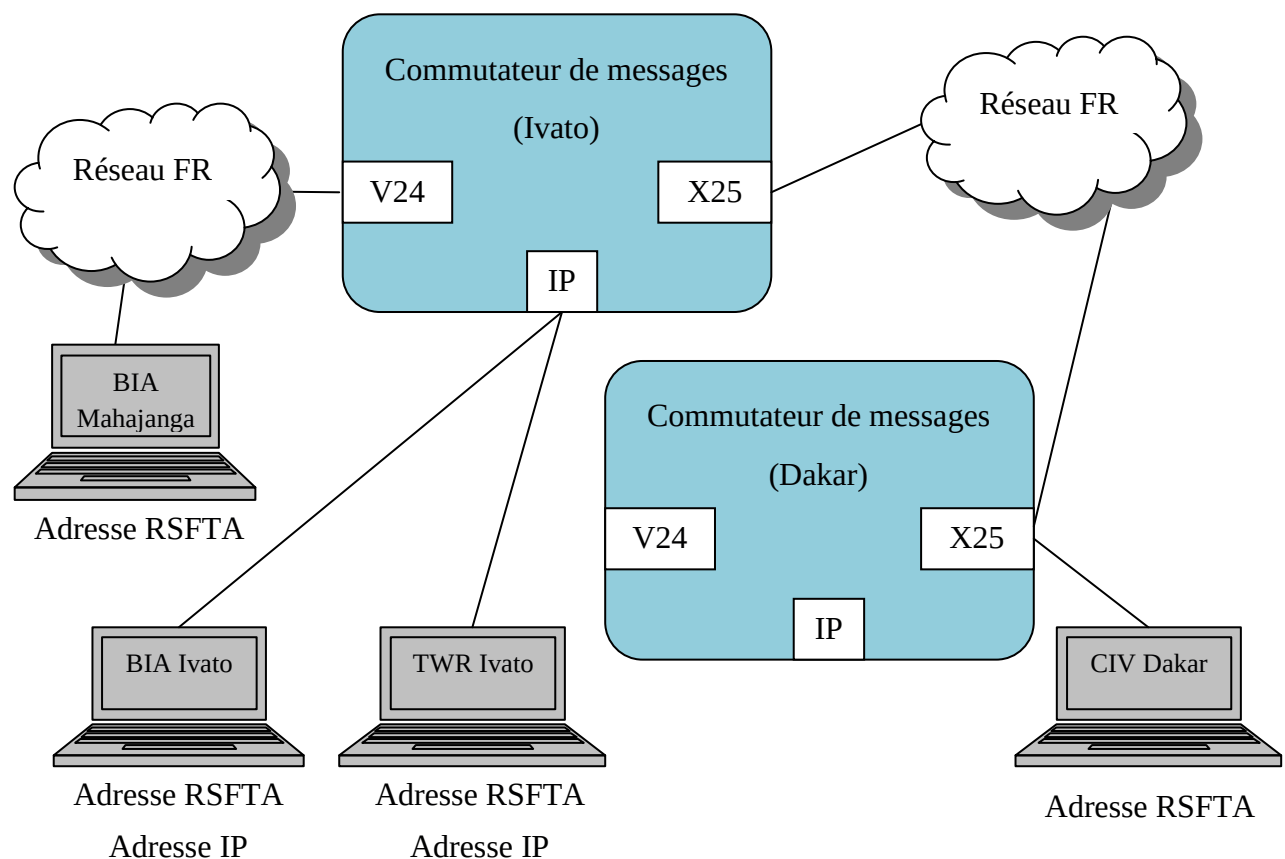


Figure 2.09: Exemple de fonction du commutateur de messages aéronautiques

Il est à noter que ce commutateur de messages est seulement implémenté au niveau du site central de données, c'est-à-dire le hub pour la configuration en étoile. Pour les sites distants, les données sont tout de suite redirigées vers le commutateur de paquets ou le switch.

2.5.2.2 Le commutateur de paquets

C'est un équipement utilisé dans la commutation des paquets, il est multiprotocole et peut fonctionner en X25, en V24, en Frame Relay, etc. Pour notre part, cet équipement va gérer les flux synchrones (X25) et asynchrones (V24).

La commutation des paquets est l'amélioration de la commutation des messages, c'est-à-dire que les messages sont découpés en unité de données appelées paquets. La même technique (store and forward) est utilisée avec quelques avantages. Le commutateur transmet le paquet dès que possible sans attendre les prochains paquets, permettant ainsi d'éviter de monopoliser la ligne. Le destinataire recombine les paquets reçus pour obtenir le message. [24]

2.5.2.3 Le switch Ethernet

Le switch Ethernet désigne un commutateur réseau Ethernet. Il est constitué de ponts qui relient chaque port à tous les autres. C'est pourquoi on le nomme pont multiports (possédant un certain nombre de ports, généralement, 4, 8, 16, 24 ou 32). Un paquet IP encapsulé dans une trame Ethernet, ressort sur le port où le destinataire est connecté. Tous les clients sont connectés aux serveurs à travers ce switch Ethernet.

Les techniques de transmission varient suivant le type de switch Ethernet utilisé. On distingue :

- le « store and forward » qui est la plus courante,
- le « cut through » où le commutateur réseau analyse uniquement l'adresse de destination placée en en-tête de chaque trame, puis redirige le flot de données,
- le « fragment free » qui est dérivé du cut through. Lorsqu'une collision se produit sur le réseau, une trame incomplète appelée runt est réceptionnée par le switch. Dans ce mode, le switch analyse les premiers bits de trames avant de les envoyer au destinataire. Si la trame est assez longue, elle est envoyée. Dans le cas contraire, elle est ignorée. [34]

2.5.3 La station terrienne

La station terrienne recouvre divers équipements qui effectuent les liaisons satellites avec les autres stations au sol. C'est un local qui abrite les modules de communication par satellite tels que : le multiplexeur, le modem satellite, et les convertisseurs de fréquences.

2.5.3.1 Le multiplexeur

Le multiplexage est un procédé par lequel s'effectue la transmission sur un seul support physique (voie haute vitesse) des données provenant de plusieurs paires d'équipements (voie basse vitesse). C'est donc une liaison composite qui est un mélange de toutes les informations passant au niveau du multiplexeur (à la réception, l'équipement est appelé démultiplexeur). Notons que le multiplexeur emploie le Relais de Trames. Toutes les données sont encapsulées dans les trames FR, puis routées dans le nuage FR. Un schéma synoptique du multiplexage est représenté sur la figure 2.10. [25]

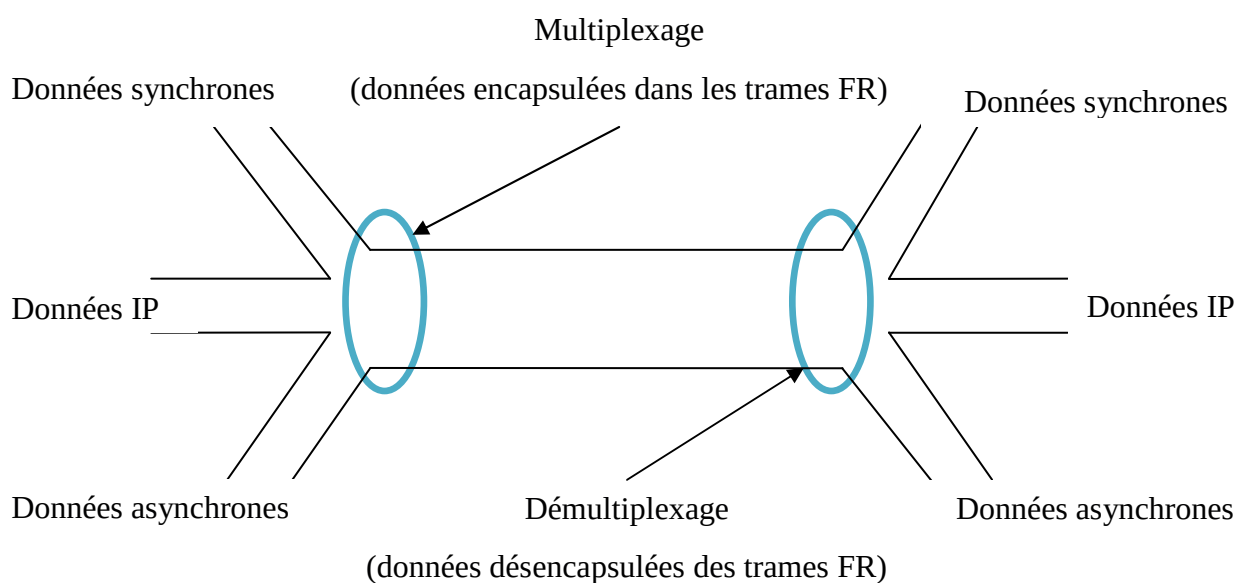


Figure 2.10: Schéma synoptique du multiplexage

2.5.3.2 Le modem satellite

Les données binaires doivent ensuite être transformées pour pouvoir être transmises sur un faisceau hertzien. Dès lors, le multiplexeur sera directement connecté au modem satellite situé à proximité. C'est un dispositif qui effectue la modulation/démodulation. [26]

Un modulateur se charge de transformer les données arrivant en entrée. Les modems satellites utilisent notamment les modulations de phase (BPSK, QPSK, etc.) choisies en fonction de la bande passante et/ou de la puissance désirées. Le choix du modem est évidemment conditionné par les besoins du client.

2.5.3.3 Les convertisseurs de fréquences

Cette partie du système va se charger d'une part, d'amplifier le signal pour pouvoir être traité par les équipements, et d'autre part, de convertir les fréquences de travail du satellite en Fréquences Intermédiaires (FI) et vice-versa.

Sur les équipements de type VSAT, les convertisseurs élévateurs de fréquences (up-converter) sont généralement employés en même temps que les convertisseurs de fréquences à faible bruit (down-converter). Le convertisseur élévateur de fréquences, étant un dispositif d'émission de la liaison montante, et le convertisseur de fréquences à faible bruit, celui de la liaison descendante. [35][36]

L'up-converter est un système qui amplifie et convertit un large bloc (ou bande) de fréquences basses (FI) vers des fréquences plus élevées. Il s'interface avec la parabole en bande C, permettant à un modem d'émettre sur la liaison montante vers un satellite donné. On rencontre souvent le BUC (Block Up Converter), l'ANACOM, le CODAN, IRISA, etc. [35]

Contrairement à ce type de convertisseur, le but du down-converter est de prendre un large bloc (ou bande) de fréquences relativement élevées, les amplifier et les convertir en signaux similaires réalisées à une fréquence beaucoup plus faible (FI). Ces fréquences inférieures voyagent à travers les câbles avec beaucoup d'atténuation du signal. Il est également beaucoup plus facile et moins coûteux de concevoir des circuits électroniques de fonctionner à ces fréquences plus basses, plutôt que les très hautes fréquences de transmission par satellite. On trouve principalement les convertisseurs de fréquences à faible bruit suivants : le LNB (Low-Noise Block), parfois le LNC (Low-Noise Converter), ou, plus rarement, le LND (Low-Noise Downconverter). [36]

2.6 Problématiques des solutions satellites

Le délai élevé de propagation du signal VSAT n'est pas celui requis par la norme de la télécommunication aéronautique. En effet, Il est dit précédemment que le délai d'un système par satellite géostationnaire est d'environ 270 ms : c'est le temps que prend un signal pour parcourir 35 786 km dans l'espace et revenir. En ajoutant à cette durée le temps requis pour le traitement des signaux par le matériel du satellite et de la bande de base, les atténuations, on obtient un délai total de près de 320 ms. Avec l'arrivée des technologies de pointe dans la télécommunication aéronautique, certaines applications de par leur nature, notamment les applications interactives (vidéoconférence,...), ne pourront donc pas être supportées par toutes les structures satellites ou

du moins avec les mêmes performances. La figure 2.11 ci-dessous manifeste nettement ces limitations de performances. [18]

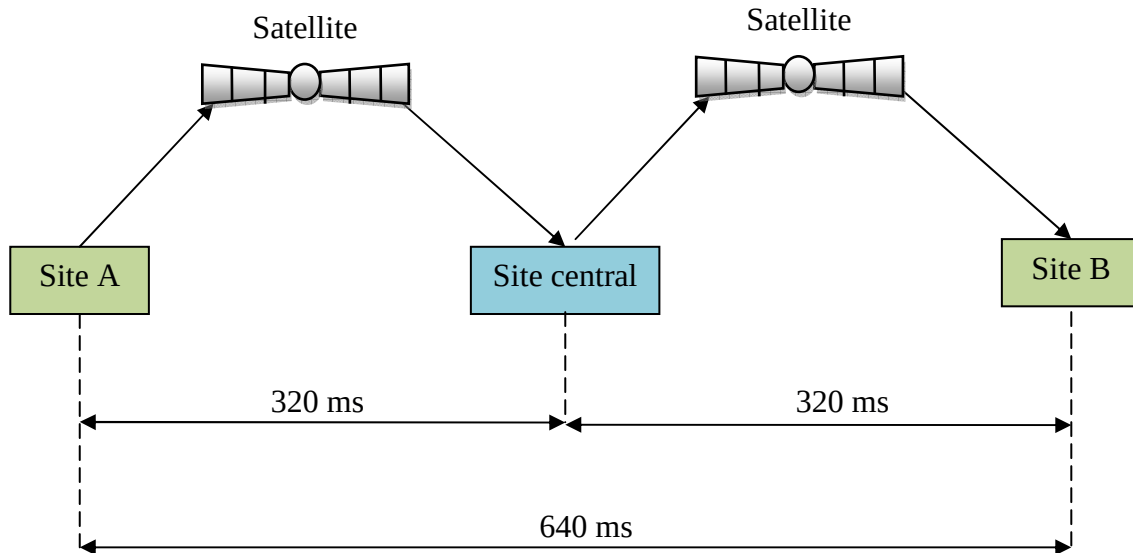


Figure 2.11: *Problèmes de délai de propagation du signal*

D'après la figure 2.11, le délai de parcours d'un signal depuis le site A vers le site B est d'environ 640 ms. Ce temps n'est pas acceptable même pour une conversation téléphonique. La norme de l'OACI exige au moins un délai minimum de 500 ms pour traverser deux bonds satellitaires.

Aussi, la transmission des données aéronautiques requiert une liaison continue et sans coupure pour la sécurité des usagers de l'espace aérien. Cependant, lors des perturbations solaires telles que l'équinoxe et le solstice, on rencontre souvent une coupure de liaison de 4 à 10 minutes. Effectivement, les antennes satellitaires, le satellite et le soleil sont alignés, entraînant ainsi le masquage des signaux satellites. Ces problèmes de perturbations sont représentés sur la figure 2.12 qui suit.

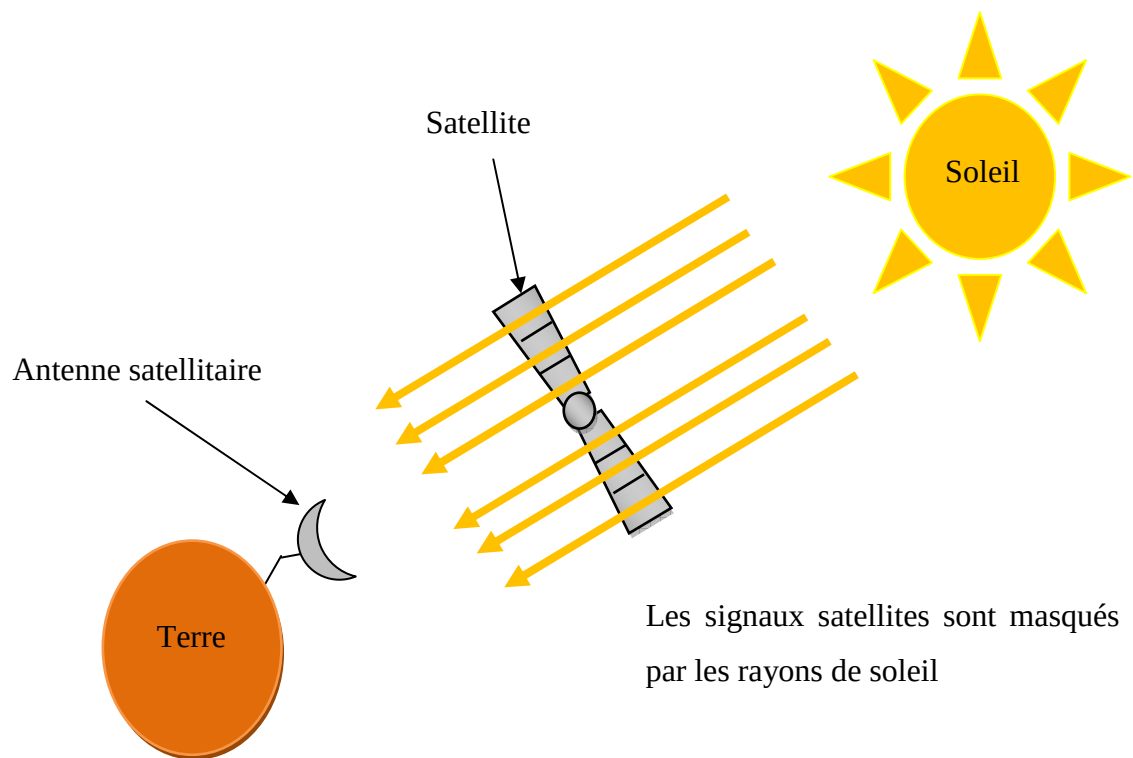


Figure 2.12: *Les perturbations solaires*

2.7 Conclusion

Ce second chapitre a été consacré aux principes généraux sur lesquels se repose le système VSAT. Les étapes par lesquelles les données aéronautiques doivent passer pour être transmises ont été étudiées. Bien que la technologie VSAT soit encore actuellement un système prévu par les entreprises aéronautiques pour la transmission des données, il se trouve qu'elle n'est pas toujours exempte de toutes restrictions, tant du point de vue météorologique que du point de vue performances. De ce fait, il est recommandé de recourir à un autre type de support de transmission approprié en plus d'avoir des caractéristiques avantageuses.

CHAPITRE 3

LA FIBRE OPTIQUE

3.1 Préambule

Compte tenu du fait que les technologies satellites ne sont pas les mieux adaptés et les plus satisfaisants dans le domaine de transmission incessante d'allées et venues de données, il a fallu étudier et réaliser un milieu de propagation guidée permettant de véhiculer une quantité considérable d'informations. Ceci est rendu possible grâce à l'avènement des systèmes de télécommunications optiques.

Ce chapitre abordera donc les principes de base des télécommunications par fibre optique. Il exposera également les caractéristiques de la fibre optique et ses atouts par rapport aux autres supports de transmission. De cette manière, on pourra en dégager les applications possibles pour les télécommunications aéronautiques.

3.2 Historique

Les télécommunications par fibre optique restèrent impossibles jusqu'à l'invention du laser (light amplification by stimulated emission of radiation) en 1960. Le laser offrit en effet l'occasion de transmettre un signal avec assez de puissance sur une grande distance. Dans sa publication de 1964, Charles Kao, des Standard Telecommunications Laboratories, décrit un système de communication à longue distance et à faible perte en mettant à profit l'utilisation conjointe du laser et de la fibre optique. Peu après, soit en 1966, il démontra expérimentalement, avec la collaboration de Georges Hockman, qu'il était possible de transporter de l'information sur une grande distance sous forme de lumière grâce à la fibre optique. Cette expérience est souvent considérée comme la première transmission de données par fibre optique. [37]

Cependant, dues aux différents chemins de réflexion du signal contre les parois, les pertes de phase entraînées par l'usage d'une fibre de verre homogène constituaient le principal obstacle à l'utilisation courante de la fibre optique. Celles-ci la rendaient peu avantageuse par rapport au fil de cuivre traditionnel. [37]

En 1970, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes de phase suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications. [37]

3.3 Définition

Une fibre optique est un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des systèmes VSAT et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques, etc. [37]

3.4 Principes de base

3.4.1 Propagation de la lumière

Lorsqu'un faisceau lumineux heurte obliquement la surface qui sépare deux milieux plus ou moins transparents, il se divise en deux : une partie est réfléchi tandis que l'autre est réfractée, c'est-à-dire transmise dans le second milieu en changeant de direction. L'indice de réfraction est une grandeur caractéristique des propriétés optiques d'un matériau. Il est obtenu en divisant la vitesse de la lumière dans le vide ($C_v = 299\,792\text{ km/s}$) par la vitesse de cette même onde dans le matériau. Plus l'indice est grand, et plus la lumière est lente. Ainsi, dans l'air, la vitesse de la lumière est à peu près égale à C_v ; dans l'eau, elle est égale à 75% de C_v ; dans le verre, elle est égale à environ 55% ou 60% de C_v selon le type de verre. C'est ce principe, illustré sur la figure 3.01, qui est utilisé pour guider la lumière dans la fibre. [27]

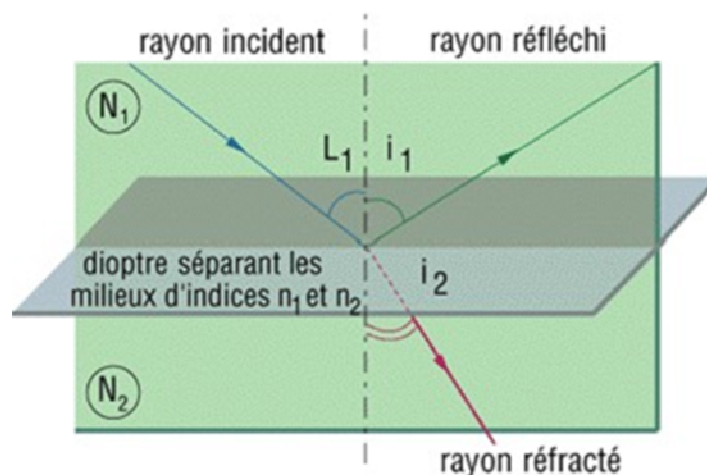


Figure 3.01: Principe de propagation de la lumière [27]

Sur la figure 3.01, on a :

- N_1 : milieu d'indice n_1
- N_2 : milieu d'indice n_2
- L_1 : angle d'incidence
- i_1 : angle de réflexion
- i_2 : angle de réfraction

3.4.2 Propagation dans la fibre optique

La fibre optique illustrée sur la figure 3.02 comprend deux milieux : le cœur, dans lequel l'énergie lumineuse se trouve confinée, grâce à un second milieu, la gaine, dont l'indice de réfraction est plus faible. L'ensemble est généralement recouvert d'un revêtement plastique de protection. [27][37]

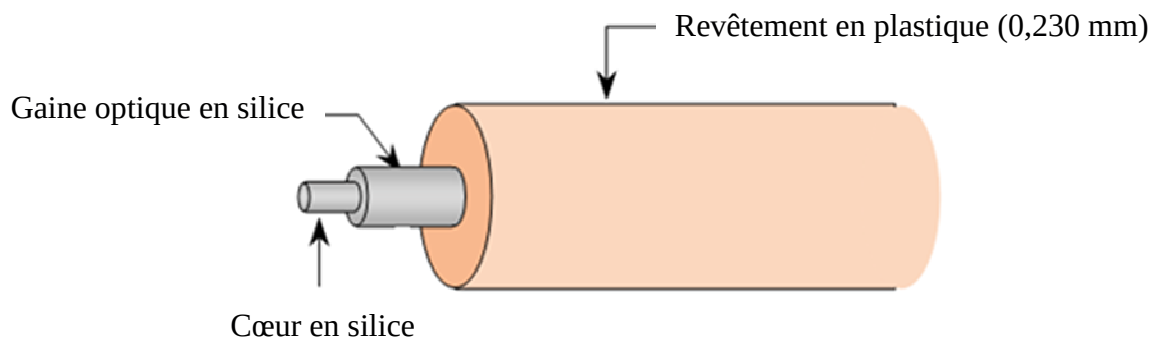


Figure 3.02: Constitution physique d'une fibre optique [28]

Les recherches menées dans les années 1970 ont conclu que la silice était un bon support pour des longueurs d'onde prises dans le proche infrarouge (850 nm – 1300 nm – 1500 nm). La fabrication en série de lasers dans ces longueurs d'onde est venue par la suite confirmer ce choix. Un laser est un dispositif qui amplifie la lumière et la rassemble en un étroit faisceau, dit cohérent, où ondes et photons associés se propagent en phase, au lieu d'être arbitrairement distribués. Cette propriété rend la lumière laser extrêmement directionnelle avec un rayonnement d'une grande pureté spectrale. [27]

Le type de propagation des fibres optiques illustré sur la figure 3.03 se repose sur le principe de la réflexion totale. 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. Une fibre optique est souvent décrite selon deux paramètres : [37]

- la différence d'indice normalisé Δ , qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine :

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c} \quad (3.01)$$

Où n_c désigne l'indice de réfraction du cœur et n_g celui de la gaine. [37]

- l'ouverture numérique de la fibre, qui est concrètement le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre pour que la lumière puisse être guidée sans perte, mesuré par rapport à l'axe de la fibre. Elle est égale à : [37]

$$\sin \theta_{max} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2} \quad (3.02)$$

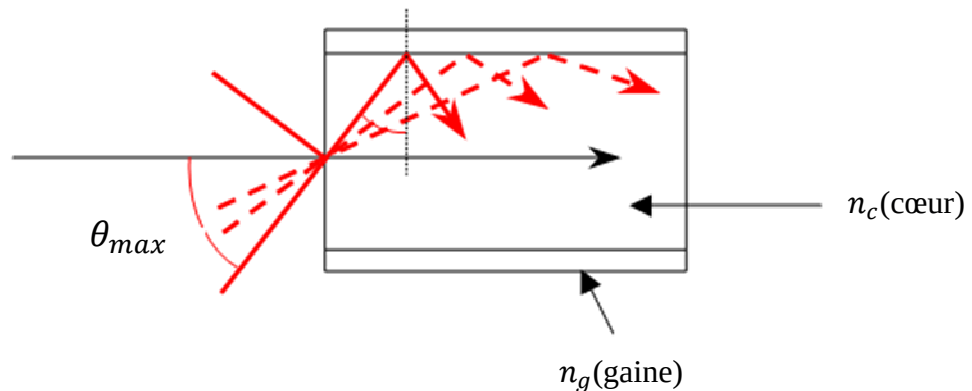


Figure 3.03: Principe de propagation dans la fibre optique [28]

3.5 Fabrication d'une fibre optique en silice

La fabrication d'une fibre optique passe par la réalisation d'une préforme cylindrique : barreau de silice très pure, d'un diamètre de plusieurs centimètres. La silice est un composé oxygéné du silicium, de formule SiO_2 , présent dans un grand nombre de minéraux, tels que le quartz, la calcédoine et l'opale. [27]

La fibre est ensuite étirée à partir de ce barreau. Son centre, qui constitue le cœur de la fibre, nécessite une silice très pure avec un minimum d'ions hydroxydes OH^- . Le cœur est entouré d'une silice de moindre qualité qui forme la gaine optique. On réalise un écart d'indice entre le cœur et la

gaine en incorporant des dopants, tels que : le germanium et le phosphore qui accroissent l'indice dans le cœur ; le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine. [27]

Une préforme de verre d'une longueur de 1 m et d'un diamètre de 10 cm permet d'obtenir par étirement une fibre d'une longueur d'environ 150 km. [27]

3.6 Caractéristiques

3.6.1 Dispersion chromatique et dispersion intermodale

La dispersion chromatique est exprimée en $\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ et se manifeste par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation comme le montre la figure 3.04. [28][37]

Une des causes de l'élargissement d'une impulsion est la dispersion intermodale exprimée en $\text{ps}/\text{km}^{1/2}$. Ce phénomène est dû à des défauts de géométrie des fibres optiques qui entraînent une différence de vitesse entre les modes (trajets lumineux) se propageant sur différents axes de la fibre. De ce fait, l'énergie lumineuse injectée à l'entrée de la fibre est répartie entre différents modes, provoquant ainsi une perte d'énergie. Après un trajet d'une distance quelconque (dans la figure 3.04 ci-dessous notée d), le décalage est donné par $\Delta\tau$. [28][37]

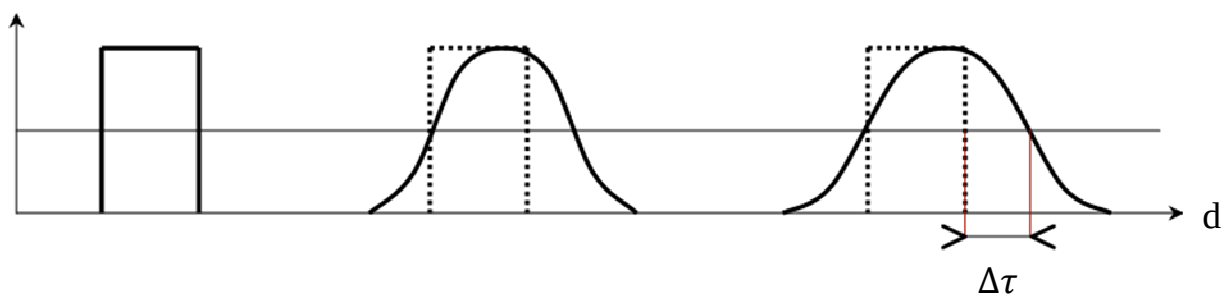


Figure 3.04: Déformation du signal reçu par rapport au signal émis (dégradation) [28]

3.6.2 Atténuation

L'atténuation caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation. Elle est due à la diffusion et à l'absorption de la lumière causée par les matériaux de la fibre, et éventuellement aux mauvaises conditions de pose (rayon de courbure). L'atténuation augmente avec la longueur de la fibre : l'amplitude du signal diminue à mesure que la longueur de la fibre augmente.

Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible. L'atténuation va varier suivant la longueur d'onde.

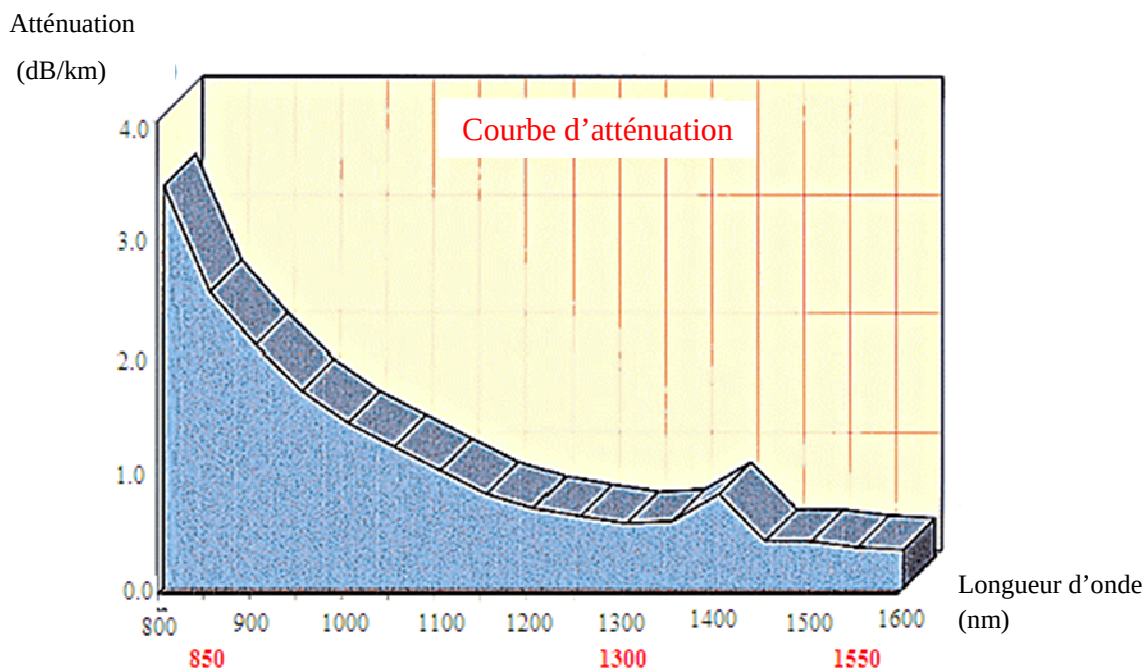


Figure 3.05: Une partie du signal, sous forme de lumière, est perdue dans la fibre

D'après la courbe d'atténuation de la figure 3.05, on peut distinguer trois fenêtres de transmission :

- La première fenêtre (0,8 – 0,9 μm) ne correspond pas à un minimum d'atténuation (2 à 3 dB/km) ni de dispersion mais à l'optimum d'utilisation des matériaux les mieux maîtrisés (Silicium et Arséniure de Gallium)
- La deuxième fenêtre (vers 1,3 μm) correspond à un minimum relatif d'atténuation (0,4 à 0,5 dB/km) et au minimum de dispersion chromatique.
- La troisième fenêtre (vers 1,55 μm) est le minimum absolu d'atténuation (0,15 à 0,2 dB/km) mais demande des composants plus coûteux et l'annulation de la dispersion chromatique y est plus délicate. Après 100 km de propagation, il restera encore 1 % de la puissance initialement injectée dans la fibre, ce qui peut être suffisant pour une détection. [28]

3.6.3 Perte par effet de courbure

Lorsqu'on courbe la fibre, une partie de l'énergie lumineuse du mode peut échapper au guidage, et se perdre dans la gaine. Ce phénomène s'appelle « perte par courbure ». [28]

3.6.4 Perte par microcourbure

Les pertes par microcourbure apparaissent lors de la fabrication des câbles lorsque des contraintes mécaniques provoquent des microdéformations de la fibre, entraînant des pertes de lumière. Ces pertes dépendent aussi bien de la fibre elle-même que du revêtement. Elles augmentent très vite lorsque le diamètre de la fibre diminue. [28]

3.6.5 Les effets non linéaires

La puissance lumineuse injectée dans la fibre est si élevée ($40 \text{ mW}/80 \text{ }\mu\text{m}^2$ soit plus de 600 W/mm^2) et les niveaux de perturbation acceptables si faibles que l'on ne peut plus négliger les effets non linéaires. L'effet non linéaire prépondérant dans la silice qui vient affecter la propagation est l'effet Kerr : l'indice de réfraction varie avec le flux de la puissance. Une des conséquences de ces effets non-linéaires est l'automodulation de phase. [28][37]

3.6.6 Fiabilité de la fibre optique

La silice est un matériau «fragile»: ce terme scientifique signifie qu'il n'a pratiquement pas de déformation élastique. La fibre optique silice résiste à des tractions très élevées ($> 5 \text{ kg}$), une résistance bien supérieure à celle de l'acier. La présence de défauts lors de la fabrication de la fibre la fragilise (il suffit d'un défaut de $0.5 \text{ }\mu\text{m}$ pour qu'une traction de 1 kg environ casse la fibre). Pour cette raison, la fibre est testée en totalité à 1% d'allongement (environ 1 kg) pour éliminer ces défauts. [28]

3.6.7 Vieillessement de la fibre optique

La corrosion par l'humidité d'une fibre de silice non protégée la rend très cassante en quelques heures. Le revêtement est donc étudié pour protéger la silice. La résistance au vieillissement est mesurée par un facteur n , facteur de durée de vie sur une échelle logarithmique. Il est mesuré selon des normes internationales :

- n statique, lorsque les charges appliquées sont statiques.
- n dynamique, mesuré sous charge variable (croissante).
- on évalue la variation de la durée de vie en fonction de la charge appliquée et on extrapole dans le temps. [28]

Les règles de l'art actuelles garantissent largement 25 ans de durée de vie. L'expérience montre que la plupart des ruptures effectivement rencontrées (plus de 95%) sont dues à des travaux de Génie Civil. [28]

3.7 Les différents types de fibres

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories : les fibres multimodes et les fibres monomodes.

3.7.1 Fibres multimodes

Les fibres multimodes, ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristiques de transporter plusieurs modes. Les fibres multimodes ont un diamètre de cœur important. Un rayon lumineux pénétrant dans le cœur de la fibre, à l'une de ses extrémités, se propage longitudinalement jusqu'à l'autre extrémité grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le verre de cœur et le verre de gaine. 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 généralement pour des bas débits ou de courtes distances (réseaux LAN et MAN ou Metropolitan Area Network), ces fibres sont très répandues. Il y a deux principaux types de fibre multimode : à saut d'indice et à gradient d'indice. [27][37]

3.7.1.1 Fibre à saut d'indice

Elle est constituée d'un cœur (200 μm) et d'une gaine optique en verre (380 μm) de différents indices de réfraction (l'indice de réfraction dans le cœur est constant). Cette fibre provoque de par l'importante section du cœur, une grande dispersion des signaux la traversant, ce qui génère une déformation du signal reçu. Le débit est donc limité à 50 Mbit/s et la bande passante offerte est de 25 Mhz par km. [27]

3.7.1.2 Fibre à gradient d'indice

Elle est composée d'un cœur de dimension 50 μm à 100 μm et d'une gaine optique de 125 μm . L'indice du cœur diminue suivant une loi parabolique depuis l'axe jusqu'à l'interface cœur-gaine. La diminution de l'indice fait que la lumière se propage plus vite, ce qui réduit la dispersion intermodale. On s'approche ainsi d'une égalisation des temps de propagation. La bande passante typique est de 200 à 1500 Mhz par km. La fibre a un débit limité à 1 Gbit/s. [27][28]

3.7.2 Fibres monomodes

La fibre monomode possède un cœur de $10\ \mu\text{m}$ et d'une gaine optique de $125\ \mu\text{m}$. Le petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance d'émission, donc des diodes laser qui sont relativement avantageuses. Leur cœur très fin n'admet ainsi qu'un mode de propagation (fondamental), 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 ce soit pour de très hauts débits que pour de très longues distances. De ce fait, les fibres monomodes sont dites technologiquement plus avancées. Elles sont même adaptées pour les lignes intercontinentales (câbles sous-marin). Une fibre monomode n'a pas de dispersion intermodale. La bande passante transmise est presque infinie ($> 10\ \text{GHz/km}$) et les débits peuvent atteindre jusqu'à $200\ \text{Gbit/s}$ sur des dizaines de kilomètres sans répéteur. [27][37]

La propagation de la lumière dans les trois fibres est représentée sur la figure 3.06.

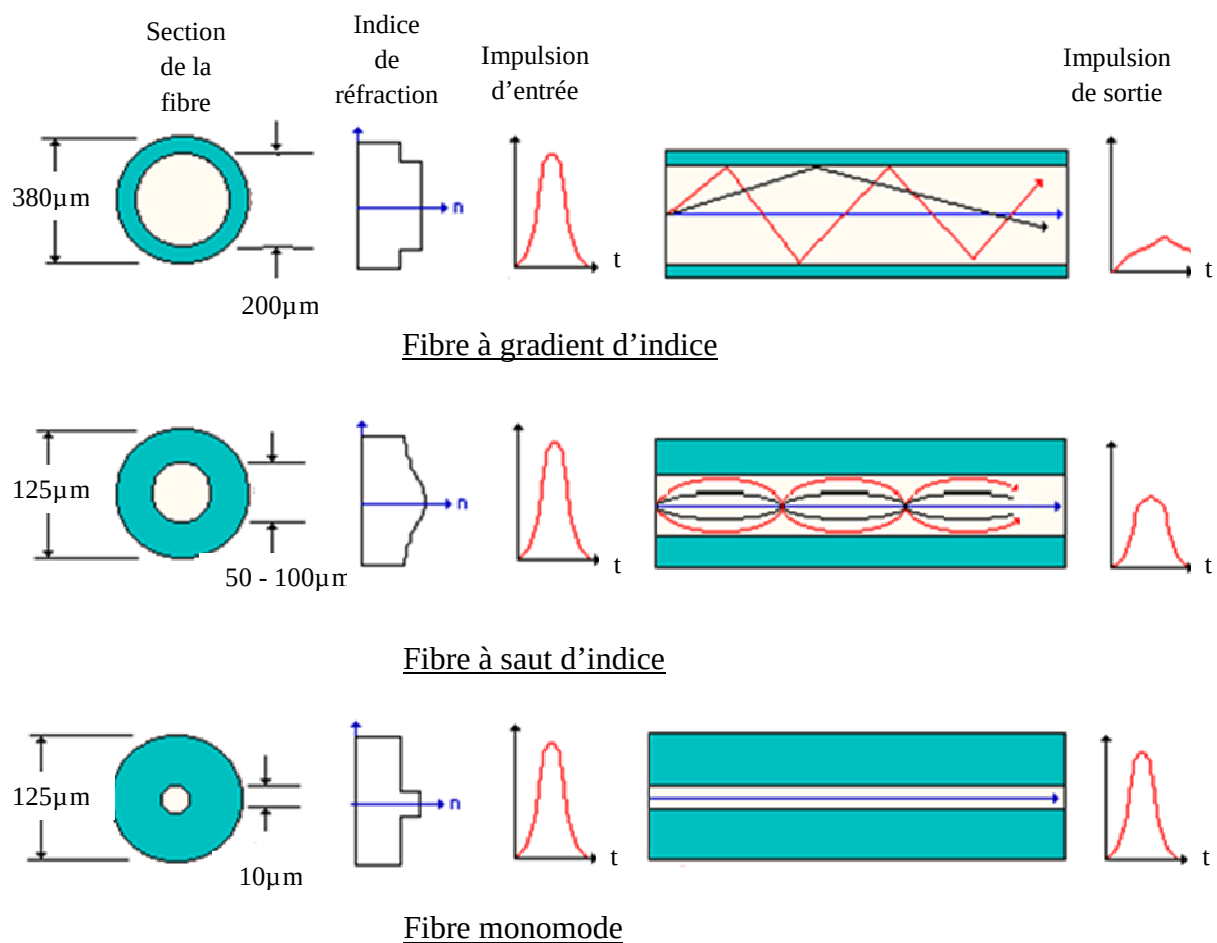


Figure 3.06: Propagation de la lumière dans les trois fibres [27]

3.8 Transmission sur fibre optique

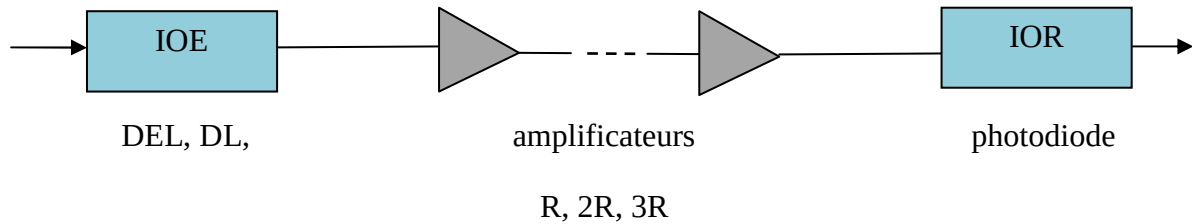


Figure 3.07: *Principe de transmission sur fibre optique [28]*

Une liaison par fibre optique de la figure 3.07 nécessite trois types de composants :

- une Interface Optique d'Émission (IOE) constituée généralement d'une Diode Électroluminescente (DEL) ou une Diode Laser (DL) qui effectue la conversion du signal électrique de départ en signal optique,
- des amplificateurs placés à intervalles réguliers qui peuvent être de trois types :
 - R : « Regeneration » (amplification seule)
 - 2R : « Regeneration - Reshaping » (amplification et remise en forme)
 - 3R : « Regeneration – Reshaping - Retiming » (amplification et remise en forme et synchronisation),
- une Interface Optique de Réception (IOR) constituée habituellement d'une photodiode qui transforme le signal optique à la sortie du système en signal électrique. [28]

3.9 Câblage et raccordement

3.9.1 Câblage

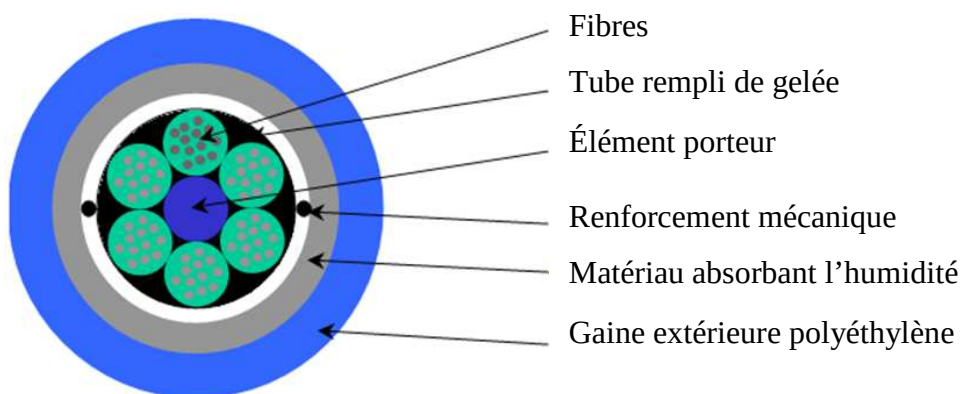


Figure 3.08: *Câblage en tube des fibres optiques [28]*

La technique de câblage la plus utilisée aujourd'hui est le tube. Un câble typique est représenté sur la figure 3.08 ci-dessus. [28]

La fibre est posée en long dans des tubes remplis d'une gelée de pétrole, qui la protège de l'humidité. De nombreux types de câbles peuvent être réalisés par assemblage de ces tubes. [28]



Figure 3.09: Exemples de structures de câbles à fibres optiques [27]

Dans la figure 3.09 ci-dessus, on a quelques exemples de structures de câble à fibres optiques, tels que :

- le câble à structure libre tubée (l fibres dans m tubes de protection libres en hélice autour d'un porteur central). La capacité type est de 2 à 432 fibres,
- le câble ruban à tube de protection central (l fibres les unes à côté des autres dans m rubans dans un tube central). La capacité type est de 12 fibres par 18 rubans, soit 216 fibres.
- le câble ruban à tubes libres (l fibres les unes à côté des autres dans m rubans dans p tubes libres en hélice autour d'un porteur central). [27]

La réalisation des câbles doit tenir compte des contraintes physiques et chimiques ainsi que des conditions de sécurité de l'environnement où ils sont déployés. Ainsi, on trouve une grande variété de câbles spécifiques : des câbles résistant aux rongeurs, des câbles résistant aux termites, des câbles pour l'industrie pétrochimique, des câbles pour environnement hostile (vapeur, humidité, hydrogène, hydrocarbure), des câbles sous-marins transocéaniques, des câbles pour les égouts, des câbles pour applications aériennes sur lignes haute tension...

3.9.2 Raccordement

Il existe de nombreux connecteurs pour la fibre optique comme l'illustre la figure 3.10. Les plus répandus sont les connecteurs ST (Straight Tip) et SC (Square Connector), les connecteurs doubles MIC (Media Interface Connector) ou FDDI (Fiber Distributed Data Interface). Il faut

encore citer les connecteurs SMA (Sub Miniature version A), les connecteurs FCPC (Fiber Channel Physical Contact) utilisés pour la fibre monomode, les connecteurs MT-RJ (Mechanical Transfer-Registered Jack) pour les réseaux Ethernet, les connecteurs LC (Lucent Connector), les connecteurs TOSLINK, etc.

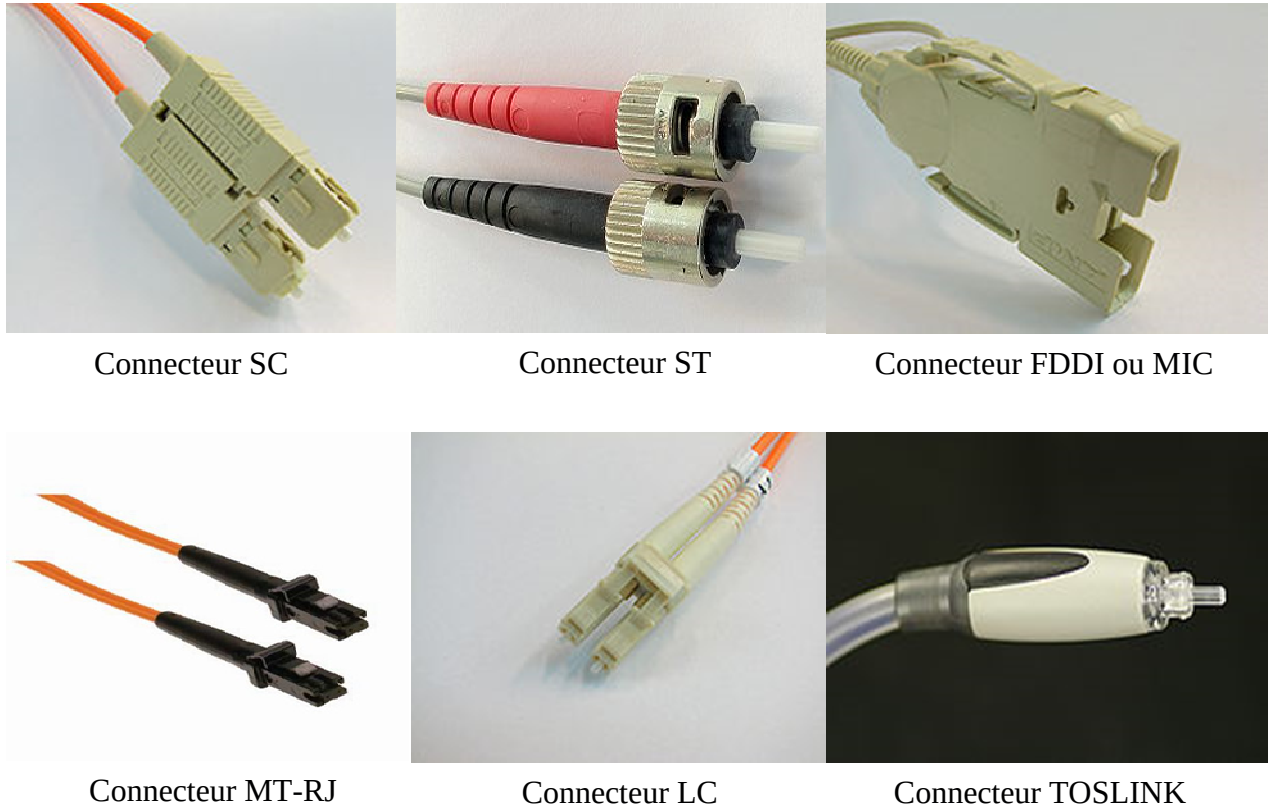


Figure 3.10: *Quelques connecteurs de fibres optiques*

Il y a plusieurs manières pour coupler de la fibre optique comme le montre la figure 3.11:

- le couplage mécanique de deux connecteurs mis bout à bout au moyen d'une pièce de précision. La figure 3.11 ci-dessous montre l'union de deux connecteurs ST, mais il existe des coupleurs ST/SC ou ST/MIC,
- le raccordement par « Splice » mécanique qui est utilisé pour les réparations à la suite de rupture ou pour raccorder une fibre et un connecteur déjà équipé de quelques centimètres de fibre que l'on peut acquérir dans le commerce (Pigtail),
- la fusion au moyen d'un appareil à arc électrique appelé fusionneuse. [27]

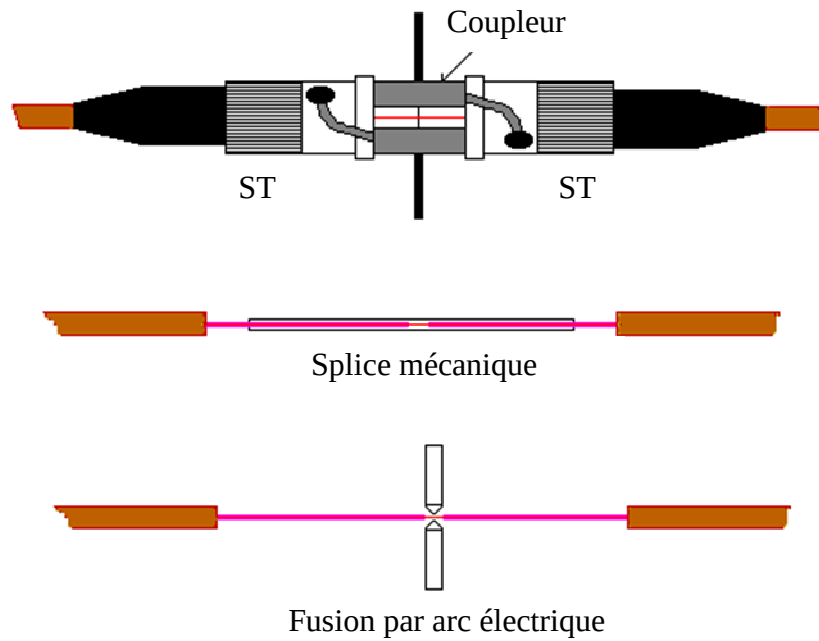


Figure 3.11: *Trois exemples de connexions en fibre optique [27]*

Cependant, lorsqu'on raccorde bout à bout deux fibres optiques, on voit apparaître quelquefois des pertes ponctuelles dues aux mauvais positionnements relatifs tels que : [29]

- un écartement longitudinal D
- un excentrement transversal d
- un désalignement angulaire θ
- une excentricité des cœurs e_1
- une ellipticité des cœurs e_2

Ces problèmes sont représentés sur la figure 3.12 ci-après.

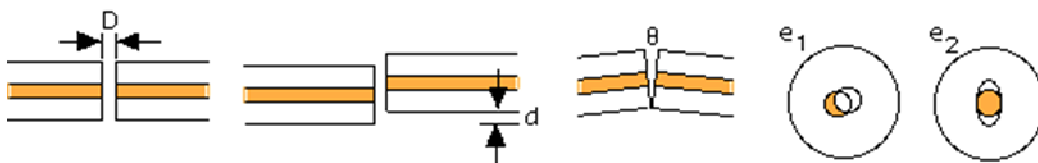


Figure 3.12: *Les problèmes de connectique [29]*

3.10 Avantages

Multiplés sont les avantages que présente la transmission de signaux par fibre optique par rapport aux autres supports de transmission:

- les performances de transmission : large bande, très faible atténuation du signal, possibilité de multiplexage de plusieurs signaux et de plusieurs utilisateurs, gros débit d'informations ;
- la mise en œuvre : faible poids, très petite taille, grande souplesse ;
- la sécurité électrique et électromagnétique : insensibilité aux parasites. [28]

3.11 Applications

La fibre optique offre un grand champ d'applications, les plus connues concernent :

- les télécommunications pour la réalisation des réseaux hauts débits des opérateurs pour les transmissions (données informatiques, téléphonie, visioconférence, etc.)
- les réseaux locaux en environnement bruyé,
- la médecine,
- le domaine d'éclairage,
- la signalisation routière,
- la décoration/illumination de piscines, bassins, fontaines, etc. [27][28]

Il est à noter que le premier champ sus cité est celui qui concerne les télécommunications aéronautiques.

3.12 Conclusion

Grâce aux performances évoquées précédemment dans ce chapitre, on peut déduire que les systèmes de télécommunications optiques s'avèrent plus avantageux que les systèmes de télécommunications hertziennes. La fibre optique constitue inévitablement un support fiable de transmission de données à haut débit. Elle pourra de ce fait favoriser et satisfaire les besoins croissants et fréquents d'échanges de messages liés à la navigation aérienne. Afin de mieux appréhender cette nouvelle approche conceptuelle, il est primordial de considérer un cas réel d'entreprise aéronautique.

CHAPITRE 4

ÉTUDES RÉALISÉES ET INFRASTRUCTURES EXISTANTES AU SEIN D'UNE ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE À MADAGASCAR

4.1 Préambule

Madagascar dispose d'une entreprise aéronautique dont les points au sol s'échangent des messages afin de garantir la sécurité optimale des usagers de l'espace aérien. Ces messages transitent à travers le réseau par l'intermédiaire des équipements satellitaires.

Ce chapitre va de la sorte donner une description brève du réseau RSFTA de l'entreprise étant entendu qu'il s'agit d'un sous-ensemble du réseau RSFTA de Madagascar. Il présentera particulièrement la disposition, l'état et le fonctionnement des éléments composant le système VSAT. Il considèrera ensuite un exemple de système de transmission de ces données. Une mise en évidence du devis et des contraintes de ces infrastructures terminera ce chapitre.

4.2 Le réseau RSFTA existant

Le réseau RSFTA de l'entreprise, sous-ensemble du réseau RSFTA de Madagascar, réunit les points au sol importants des aéroports, notamment la TWR, le BIA, le CIV, la MTO, le BdP, etc. À l'intérieur de ce réseau, les points s'échangent des messages météorologiques, des plans de vol, des autorisations de survol de territoire, etc. Tout enregistrement et retransmission de ces messages se fait à l'aide de la normalisation d'adressage RSFTA. L'entreprise aéronautique à Madagascar rassemble neuf stations : Ivato, Mahajanga, Toamasina, Antsiranana, Toliara, Tolagnaro, Maintirano, Antalaha et Mananjary. Ainsi, un extrait de leurs adresses RSFTA est représenté sur le tableau 4.01 ci-après.

Stations	BIA	BdP	TWR	CIV
Ivato	FMMIZPZX	FMMIYOYX	FMMIZTZX	FMMIZQZQ
Toamasina	FMMTZPZX		FMMTZTZX	-
Mahajanga	FMNMZPZX		FMNMZTZX	-

Tableau 4.01 : Extrait des adresses RSFTA de l'entreprise à Madagascar

Les messages aéronautiques échangés sont sous forme de données asynchrones, de données synchrones et de données IP. Ces données sont transmises à travers le réseau FR en s'appuyant sur les protocoles V24, X25 et IP over Ethernet.

4.3 L'organisation du système VSAT

Le réseau VSAT de l'entreprise est configuré selon une topologie en étoile. Il utilise un point central hub placé à Ivato Antananarivo, et relié par les stations VSAT (Mahajanga, Toamasina, Antsiranana, Toliara, Tolagnaro, Maintirano, Antalaha et Mananjary) via le satellite INTELSAT 10-02 (International Telecommunications Satellite).

L'entreprise aéronautique est liée à l'INTELSAT par un contrat de location de bande de fréquences sur un de ses satellites géostationnaires. Pour effectuer des transmissions, les stations émettrices accèdent à ce satellite par la méthode FDMA. Et comme les fréquences porteuses et les bandes passantes sont déjà définies à l'avance par cet opérateur satellite, le mode d'assignation employé est en conséquence le PAMA.

Les liaisons satellitaires de l'entreprise exploitent la bande C comme l'indique le tableau 4.02 ci-dessous.

VSAT	Hub vers VSAT (MHz)			VSAT vers Hub (MHz)		
	Tx Hub	Rx VSAT	FI Tx	Tx VSAT	Rx Hub	FI Rx
Mahajanga	5882,4105	3657,4105	1492,5895	5883,1650	3658,1650	1491,8350
Toamasina	5882,0440	3657,0440	1492,9560	5882,8300	3657,8300	1492,1700
Mananjary	6149,1107	3924,1107	1225,8893	6149,1077	3924,1077	1225,8923

Tableau 4.02 : *Extrait des fréquences porteuses en émission/réception des stations de l'entreprise*

La figure 4.01 ci-après représente l'architecture VSAT de l'entreprise aéronautique à Madagascar.

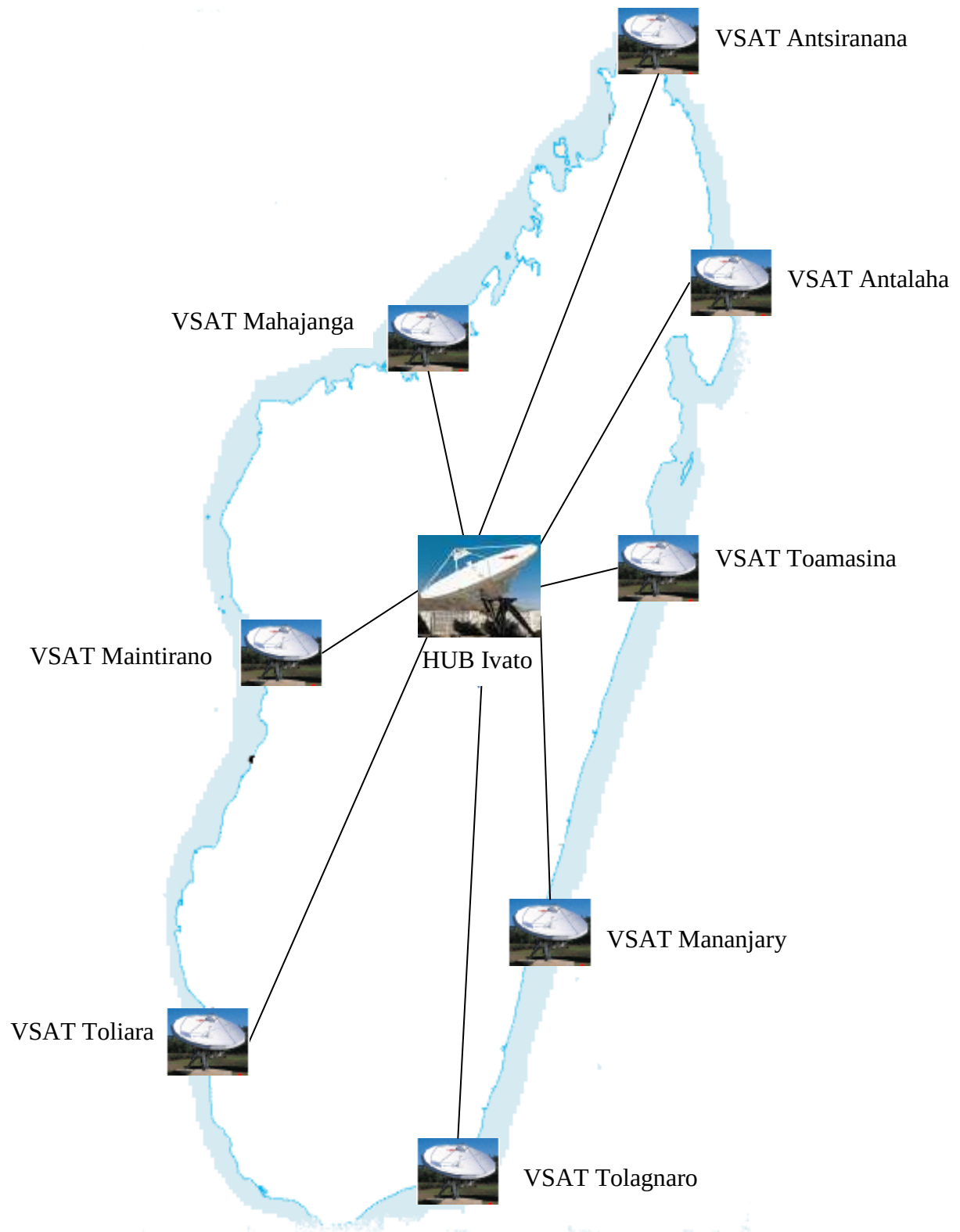


Figure 4.01: *Architecture VSAT de l'entreprise aéronautique à Madagascar*

Les modules de communication par satellite de l'entreprise sont illustrés sur la figure 4.02.



Figure 4.02: *Baie Multiplexeur/VSAT existante*

4.4 Structure et fonctionnement des chaînes VSAT

La figure 4.03 ci-contre illustre le schéma synoptique des chaînes VSAT de l'entreprise.

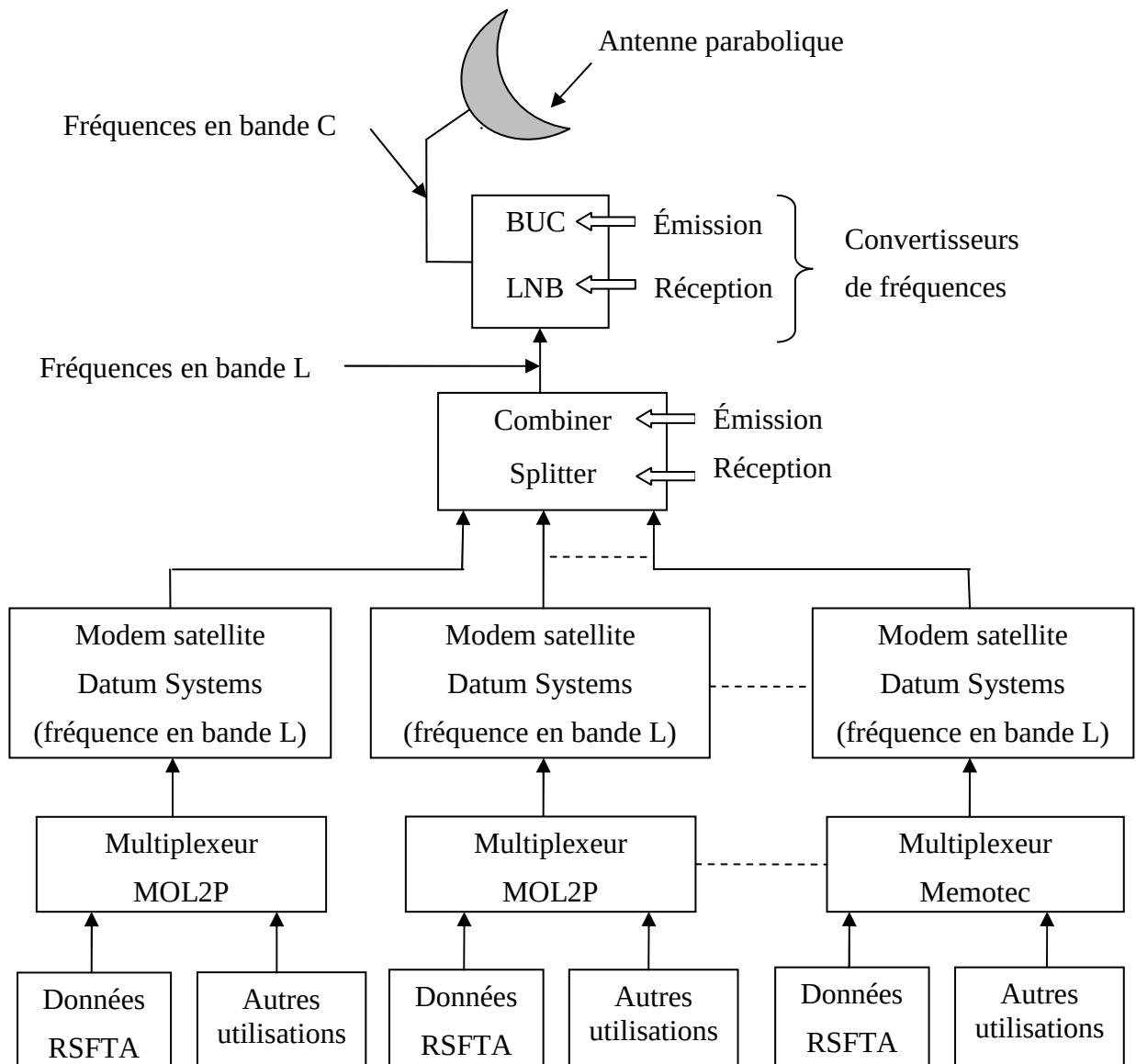


Figure 4.03: Schéma synoptique des chaînes VSAT de l'entreprise

4.4.2 La partie utilisatrice

Les équipements existants au sein de l'entreprise utilisés pour les transmissions des données aéronautiques sont : le commutateur de messages AMS 1500, le commutateur de paquets Megapac et le switch Ethernet Cisco.

4.4.2.1 Le commutateur de messages AMS 1500

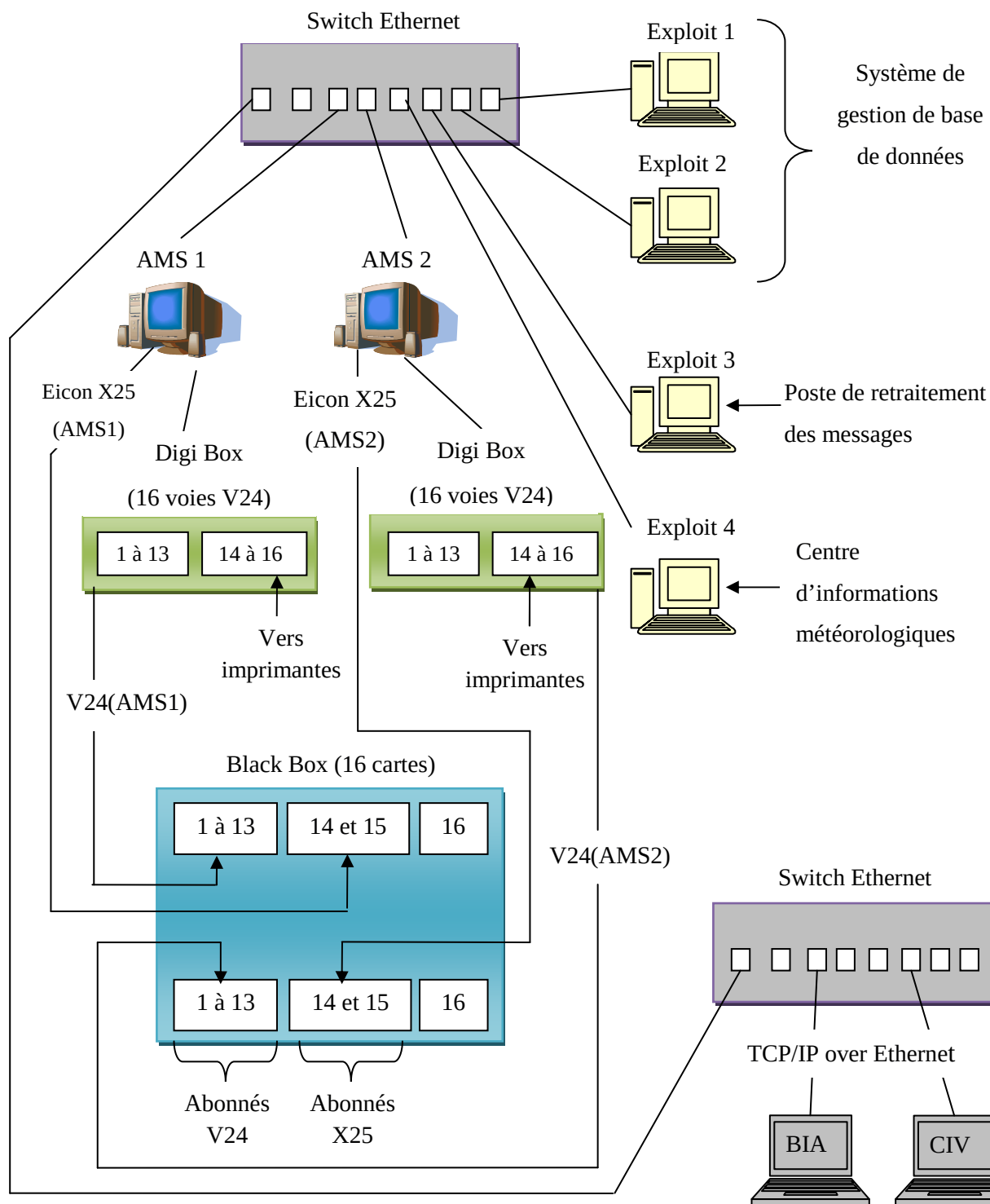


Figure 4.04: Structure type de l'AMS 1500

Un système de messagerie automatique AMS 1500 (Automatic Message System) de la figure 4.04, sis au site central de données Ivato et proposé par la société française Sagem, gère

essentiellement le réseau RSFTA selon les normes OACI. Il assure la commutation des messages aéronautiques (asynchrones, synchrones, IP) d'un correspondant à l'autre. Il est constitué de trois ensembles : commutation et interfaces, exploitation, et utilisateurs.

4.4.2.1.1 Commutation et interfaces

Deux ordinateurs (écran, clavier et unité centrale) appelés AMS1 et AMS2 jouent le rôle de serveur. Ils sont configurés en Maître/Esclave ou Normal/Secours afin que le système fonctionne 24h sur 24h en cas de défaillance ou maintenance de l'un des serveurs. Les deux serveurs tournent sur le système d'exploitation Unix. Ils sont constitués des interfaces selon différents types de protocoles de communications :

- pour l'interface X25, ces serveurs sont caractérisés par deux cartes eicon X25 qui gèrent les voies au protocole X25,
- pour l'interface V24, une carte V24 gère les voies du protocole V24,
- pour l'interface réseau, chaque serveur est caractérisé par une carte réseau Ethernet qui gère les abonnés au protocole TCP/IP over Ethernet à travers un switch. Les adresses IP de ces abonnés sont de classe A (Ivato : 10.61.141.0 ; Mahajanga : 10.61.142.0 ; Toamasina : 10.61.143.0, etc.)

Le système possède deux Digi Box qui sont des commutateurs de voies V24, dont l'un est relié au serveur 1 et l'autre au serveur 2. Chacun des Digi Box est équipé de 16 ports reliés chacun à une carte du black box.

Il existe trois imprimantes systèmes permettant l'archivage des journaux de trafic et gestion des alarmes systèmes. Chaque imprimante est reliée aux serveurs par l'intermédiaire des trois voies V24 du Digi Box.

Le Black Box ou l'aiguilleur est un commutateur électronique équipé de 16 cartes pour chaque serveur, qui servent à recevoir les lignes X25 et V24. Il permet en cas d'anomalie du serveur maître de basculer automatiquement toutes les voies X25, V24 et les imprimantes systèmes sur le serveur qui est devenu maître. Souvent, 13 cartes sont attribuées aux voies V24, 2 cartes sont destinées aux voies X25 et la carte restante est libre.

4.4.2.1.2 Exploitation

L'exploitation du système est assurée par quatre PC, chacun dénommé respectivement exploit 1, exploit 2, exploit 3 et exploit 4, fonctionnant sous Windows NT. Ces PC sont reliés entre eux de même qu'avec chaque serveur et équipés d'une interface réseau Ethernet assurée par un switch.

Deux de ces PC (exploit 1 et exploit 2) sont prévus pour gérer les tables d'exploitation et l'archivage. Pour ce faire, on utilise les disques amovibles qui sont installés dans les deux PC. L'un pouvant recevoir en secours en cas de panne de l'autre. Ces disques sont au nombre de deux et assurent la duplication. Ces deux PC servent donc de base de données.

Le poste de retraitement des messages est réalisé par l'exploit 3. Un exemple de retraitement est la correction d'un message erroné ou rejeté.

L'exploit 4 assure l'acheminement des informations météorologiques.

4.4.2.1.3 Utilisateurs

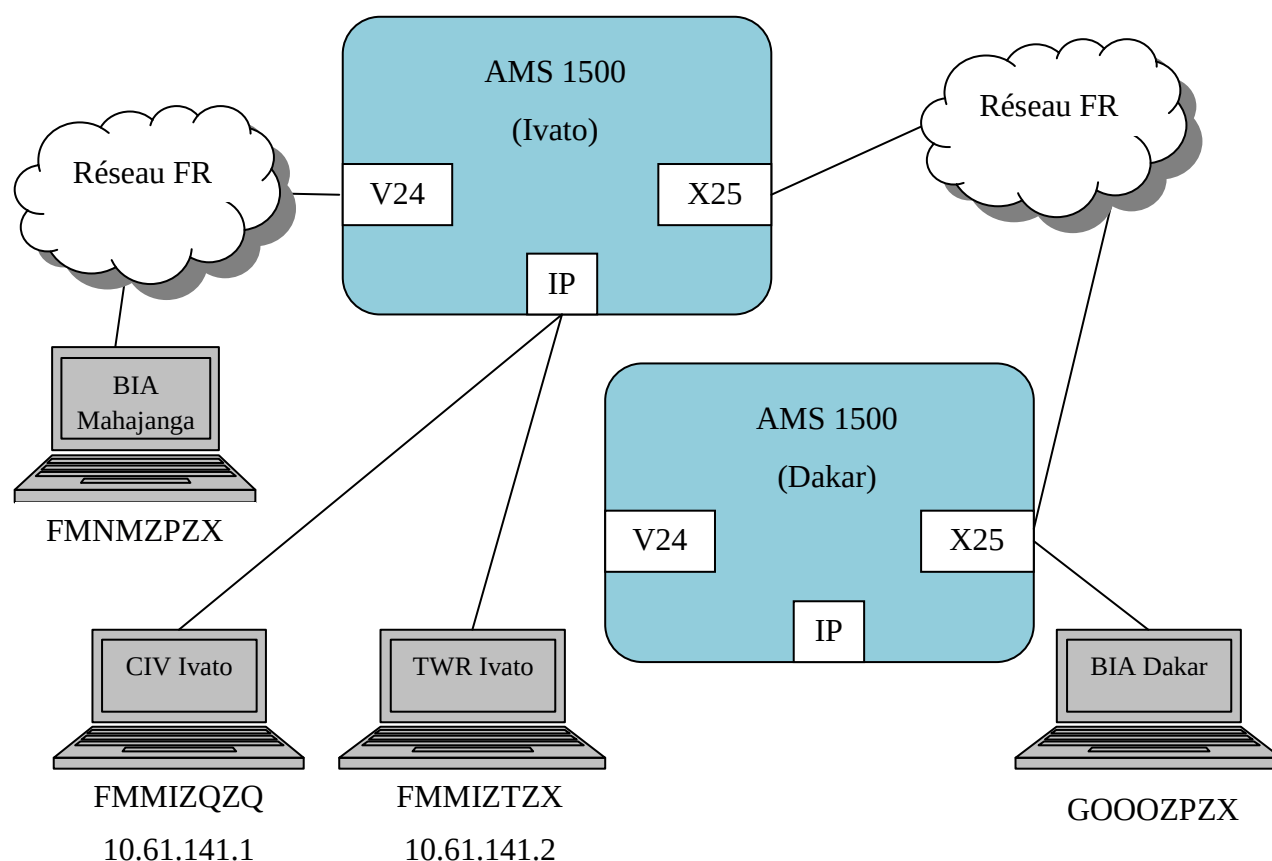


Figure 4.05: Exemple de fonction de commutation des messages aéroportuaires de l'AMS 1500

Ce sont les utilisateurs nationaux et internationaux : TWR, CIV, BIA, BdP, MTO, etc.

La figure 4.05 ci-dessus montre un exemple de la fonction de commutation des messages aéroportuaires de l'AMS 1500.

4.4.2.2 Le commutateur de paquets Megapac

C'est un équipement multiprotocole permettant la commutation des paquets. Il est employé pour commuter les données des liaisons asynchrones (V24) et celles des liaisons synchrones (X25). Cet équipement est représenté sur la figure 4.06 ci-dessous.



Figure 4.06: *Le Megapac*

4.4.2.3 Le switch Ethernet Cisco

C'est un commutateur à 24 ports. Cet équipement va gérer les paquets IP du réseau de l'entreprise. Il utilise la technique « store and forward ». Un paquet IP encapsulé dans une trame Ethernet qui entre sur un de ses ports va ressortir sur un autre où le destinataire est connecté. Tous les clients sont connectés au système de messagerie à travers ce switch. La figure 4.07 ci-après montre cet équipement.



Figure 4.07: *Le switch Ethernet Cisco*

4.4.3 La station terrienne

La station terrienne de l'entreprise abrite les équipements suivants pour les liaisons satellites :

- les multiplexeurs MOL2P (Multiplexeur Optimisant la Liaison avec la Priorité à la Parole) et Memotec,

- les modems satellites Datum Systems,
- les convertisseurs de fréquences BUC et LNB

4.4.3.1 Les multiplexeurs : MOL2P et Memotec

Toutes les données aéronautiques seront ultérieurement multiplexées afin de pouvoir transiter sur un support physique à haute vitesse. C'est dans ces équipements qu'a lieu le système d'encapsulation de données. Les données asynchrones, les données synchrones et les données IP sont encapsulées dans les trames FR, puis routées et véhiculées à travers le réseau FR. L'entreprise a recours à deux types de multiplexeurs : le MOL2P et le Memotec.

4.4.3.1.1 Le MOL2P

Le multiplexeur MOL2P de la figure 4.08 assure la transmission des données synchrones, asynchrones, informatiques, de la phonie et du fax. Comme son nom l'indique, dans ce type de multiplexage les voix ont la priorité en occupant la bande passante qui leur est propre, les autres données allouent le reste de la bande passante. Chaque MOL2P dispose d'un mode d'identification permettant de l'identifier, par exemple :

- TNR1 : identifiant du MOL2P d'Ivato, utilisé pour la liaison avec Mahajanga ; il est aussi connecté à TNR2,
- TNR2 : identifiant du MOL2P d'Ivato, utilisé pour les liaisons avec Moroni, Maurice, etc.
- MAH : identifiant du MOL2P de Mahajanga,



Figure 4.08: *Le MOL2P*

4.4.3.1.2 Le Memotec

Le Memotec représenté sur la figure 4.09 est un multiplexeur multiservice, qui achemine les signaux de voix comprimés analogiques et numériques, les images, le fax, les données synchrones et asynchrones, le trafic de réseau local ou LAN sur des services de réseau étendu tel que FR. Sa

particularité par rapport au MOL2P est que les voix et les données ont même priorité. Les Memotec sont utilisés pour permettre les liaisons avec Maintirano, Mananjary, Toamasina, Tolagnaro, Antalaha, etc. À l'instar du MOL2P, chaque Memotec possède également un mode d'identification :

- TOA-TNR : identifiant du Memotec de Toamasina,
- MNJ-TNR : identifiant du Memotec de Mananjary,
- ANT-TNR : identifiant du Memotec d'Antalaha,



Figure 4.09: *Le Memotec*

4.4.3.2 Les modems satellites Datum Systems

Comme les données binaires issues des multiplexeurs MOL2P et Memotec ne sont pas directement adaptées au canal de transmission tel que le faisceau hertzien, elles seront donc modulées en QPSK par les modems satellites Datum Systems. Ces derniers travaillent dans la bande de fréquences bande L (1,6 GHz dans le sens montant et 1,5 GHz dans le sens descendant). La modulation QPSK est choisie du fait que la bande de fréquences allouée est de 10 MHz. Il existe alors de nombreuses fréquences utilisables dans cette bande de fréquences. Or, la largeur de bande en modulation QPSK est petite, c'est-à-dire que pour une bande de fréquences donnée, on gagne plus de place en QPSK.



Figure 4.10: *Les modems satellites Datum Systems*

L'entreprise utilise plusieurs modems Datum Systems en bande L pour effectuer les liaisons satellitaires comme l'indique la figure 4.10. Dès lors, un sommateur de signal appelé « combiner »

va assembler les signaux à la sortie de ces modems en un signal composite bande L. À la réception, l'équipement qui assure l'opération inverse est le diviseur de signal ou « splitter ».

4.4.3.3 Les convertisseurs de fréquences : BUC et LNB

Pour la liaison montante, l'entreprise utilise un amplificateur de type BUC pour amplifier et convertir les fréquences FI bande L en des fréquences de travail du satellite en bande C. Pour la liaison descendante, c'est le LNB qui a pour mission de réaliser le processus inverse.

Ces deux convertisseurs de fréquences sont représentés sur la figure 4.11 ci-dessous.



Le BUC



Le LNB

Figure 4.11: *Les convertisseurs de fréquences*

4.5 Exemple de transmission de données aéronautiques : cas d'un plan de vol

Afin de pouvoir bien saisir ces échanges de données aéronautiques, nous allons considérer un cas précis de transmission satellitaire de données. Pour ce faire, nous allons prendre comme exemple le plan de vol d'un avion. Cet avion va décoller à Mahajanga et va atterrir à Toamasina. La transmission de ce FPL de Mahajanga à Toamasina via satellite est illustrée sur la figure 4.12. Il est à noter que ces deux sites ne disposent pas de commutateur Megapac.

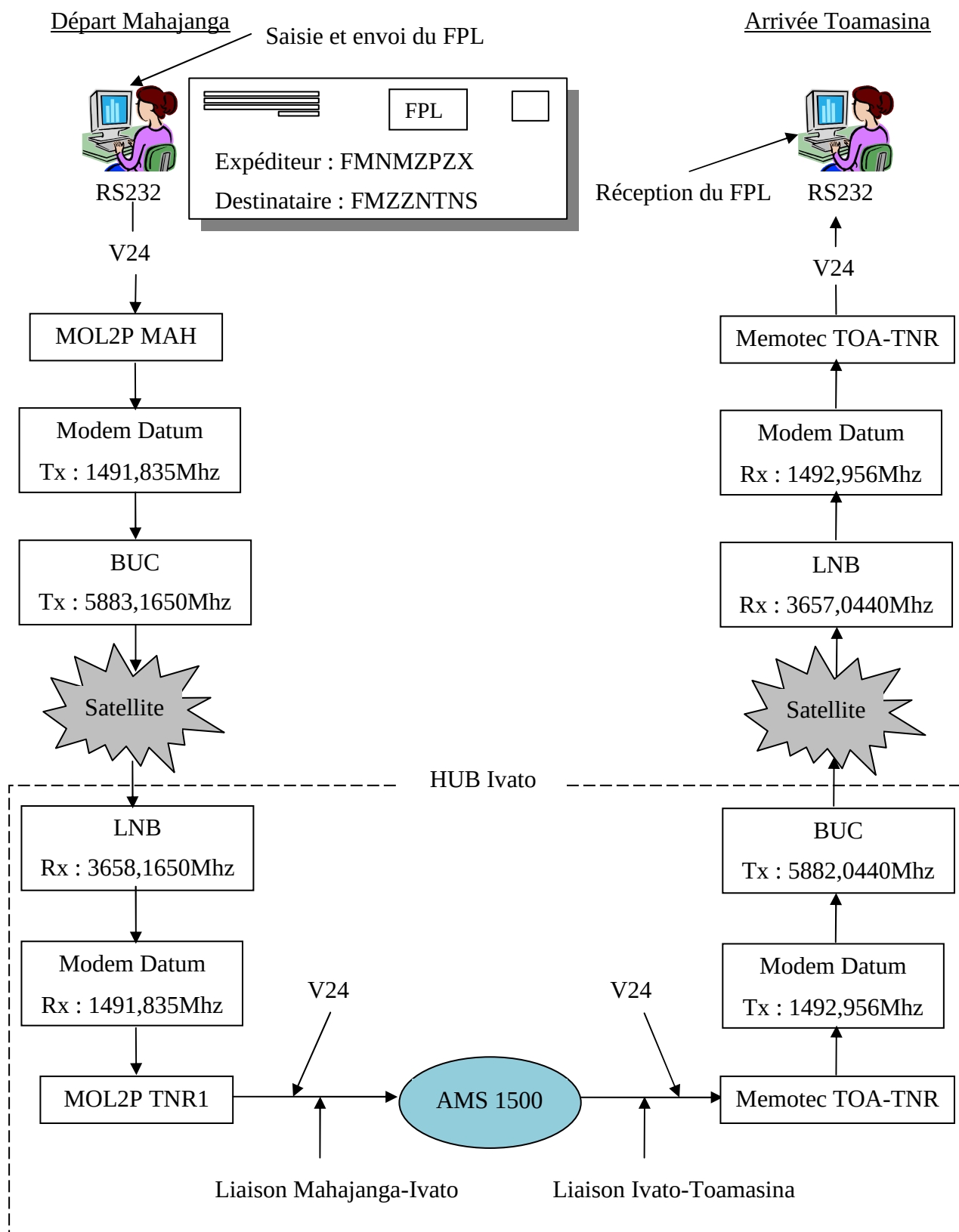


Figure 4.12: Transmission d'un plan de vol d'un avion reliant Mahajanga à Toamasina

Un FPL est saisi au BdP de Mahajanga. Les adresses RSFTA des points concernés par ce plan sont également mentionnées lors de cette saisie. L'adresse RSFTA de l'expéditeur est donc FMNMZPZX et celle du destinataire FMZZNTNS (adresse collective). Le FPL sera ensuite envoyé après enregistrement. Il empruntera la liaison série RS232 du PC utilisant le protocole asynchrone V24. La transmission de ce plan requiert un débit utile de 2,4 Kbps.

Les données asynchrones du FPL seront à l'instant multiplexées dans le MOL2P MAH, donc encapsulées dans la trame FR. Un modem Datum sera directement connecté à ce MOL2P MAH et effectuera la modulation en QPSK des données binaires du FPL afin qu'elles puissent être transmises sur faisceau hertzien. Ce modem fournira à sa sortie une fréquence FI bande L de 1491,8350 MHz. Cette fréquence FI sera ensuite amplifiée et convertie par le convertisseur de fréquence BUC dans le but de correspondre à la fréquence de travail du satellite bande C 5883,1650 MHz.

Dès lors, arrivé à Ivato, le LNB du hub aura pour mission d'effectuer l'opération inverse du BUC. La fréquence de réception bande C 3658,1650 Mhz sera transformée en fréquence FI bande L de 1491,8350 MHz. C'est cette fréquence FI qui sera la fréquence de démodulation du modem Datum afin d'obtenir les données binaires du FPL. Le MOL2P TNR1 assurera la liaison Mahajanga - Ivato. Il démultiplexera les données asynchrones, c'est-à-dire, la trame FR les désencapsulera avant qu'elles parviennent sur les lignes entrantes de l'AMS 1500 où elles seront archivées, retraitées en cas d'erreur, sinon, dispatchées vers les PC des points d'Ivato (TWR, CIV, BIA, BdP, MTO) et aiguillées vers les PC de Toamasina. Pour Toamasina, le message passe par le Memotec TOA-TNR. En effet, ce multiplexeur a pour rôle d'assurer la liaison Ivato - Toamasina. Il va une fois de plus multiplexer les données asynchrones (encapsulation dans la trame FR). Un modem Datum à proximité se chargera de les moduler en QPSK. Du modem sera obtenu une fréquence FI de 1492,9560 MHz. Cette dernière se trouvera par la suite amplifiée et convertie, par le BUC, en une fréquence de travail de 5882,0440 MHz.

Une fois parvenue à destination de Toamasina, le processus de conversion de fréquence de réception 3657,0440 Mhz en fréquence FI 1492,9560 MHz sera réalisé par le LNB. De même que la démodulation précédente, la fréquence 1492,9560 MHz sera utilisée par le modem Datum pour démoduler les données asynchrones. Le Memotec TOA-TNR assurera par la suite le démultiplexage (désencapsulation) et le FPL sera finalement reçu par les PC des BIA/BdP, TWR, MTO via les connecteurs DB25 (liaison série RS232).

4.6 Devis approximatif des infrastructures existantes

Dans le cas d'une entreprise aéronautique, les équipements du réseau VSAT imposent un investissement de base important. Le tableau 4.03 ci-après indique les prix de ces équipements satellites pour la liaison Mahajanga - Toamasina. Pour les données aéronautiques, toutes éventuelles communications passent par le site central de données à Ivato. Tous les équipements utilisés pour l'inbound link (Mahajanga – Ivato) et l'outbound link (Ivato – Toamasina) seront donc mentionnés dans le tableau. Ce tableau est donné à titre indicatif en vue de faciliter la compréhension de ce travail. Le coût total qui y figure est de 2 933 509 466 Ariary (coût 2011).

Nom de l'équipement	Prix unitaire (Ariary)	Nombre d'équipements utilisés	Prix total (Ariary)
Hub	2 840 000 000	1	2 840 000 000
VSAT	2 131 893	2	4 263 786
BUC	12 072 840	2	24 145 680
LNB	Pour mémoire	2	Pour mémoire
Modem Datum	6 200 000 à 12 400 000 selon les caractéristiques	7	65 100 000
Total			2 933 509 466

Tableau 4.03 : *Devis estimatif des équipements existants (cas Mahajanga – Toamasina)*

4.7 Les contraintes des infrastructures existantes

De même que précédemment (voir chapitre 2), les infrastructures existant au sein de l'entreprise sont également confrontées à quelques contraintes. Le temps de propagation du signal élevé de 320 ms pour un bond satellitaire ne leur permet pas de jouir des avantages que suscite l'innovation technologique actuelle. On parle souvent des applications interactives. Aussi, la coupure de 4 à 10 minutes fragilise la sécurité de la navigation aérienne.

4.8 Conclusion

On a pu constater dans ce chapitre que l'implantation d'une entreprise aéronautique à Madagascar minimise les risques courus par les usagers de l'espace aérien. Cette mission de sécurité aérienne est assurée jusqu'à présent par les infrastructures existantes de l'entreprise qui ne sont autre que les technologies satellites. Cependant, son système VSAT ne se trouve pas être un support dit fiable pour la transmission des données. Non seulement ses performances sont limitées par des perturbations météorologiques, mais l'exploitation de ses équipements est incontestablement très coûteuse. Pour remédier à ces problèmes, il est de ce fait capital d'envisager un autre support de transmission moins cher et mieux adapté aux besoins de l'entreprise. La suite du travail consiste en partie à montrer que la fibre optique est le support approprié.

CHAPITRE 5

ÉTUDE DE L'IMPLÉMENTATION DES DONNÉES AÉRONAUTIQUES SUR LE BACKBONE NATIONAL EN FIBRE OPTIQUE

5.1 Préambule

L'arrivée des infrastructures de télécommunications optiques, le backbone national, constitue un nouveau départ pour Madagascar. C'est le début d'une ère nouvelle, celle de la technologie de pointe à très haut débit, de la réduction des services et tarifications, et donc de nouvelles opportunités pour les entreprises. L'entreprise aéronautique pourra alors pour sa part bénéficier des avantages du backbone national, améliorant ainsi considérablement son efficacité.

Quelques généralités sur le backbone national en fibre optique, les besoins souhaités pour la mise en œuvre de l'implémentation des données aéronautiques sur ce backbone, ainsi que le devis approximatif du projet et ses avantages par rapport aux existants seront présentés dans ce chapitre.

5.2 Notions sur le backbone

Le backbone est un terme en anglais qui se traduit en français par « épine dorsale » ou « réseau dorsal ». Dans le contexte des réseaux de télécommunications, le backbone joue le rôle d'artère principale pour le trafic. Effectivement, il supporte le gros du trafic en utilisant les technologies de transmission à très haut débit et une très large bande passante sur des distances importantes. Le backbone est généralement le maillage de fibres optiques qui relie entre eux les pays et les principales villes de chaque pays. C'est donc un réseau fédérateur à haut débit.

5.3 Le backbone national en fibre optique à Madagascar

Le câble EASSy (Eastern Africa Submarine System) apporte avec lui un lot impressionnant d'innovations technologiques. La plus importante est sans aucun doute l'accroissement de la capacité de transfert de données. EASSy est le plus grand câble de l'Afrique. Il est aussi doté d'une très grande capacité en terme de transfert avec près de 1,4 Téraoctets/s. [38]

En parallèle, Madagascar a joui sans tarder des avantages du câble dès son arrivée. La mise en place du backbone national en fibre optique de la figure 5.01 fait partie des grandes actions de l'opérateur téléphonique Telma (Télécom Malagasy). Long de 3 000 km, le backbone national constitue aujourd'hui la base de la future infrastructure de télécommunication de Madagascar. Plusieurs villes en province : Mahajanga, Toamasina, Toliara,... reliées à la capitale, peuvent déjà

bénéficier des avantages du backbone. Ceci se matérialise par une plus grande fluidité du trafic, une meilleure sécurité des transferts ou encore une certaine pluralité de services. Dans cette optique, le backbone n'est pas seulement une nouveauté, c'est aussi une véritable révolution. Car avec le backbone arrive le « très haut débit » qui apparaît comme un symbole de l'intégration de la Grande île dans le monde de la haute technologie et du modernisme. Sur le plan pratique, le réseau en fibre optique du backbone national permet non seulement une meilleure communication, mais aussi d'ouvrir de nouveaux horizons pour les opérateurs économiques en particulier. En effet, ces derniers pourront exploiter les 2,5 Gbps de débits installés. [38]



Figure 5.01: Le backbone national en fibre optique de l'opérateur à Madagascar [38]

5.4 Description des besoins

Pour rendre possible la transmission ou l'implémentation des données aéronautiques sur le réseau dorsal national en fibre optique, il est clairement primordial de formaliser une expression des besoins à partir des existants et des analyses réalisés précédemment. Étant donné que c'est un projet pour les jours à venir, il est également indispensable de prendre en considération, dans la formalisation des besoins, toute autre utilisation probable et toute exploitation possible du backbone. Citons entre autres la voix sur IP, la téléphonie et la vidéoconférence. Cette description des besoins permettra ainsi au fournisseur de services (opérateur) de s'engager formellement auprès de l'entreprise sur les caractéristiques de transport des données applicatives sur leurs infrastructures. On parlera ainsi du périmètre d'intervention, des fonctionnalités attendues, des qualités de service requises, et surtout du système back-up ou système de secours.

5.4.1 Le périmètre d'intervention

Le périmètre d'intervention du nouveau projet décrit l'espace géographique de l'entreprise qui exploitera prochainement l'épine dorsale nationale en fibre optique. Cet espace géographique dépend de la desserte optique actuelle du backbone national de l'opérateur. Il inclura en conséquence quatre sites : site Ivato, site Mahajanga, site Toamasina et site Toliara.

Il est impératif de noter que la configuration en étoile du réseau de l'entreprise sera sans doute maintenue. La station Ivato conservera toujours son rôle de site central de données. Le hub est certainement préservé afin de relier les stations VSAT restantes de l'entreprise.

5.4.2 Les fonctionnalités attendues

On prévoit d'implémenter les données aéronautiques de l'entreprise sur l'épine dorsale nationale en fibre optique. Néanmoins, les derniers kilomètres de la transmission raccordant l'entreprise à l'opérateur posent certains problèmes. On entend par ces derniers kilomètres :

- le Telma Analakely au site Ivato,
- le Telma Mahajanga au site Mahajanga,
- le Telma Toamasina au site Toamasina,
- et le Telma Toliara au site Toliara.

Il a tout d'abord été envisagé de déployer de la fibre optique jusque chez l'abonné, c'est-à-dire l'entreprise. L'investissement s'est cependant révélé trop onéreux. La rentabilité du système était ainsi compromise.

Il fallait donc trouver une autre solution pour proposer des services assurant de hauts débits à moindre coût. La solution fut trouvée : doper le réseau téléphonique existant. C'est le but de la technologie ADSL. La nouvelle technologie ADSL se situe sur le créneau des réseaux à large débit. Il serait intéressant de situer ces termes dans leur contexte permettant ainsi de mieux comprendre l'engouement que suscitent ces technologies si prometteuses.

5.4.2.1 La technique ADSL

L'Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL), autrement dit raccordement numérique asymétrique, est une technique de communication qui permet d'utiliser le fil de cuivre du téléphone fixe pour transmettre et recevoir des données numériques de manière indépendante du service téléphonique proprement dit. Comme son nom l'indique, la technologie ADSL implique un débit asymétrique avec une bande descendante (downstream) de 1,5 Mbps à 9 Mbps et une bande montante (upstream) de 16 Kbps à 640 Kbps. Les distances de fonctionnement sur le cuivre sont de 5,4 km. [5][30]

5.4.2.2 L'ADM

L'équipement d'accès existant utilisé par l'opérateur qui est le point optique du backbone et qui donne la possibilité à ses abonnés de jouir de ses services à haut débit, y compris la technique ADSL, est l'ADM (Add Drop Multiplexer). L'ADM ou MIE (Multiplexeur à Insertion/Extraction) assure le transfert des données tout en autorisant l'extraction et l'insertion de sous-débit. Sur la figure 5.02 qui suit, le lien haut débit concerne le backbone proprement dit de l'opérateur, tandis que le lien sous-débit est destiné pour les abonnés de l'opérateur. De plus, cet équipement a la fonction de convertir les signaux lumineux en signaux électriques. [5][31]

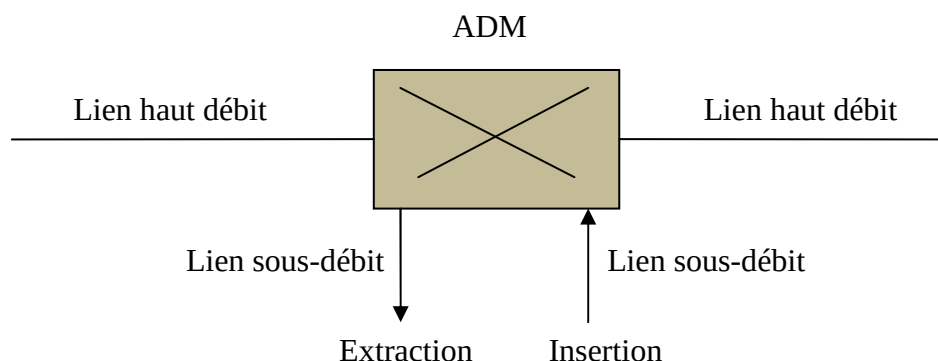


Figure 5.02: L'ADM [5]

5.4.2.3 Modification des existants de l'entreprise et déploiement de la future infrastructure

Un changement radical au niveau des existants de l'entreprise s'impose pour mettre sur pied le projet. Les chaînes VSAT depuis le modem à l'antenne émettrice/réceptrice sont effectivement retirées. Seuls le multiplexeur et la partie utilisatrice (données RSFTA et autres utilisations) seront préservés.

Bénéficier des services offerts par ADSL nécessite l'installation d'équipements de communication dédiés à cette technologie chez l'entreprise. L'équipement qui traite les signaux ADSL est soit un modem ADSL, soit un routeur ADSL (qui n'est autre qu'un routeur classique muni d'un modem ADSL interne). La modulation utilisée pour l'ADSL est DMT (Discrete Multi Tone). Le principe est de découper la bande passante 1,1 MHz du support de transmission en 256 canaux de 4,3 KHz. [39]

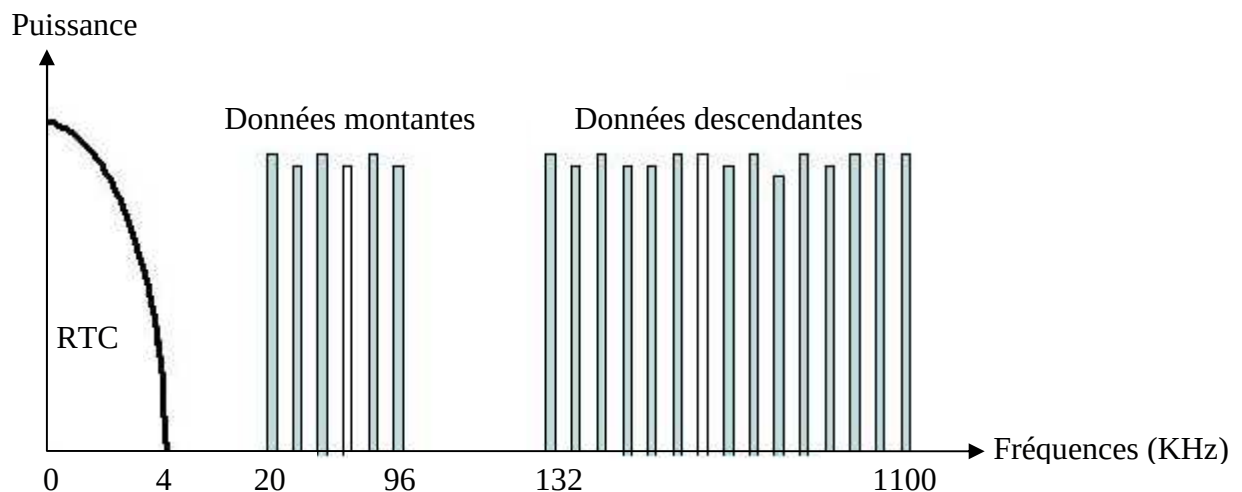


Figure 5.03: Principe de la modulation DMT [39]

Comme l'indique la figure 5.03 ci-dessus,

- le premier canal est réservé aux données voix (RTC ou Réseau Téléphonique Commuté),
- 17 canaux sont réservés aux données numériques montantes,
- 225 canaux sont réservés aux données numériques descendantes.

Le protocole IP est le protocole conforme au modem ADSL de l'opérateur. Il est donc recommandé d'adapter le protocole réseau de transport des données aéronautiques de l'entreprise, FR, à ce nouveau protocole. Pour cela, l'installation d'un routeur entre le multiplexeur et le

modem ADSL devient une nécessité. Le routeur possède au moins deux interfaces. Son rôle est de récupérer la trame FR, provenant du multiplexeur, sur l'une de ses interfaces et de les envoyer sur une autre interface. Avant l'envoi, il effectue l'encapsulation de cette trame dans une nouvelle trame appelée trame Ethernet.

Le schéma synoptique de cette nouvelle infrastructure est illustré sur la figure 5.04 ci-dessous. La liaison louée est mise à disposition de l'entreprise par l'opérateur moyennant d'une redevance d'usage telle que la ligne téléphonique pour accéder à ADSL.

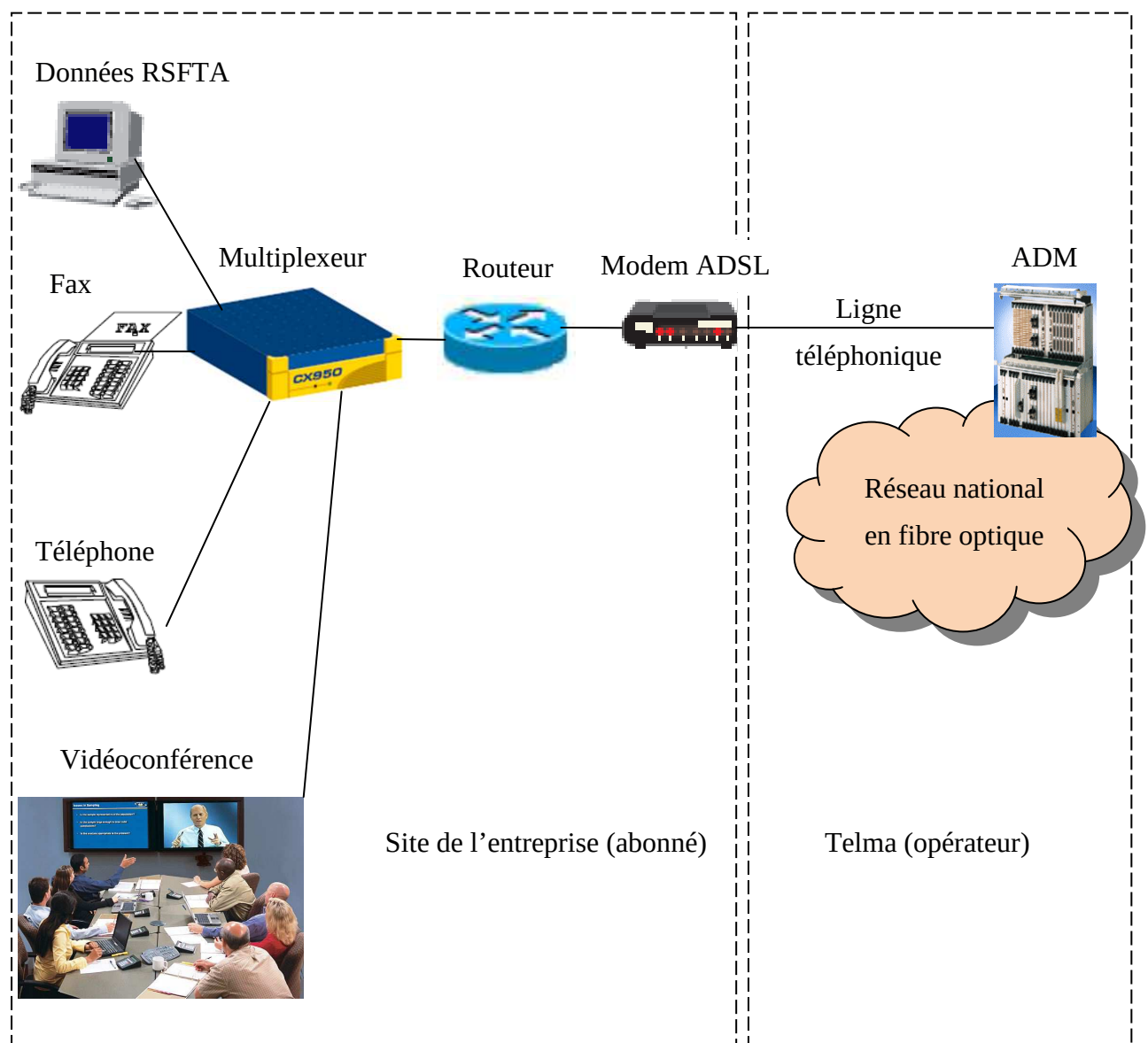


Figure 5.04: Schéma synoptique de la future infrastructure de l'entreprise aéronautique

5.4.3 Les qualités de services

La Qualité de Service (QoS) ou Quality of Service (QoS) désigne la capacité à véhiculer un type de trafic donné sur un support de communication de l'opérateur, conforme à des exigences de l'entreprise. C'est donc un concept de gestion qui a pour but d'optimiser les ressources d'un réseau de l'entreprise.

Pour l'implémentation des données aéronautiques sur le backbone en fibre optique, la qualité réside dans le débit de liaison, le temps de réponse, le taux de perte des paquets, ou encore la disponibilité de liaison, la sécurité et la confidentialité des données. L'objet est de créer les synergies nécessaires contribuant au meilleur fonctionnement de la nouvelle infrastructure.

5.4.3.1 Le débit de liaison

Le débit de liaison correspond à la bande passante ou débit total demandé pour la transmission des données aéronautiques sur la ligne ADSL et sur le réseau national en fibre optique pour chaque site de l'entreprise, en fonction des circuits existants. Le tableau 5.01 suivant indique les débits requis pour chaque type de données véhiculées. Le domaine IP est actuellement en perpétuelle évolution. Les abonnés de l'entreprise pourront prochainement jouir des nombreux services offerts par cette technologie.

Type de données aéronautiques véhiculées	Débit unitaire (Kbps)	Nombre de circuits existants	Débit total (Kbps)
Synchrone (X25)	19,2	1	19,2
Asynchrone (V24)	2,4	15	36
IP	Non connus		376,8
Téléphonie	8	10	80

Tableau 5.01 : Débits demandés pour le nouveau projet

Le débit de liaison minimum demandé à l'opérateur s'évaluera en conséquence à 512 Kbps pour la liaison avec chaque site de l'entreprise. Ce nouveau débit conviendra parfaitement et commodément aux fonctionnalités attendues par l'entreprise.

5.4.3.2 Le temps de réponse

Le temps de réponse, pareillement appelé délai ou temps de latence caractérise le retard entre l'émission des données (et/ou de la parole) et sa restitution à l'arrivée. Ce service doit être transmis avec un délai de 0 à 250 ms. Ces chiffres sont acceptables pour une transmission de données aéronautiques entre deux sites.

5.4.3.3 Le taux de perte des paquets

Il correspond à la non-délivrance d'un paquet de données, la plupart du temps dû à un encombrement du réseau. D'autre part, une erreur sur l'en-tête du paquet peut également entraîner sa perte ou l'envoi vers une mauvaise destination. Pour avoir une qualité acceptable, le taux de perte de paquets doit rester inférieur à 20%.

5.4.3.4 La disponibilité de liaison

Cet enjeu de qualité est surtout destiné pour l'accès à un service partagé. La disponibilité correspond à l'aptitude de la liaison à disposer d'un temps de service maximum pour les va-et-vient continuels de données. Dans le cadre de la norme de l'OACI, pour le transfert des données aéronautiques, la liaison doit être vacante au moins à 95% du temps.

5.4.3.5 La sécurité et la confidentialité des données

Puisque plusieurs secteurs économiques et particuliers profitent déjà des avantages du backbone national, le nouveau projet semble être délicat. Il peut être cible d'attaques et d'intrusions. Les moyens mis en œuvre pour le protéger se regroupent sous le vocable de « sécurité de données ». Cependant, il convient de distinguer deux approches de la sécurité :

- la sûreté de fonctionnement (safety), qui concerne l'ensemble des mesures prises et des moyens utilisés pour se prémunir contre les dysfonctionnements matériels,
- la sécurité (security), proprement dite, qui regroupe tous les moyens et les mesures prises pour mettre les données à l'abri de toute agression.

De plus, suite à un accord, une clause de confidentialité des données doit être ratifiée par les deux parties concernées : l'abonné (l'entreprise) et l'opérateur.

5.4.4 Le système back-up ou système de secours

Il est dit précédemment que, dans le but de minimiser les risques courus par les usagers de l'espace aérien, la transmission de données aéronautiques sollicite dans la mesure du possible une liaison continue et sans coupure. L'installation d'un système back-up paraît donc plus que prépondérante. Le système back-up, aussi appelé système de secours, correspond aux moyens mis en œuvre par l'opérateur en cas d'indisponibilité de la ligne principale de la fibre optique. Dans cette optique, la solution back-up sera automatiquement fonctionnelle. Le trafic basculera immédiatement ainsi sans interruption, c'est-à-dire, avec un temps de commutation sensiblement égal à zéro, sur un autre support de communication du même débit, garantissant ainsi la continuité de la connexion et de la disponibilité de la liaison à un taux avoisinant les 95% requis par la norme OACI. C'est la raison d'être des installations en cours de plusieurs maillages de fibres optiques formant des boucles et reliant toutes les grandes villes et provinces du pays.

Supposons qu'il existe des dysfonctionnements au niveau des équipements ou coupure de la liaison directe entre Ivato Antananarivo et Toamasina. D'après la figure 5.01, le trafic basculera automatiquement depuis Ivato Antananarivo à Antsirabe, Ambositra, Fianarantsoa, il passera ensuite à Manakara avant d'arriver à Toamasina.

5.5 Architecture des nouveaux supports de transmission de données aéronautiques

La nouvelle architecture de support de transmission de données aéronautiques de l'entreprise à Madagascar, maintenant toujours la configuration en étoile, est de ce fait constituée de VSAT et de fibres optiques. La figure 5.05 ci-après évoque la nouvelle architecture.



Figure 5.05: *Nouvelle architecture VSAT/fibres optiques de l'entreprise*

5.6 Exemples de transmission de données aéronautiques

Pour bien assimiler ce nouveau concept, nous allons considérer deux cas de transmission de données (FPL) : liaison Mahajanga - Toamasina et liaison Mananjary - Toamasina.

5.6.1 Liaison Mahajanga - Toamasina

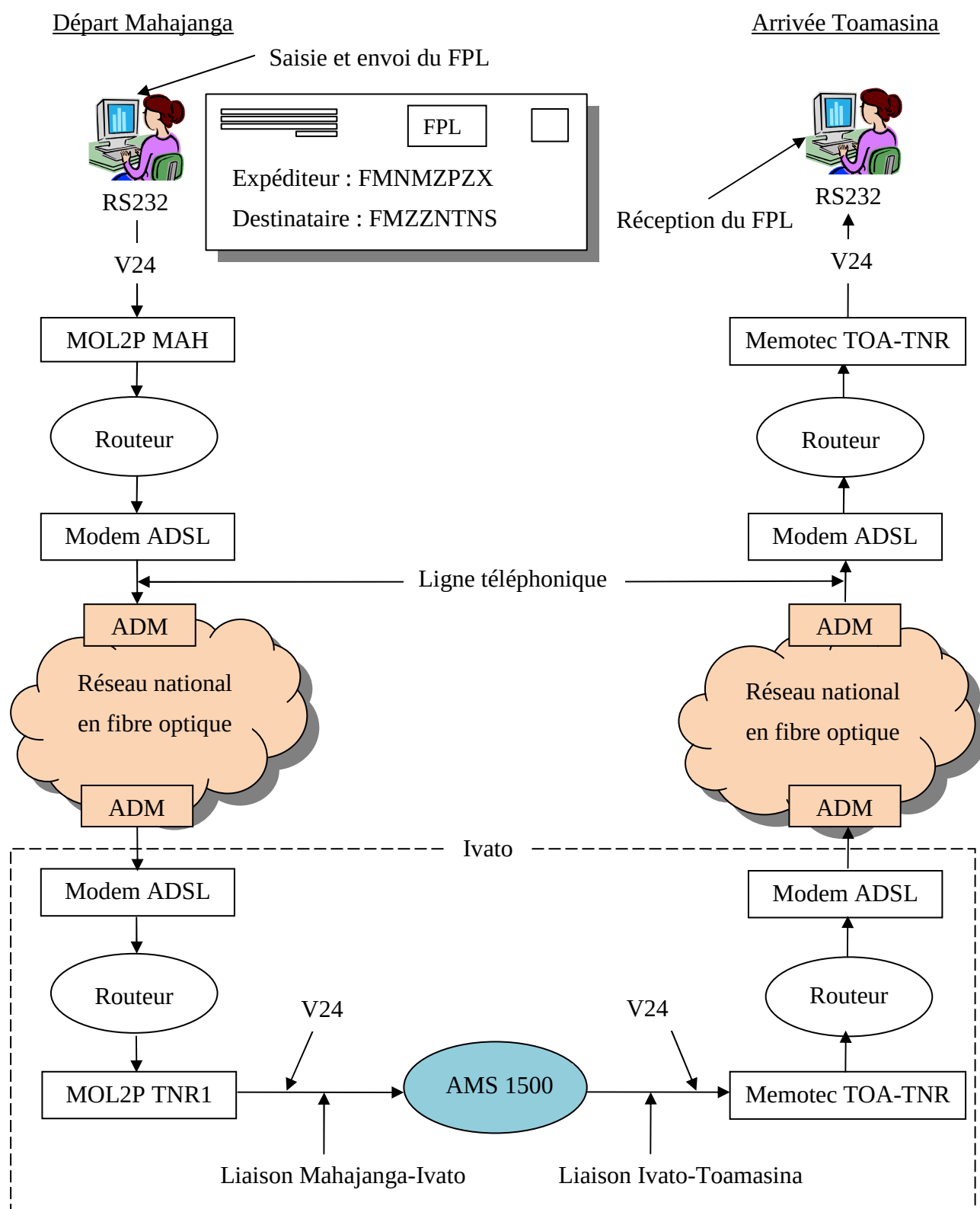


Figure 5.06: Transmission d'un FPL d'un avion reliant Mahajanga à Toamasina via fibre optique

La figure 5.06 ci-avant illustre un exemple de transmission de plan de vol d'un avion reliant Mahajanga et Toamasina via le backbone national en fibre optique.

L'avion va s'envoler à Mahajanga pour toucher-terre à Toamasina. Le BdP de Mahajanga saisit en conséquence un FPL dans lequel les adresses RSFTA sont également indiquées : FMNMZPZX (expéditeur) et FMZZNTNS (destinataires). Après enregistrement, le FPL sera aussitôt envoyé en empruntant la liaison série RS232 du PC. Ce transfert de données asynchrones exploitera le protocole V24 avec un débit utile de 2,4 Kbps. Ces données asynchrones seront ensuite multiplexées dans le MOL2P MAH et encapsulées dans la trame FR. Étant donné que la trame FR n'est pas conforme au réseau de transport de l'opérateur, elle sera à l'instant encapsulée dans la trame Ethernet via le routeur. Le modem ADSL à proximité aura pour mission de moduler les données binaires du FPL afin qu'elles puissent être transmises sur la ligne téléphonique existante. L'ADM le plus proche du site de l'entreprise convertira les signaux électriques en signaux lumineux et insérera le sous-débit 2,4 Kbps pour que le backbone ou réseau national en fibre optique soit en mesure de les véhiculer à haut débit (2,5 Gbps).

Une fois parvenu à l'ADM Ivato, le sous-débit de 2,4 Kbps sera extrait du backbone et les signaux lumineux seront transformés en signaux électriques. Ces derniers seront de suite transmis jusqu'au modem ADSL de l'entreprise par l'intermédiaire du fil de cuivre de l'opérateur. Le modem effectuera la démodulation et le routeur la désencapsulation de la trame FR. Le MOL2P TNR1 chargé de garantir la liaison Mahajanga - Ivato démultiplexera les données binaires du FPL.

Puis, les données arrivent sur les lignes entrantes de l'AMS 1500 où le commutateur de messages exercera sa fonction d'archivage, de retraitement dans l'éventualité d'une erreur, et de dispatching vers les PC des points d'Ivato tels que : la TWR, le CIV, le BIA, le BdP et la MTO. Pareillement, les données seront aiguillées vers Toamasina.

Dès lors, les données asynchrones seront multiplexées de nouveau par le Memotec TOA-TNR qui assurera la liaison Ivato-Toamasina. Le même principe de transmission que précédemment s'en suivra ensuite avant que les données parviennent aux PC destinataires de Toamasina via les connecteurs DB25. Ces PC bénéficiaires sont ceux des BIA/BdP, TWR et MTO.

5.6.2 Liaison Mananjary - Toamasina

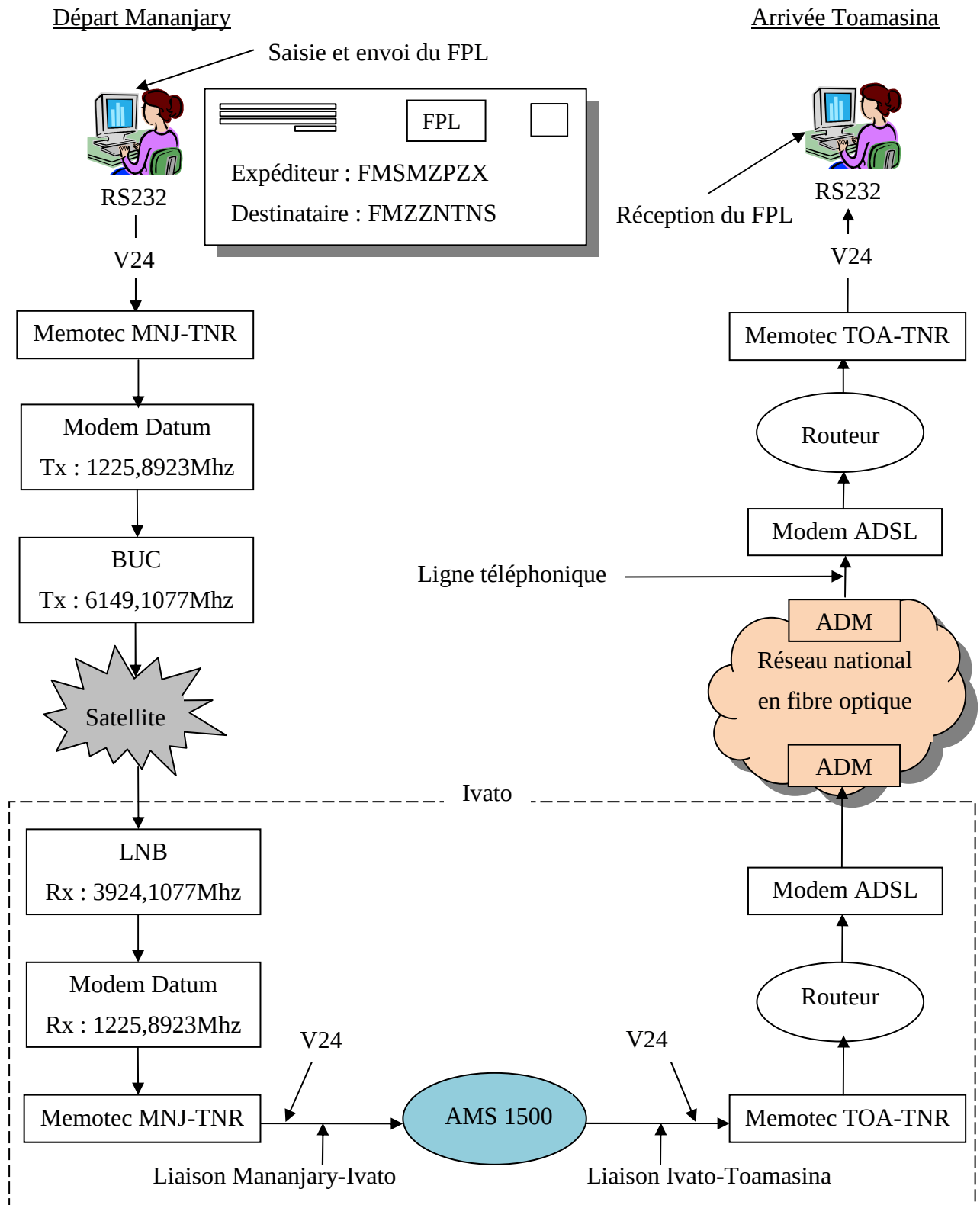


Figure 5.07: Transmission d'un FPL d'un avion reliant Mananjary à Toamasina via faisceau hertzien et fibre optique

Un avion prévoit de quitter le sol à Mananjary pour se poser à l'aéroport de Toamasina. Pour ce faire, un FPL est transmis entre les points destinataires par l'intermédiaire des supports de transmission faisceau hertzien et fibre optique comme le représente la figure 5.07.

Le FPL est saisi depuis le BdP de Mananjary. Les adresses RSFTA respectives des points concernés sont FMSMZPZX et FMZZNTNS. Dès l'instant où les données asynchrones du FPL sont enregistrées et envoyées via le connecteur DB25 du PC, faute de commutateur Megapac, un multiplexeur Memotec MNJ-TNR au voisinage se chargera directement de les encapsuler dans la trame FR et les transférer sur la voie à haute vitesse. Ces données sont immédiatement modulées en QPSK par le modem Datum afin qu'elles aient la capacité d'être transmises sur faisceau hertzien. Une fréquence FI bande L de 1225,8893 Mhz est fournie à la sortie de ce modem. Cette fréquence FI sera ultérieurement amplifiée et convertie par le convertisseur de fréquence BUC pour qu'elle puisse concorder avec la fréquence de travail du satellite bande C 6149,1107 Mhz.

Le BUC réalisera le processus inverse du LNB une fois arrivé à Ivato en transformant la fréquence réceptrice bande C 3924,1107 Mhz en fréquence FI bande L de 1225,8893 Mhz. C'est cette dernière qui sera utilisée par le modem Datum pour démoduler les données binaires du FPL. L'équipement homologue du multiplexeur de Mananjary garantira la liaison Mananjary - Ivato. Il démultiplexera les données asynchrones et le commutateur de messages AMS 1500 connecté à proximité s'occupera de les archiver, les retraiter en cas d'erreur, autrement, les dispatcher vers les PC des points d'Ivato : TWR, CIV, BIA, BdP, MTO. Ce commutateur aiguillera également ces données vers les lignes entrantes du Memotec TOA-TNR. Ce multiplexeur assurera la liaison Ivato - Toamasina. Il encapsulera les données asynchrones dans une trame FR, qui elle-même sera encapsulée dans une trame Ethernet. Les données sont ensuite modulées par le modem ADSL. Étant donné que ces données asynchrones sont sous forme de signaux électriques, elles ne seront pas directement adaptées sur le support de transmission optique. L'ADM Ivato transformera ces signaux électriques en signaux lumineux et insèrera le débit 2,4 Kbps sur l'épine dorsale.

À partir du moment où les données arrivent à destination de l'ADM le plus près de la station à Toamasina, le processus inverse s'effectuera jusqu'à la réception finale des données par les PC des BIA/BdP, TWR, MTO après démultiplexage.

5.7 Devis approximatif du nouveau projet

Pour profiter du backbone national en fibre optique via la technologie ADSL, l'opérateur met à disposition de l'entreprise des liens (des lignes téléphoniques) et des organes d'extrémité d'accès tels que les modems ADSL. L'entreprise quant à elle prend en charge les routeurs afin de transiter les données à travers ces nouveaux supports de communication. Le tableau 5.02 ci-contre indique les frais nécessaires pour le projet dans le cas de Mahajanga – Toamasina, soit un coût total de 2 748 000 Ariary (coût 2011).

Charges	Tarif unitaire en Ariary	Nombre de sites	Total en Ariary
Frais d'installation de l'ADSL	187 000	3	516 000
Achat des routeurs	744 000	3	2 232 000
Total			2 748 000

Tableau 5.02 : Devis estimatif des équipements du nouveau projet (cas Mahajanga – Toamasina)

5.8 Synthèse et avantages du nouveau projet par rapport aux existants

Le principal atout du nouveau projet est le gain financier qu'il apporte par rapport au système VSAT existant. En effet, ne serait-ce que pour la liaison Mahajanga – Toamasina, on constate une différence significative de 2 930 761 466 Ariary, soit 14 653 807 330 Fmg entre le coût des infrastructures existantes et le coût de la nouvelle infrastructure projetée. Quant au fonctionnement, le projet ne requiert que la location de débit (512 Kbps) de la ligne ADSL, qui s'élève annuellement à 6 192 000 Ariary. Ce montant est de loin inférieur à la location des ressources en fréquences du système VSAT. La migration de la technologie satellite vers une technologie optique permet donc de minimiser concrètement les dépenses de l'entreprise aéronautique.

Un autre avantage significatif est constitué par les performances de l'exploitation de la fibre optique. En effet, les problèmes liés au temps de propagation du signal de 320 ms entre deux sites pour les systèmes satellites développés au paragraphe 2.6 sont levés. Les systèmes de télécommunications optiques garantissent un temps de réponse infime de 0 à 250 ms pour le transfert des données aéronautiques entre deux sites. Ainsi, avec ce temps de réponse très

favorable, l'entreprise aura prochainement la possibilité de bénéficier des avantages que suscite la révolution des applications interactives dans un monde de télécommunication aéronautique.

Par ailleurs, l'utilisation de la fibre optique apporte une solution idéale face à l'indisponibilité et la coupure de liaison causées par les perturbations solaires lors de l'équinoxe et du solstice. On peut aussi noter l'avantage qu'offre l'exploitation de la fibre optique à l'égard des existants, à savoir le très haut débit garanti. Le débit satellitaire de 155 Mbps a été poussé jusqu'à 2,5 Gbps pour le backbone en fibre optique à Madagascar.

Ces atouts de la fibre optique par comparaison avec les infrastructures existantes, tant du point de vue financier que du point de vue technique, montrent un résultat bénéfique pour la transmission des données aéronautiques. Son exploitation minimise encore plus les risques courus par les usagers de l'espace aérien.

5.9 Conclusion

Ce chapitre a permis de voir le projet dans ses grandes lignes, d'analyser et de décrire les besoins de l'entreprise pour cette implémentation de données aéronautiques sur l'épine dorsale nationale en fibre optique. Des exemples de transmission de données ont été mis en évidence pour appréhender d'une manière approfondie cette nouvelle infrastructure. Le choix de la migration de la technologie satellite vers une technologie optique a été surtout motivé par le souci d'investir dans des services à très haut débit et moins onéreux. Pour donner une approche pratique du projet, il est essentiel de le reproduire et de le réaliser autant que possible à partir des outils matériels et/ou logiciels.

CHAPITRE 6

SIMULATION DE LA NOUVELLE INFRASTRUCTURE AVEC CISCO PACKET TRACER 5.3

TRACER 5.3

6.1 Préambule

La partie la plus prépondérante permettant de saisir la réalité du nouveau projet est la partie simulation. Elle met en évidence les paramètres étudiés précédemment pour les données RSFTA.

Pour y parvenir, nous allons exploiter le logiciel Cisco Packet Tracer 5.3 qui est la version la plus récente de Cisco Network Academy. Ce logiciel de simulation est développé pour faire des plans d'infrastructure de réseaux locaux en temps réel et voir toutes les possibilités d'un réseau et sa future mise en œuvre. Néanmoins, quelques équipements du nouveau support de transmission des données aéronautiques ne sont pas implémentés dans ce type de logiciel à base de protocole IP. Nous allons donc nous limiter à cette contrainte, c'est-à-dire que ces équipements seront remplacés par ceux implémentés dans le logiciel et les données véhiculées : IP. Il est à noter que ce changement au niveau des équipements n'aura pas trop d'impact sur le réseau.

6.2 Contexte

Soit le contexte de la figure 6.01 suivante :

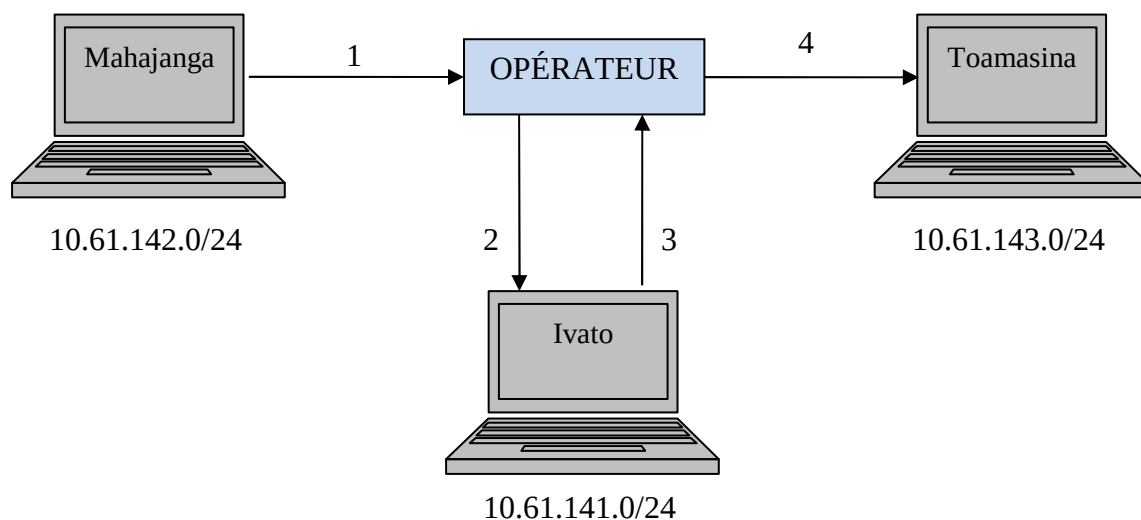


Figure 6.01: *Transfert de données IP de Mahajanga à Toamasina via le site central Ivato*

Les éléments composant le réseau test sont donnés dans le tableau 6.01 ci-après :

Nom du site	Équipements
Opérateur	1 routeur à 3 interfaces, dont les adresses IP sont: 192.168.4.251/24 (Eth1/0), 192.168.5.251/24 (Fa0/0), et 192.168.6.251/24 (Eth1/1)
Ivato	- 1 PC pour le CIV, d'adresse IP 10.61.141. 1/24 - 1 PC pour la TWR, d'adresse IP 10.61.141. 2/24 - 1 switch - 1 routeur à 2 interfaces pour l'encapsulation des données dans la trame FR, dont les adresses IP sont : 10.61.141.250 (Fa0/0) et 192.168.1.250 (Se0/1/0) - 1 routeur à 2 interfaces pour l'encapsulation de la trame FR dans la trame Ethernet, dont les adresses IP sont : 192.168.1.251 (Se0/1/0) et 192.168.4.250 (Fa0/0)
Mahajanga	- 1 PC pour le BIA/BdP, d'adresse IP 10.61.142. 1/24 - 1 PC pour la TWR, d'adresse IP 10.61.142. 2/24 - 1 switch - 1 routeur à 2 interfaces pour l'encapsulation des données dans la trame FR, dont les adresses IP sont : 10.61.142.250 (Fa0/0) et 192.168.2.250 (Se0/1/0) - 1 routeur à 2 interfaces pour l'encapsulation de la trame FR dans la trame Ethernet, dont les adresses IP sont : 192.168.2.251 (Se0/1/0) et 192.168.5.250 (Fa0/0)
Toamasina	- 1 PC pour le BIA/BdP, d'adresse IP 10.61.143. 1/24 - 1 PC pour la TWR, d'adresse IP 10.61.143. 2/24 - 1 switch - 1 routeur à 2 interfaces pour l'encapsulation des données dans la trame FR, dont les adresses IP sont : 10.61.143.250 (Fa0/0) et 192.168.3.250 (Se0/1/0) - 1 routeur à 2 interfaces pour l'encapsulation de la trame FR dans la trame Ethernet, dont les adresses IP sont : 192.168.3.251 (Se0/1/0) et 192.168.6.250 (Fa0/0)

Tableau 6.01 : Les éléments du réseau

C'est le routeur du site de l'entreprise qui effectuera l'encapsulation des données IP dans la trame FR faute de multiplexeur au niveau du logiciel. De même, le logiciel dispose d'un modem ADSL et d'un backbone en fibre optique mais nous ne disposons pas de l'ADM. Le routeur d'extrémité qui se chargera d'encapsuler la trame FR dans la trame Ethernet sera donc directement connecté au routeur de l'opérateur via des câbles croisés.

6.3 Étapes de la simulation

6.3.1 Étape 1 : Lancement de Cisco Packet Tracer 5.3 et disposition des équipements dans chaque site

Au lancement de Cisco Packet Tracer 5.3, on a la fenêtre de la figure 6.02 suivante :

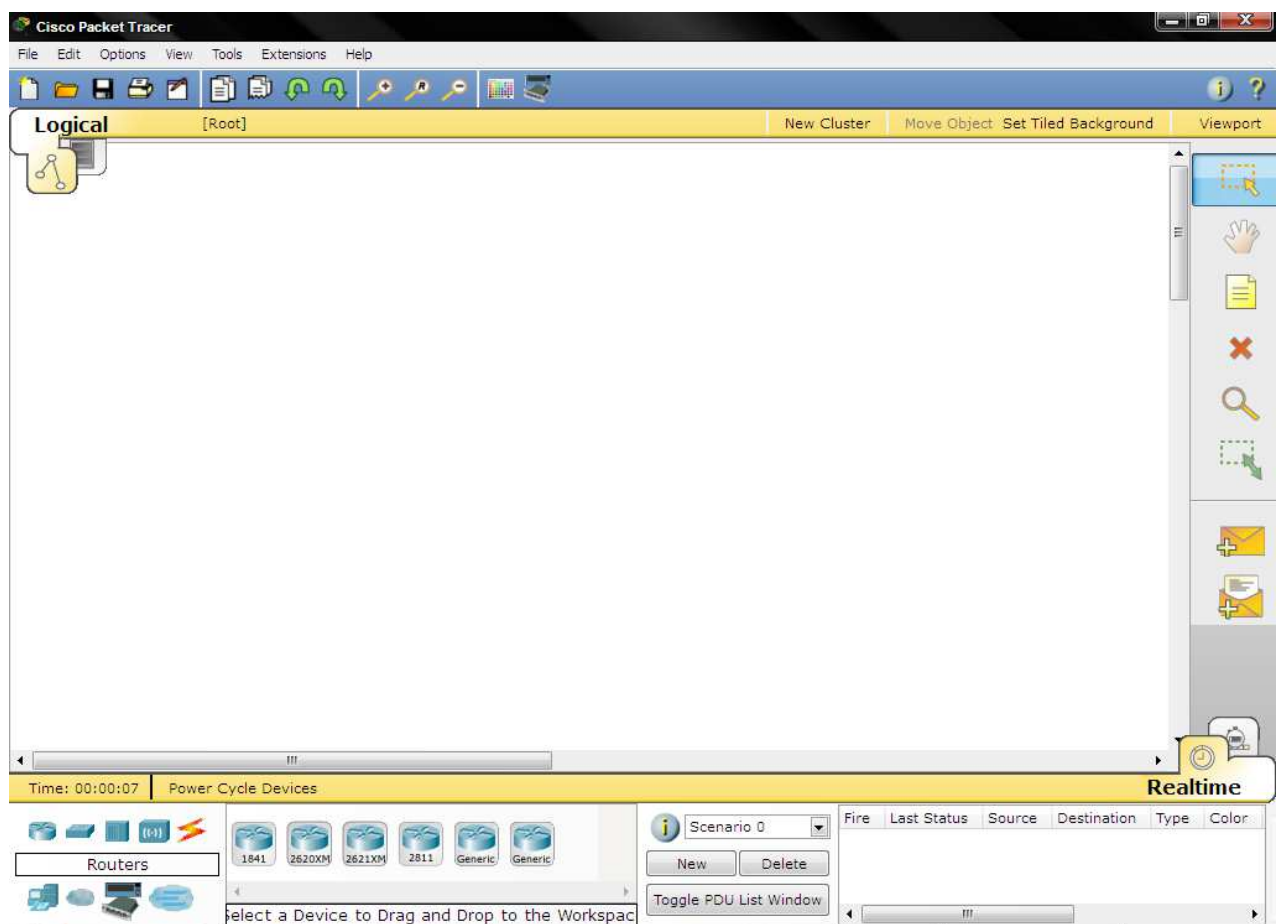


Figure 6.02: Fenêtre d'accueil de Cisco Packet Tracer 5.3

Notons que le but de ce présent travail n'étant pas de présenter le logiciel, nous allons donc immédiatement entamer le vif du sujet.



À l'aide de l'icône , nous allons placer des notes indiquant le nom et l'emplacement de chaque site : MAHAJANGA, OPÉRATEUR, IVATO ANTANANARIVO, TOAMASINA.

Chaque site disposera de ses propres équipements, pour les faire apparaître dans la zone de travail, il suffit de cliquer sur leurs icônes respectifs. Le tableau 6.02 ci-contre indique ces icônes.

PC	Switch	Routeur à 2 interfaces	Routeur à 3 interfaces
 PC-PT PC0	 2960-24TT Switch0	 1841 Router0	 2620XM Router0

Tableau 6.02 : Équipements contribuant à la simulation

On peut renommer ces équipements en cliquant sur leur nom défini par défaut. Notre fenêtre ressemblera ensuite à la figure 6.03.

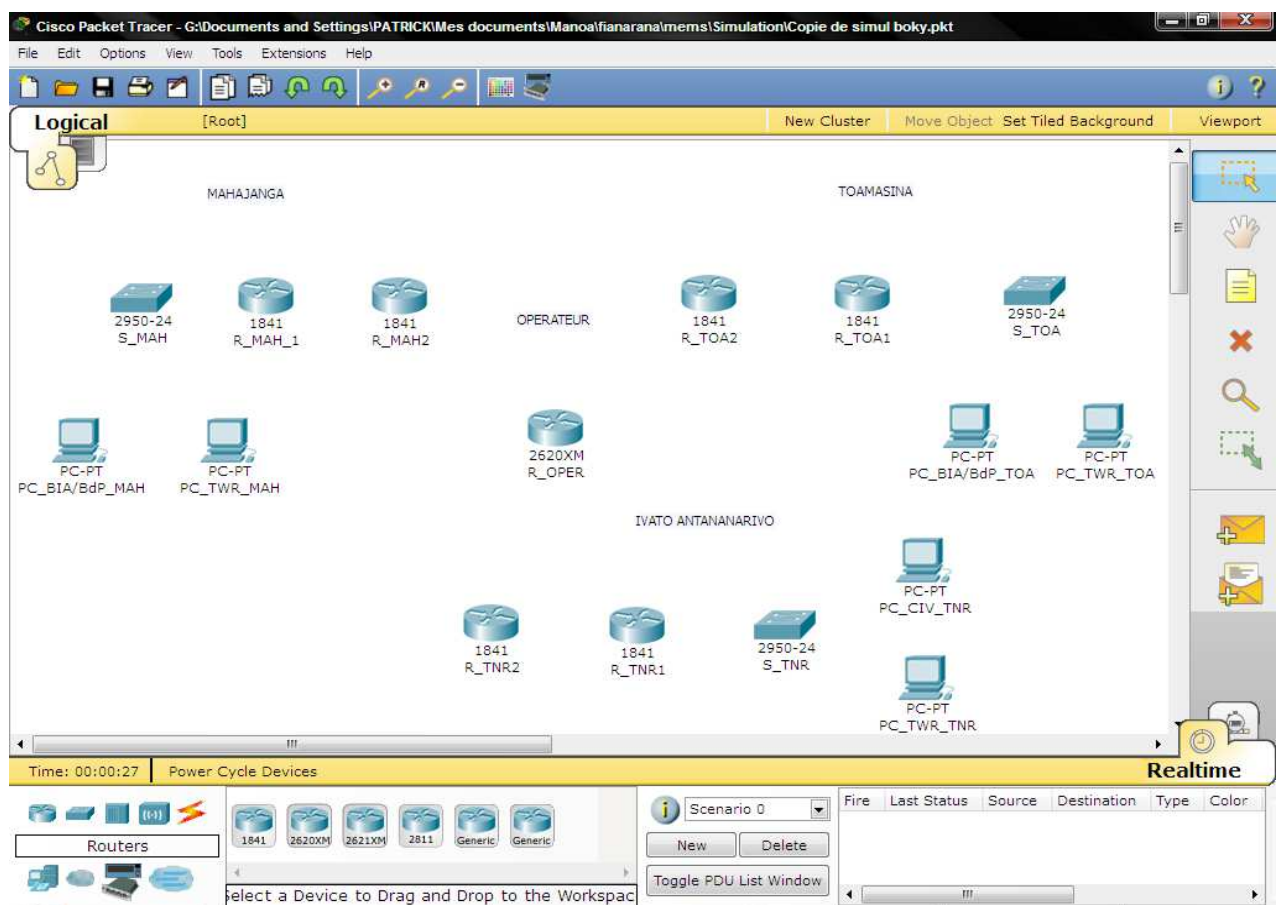
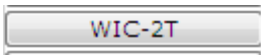


Figure 6.03: Disposition des équipements dans chaque site

6.3.2 Étape 2 : Câblage et raccordement des équipements

En cliquant sur  , on peut trouver toute une série de câbles. Un câble droit ou *Copper Straight-Through* connecte les équipements de différentes couches du modèle OSI (PC-switch, switch-routeur). Le câble croisé ou *Copper Cross-Over* quant à lui connecte des équipements de même couche du modèle OSI (routeur-routeur).

Pour permettre l'encapsulation des données dans la trame FR, un câble *Serial DCE* raccorde les deux routeurs de chaque site de l'entreprise. En effet, les branchements en série utilisés souvent pour les interconnexions de réseau tel que FR, doivent être connectés entre les ports séries des terminaux. Cependant, avant le câblage, il faut d'abord insérer le module de ports séries asynchrone/synchrone du réseau pour chaque routeur. Pour ce faire, on clique sur l'icône du routeur et on accède à l'onglet *Physical* de la fenêtre de configuration. Le routeur doit être éteint avant cette configuration. Pour ajouter le port série asynchrone/synchrone du réseau, il faut déplacer le module  sur le slot  du routeur. Le routeur peut maintenant être rallumé et on a la figure 6.04 ci-après.

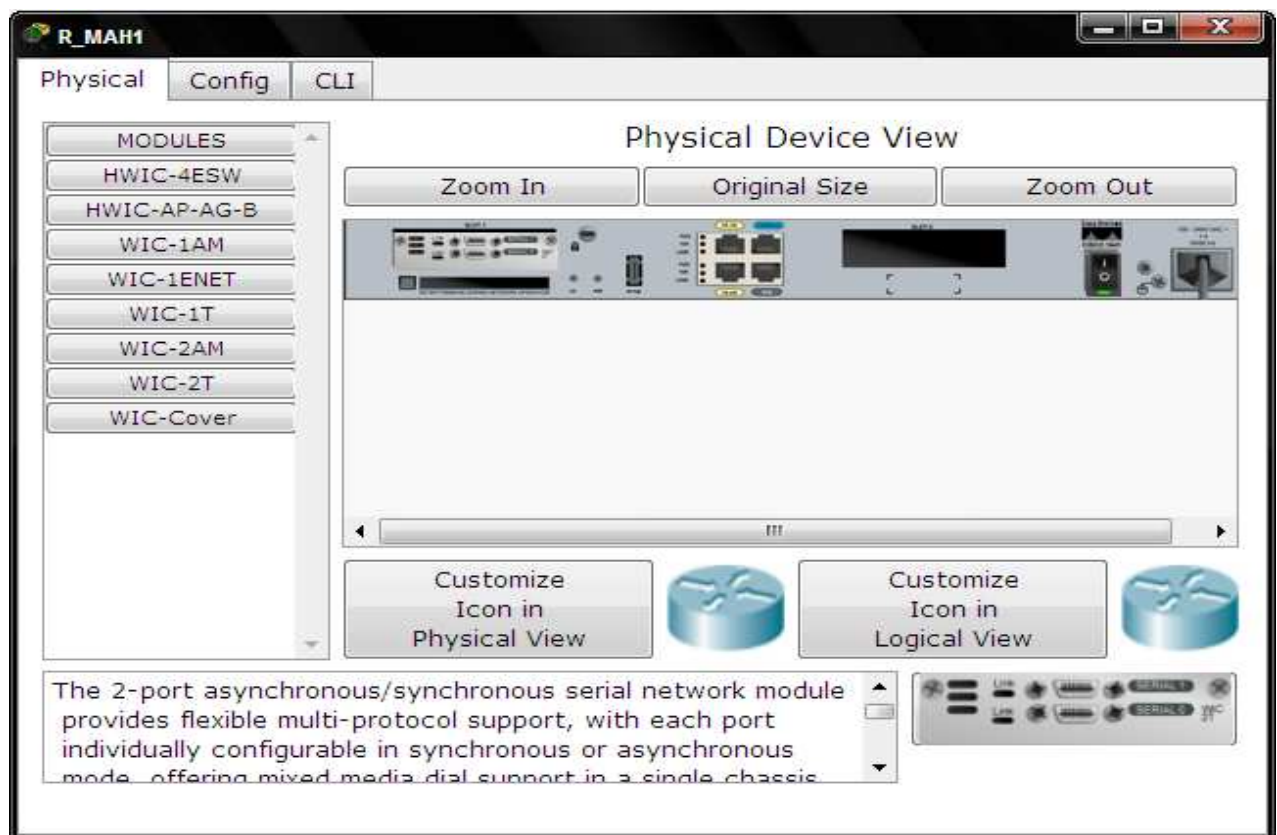
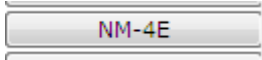


Figure 6.04: Insertion du module port série asynchrone/synchrone du routeur de l'entreprise

Le même mécanisme s'applique pour chacun des routeurs d'Ivato et de Toamasina.

Aussi, pour l'encapsulation de la trame FR sur la trame Ethernet de la pile IP, les routeurs d'extrémité de l'entreprise seront connectés avec le routeur de l'opérateur via des câbles croisés.

Un module de 3 ports réseau Ethernet  est donc inséré dans le slot  du routeur de l'opérateur *R_OPER*, et on a la figure 6.05 ci-contre :

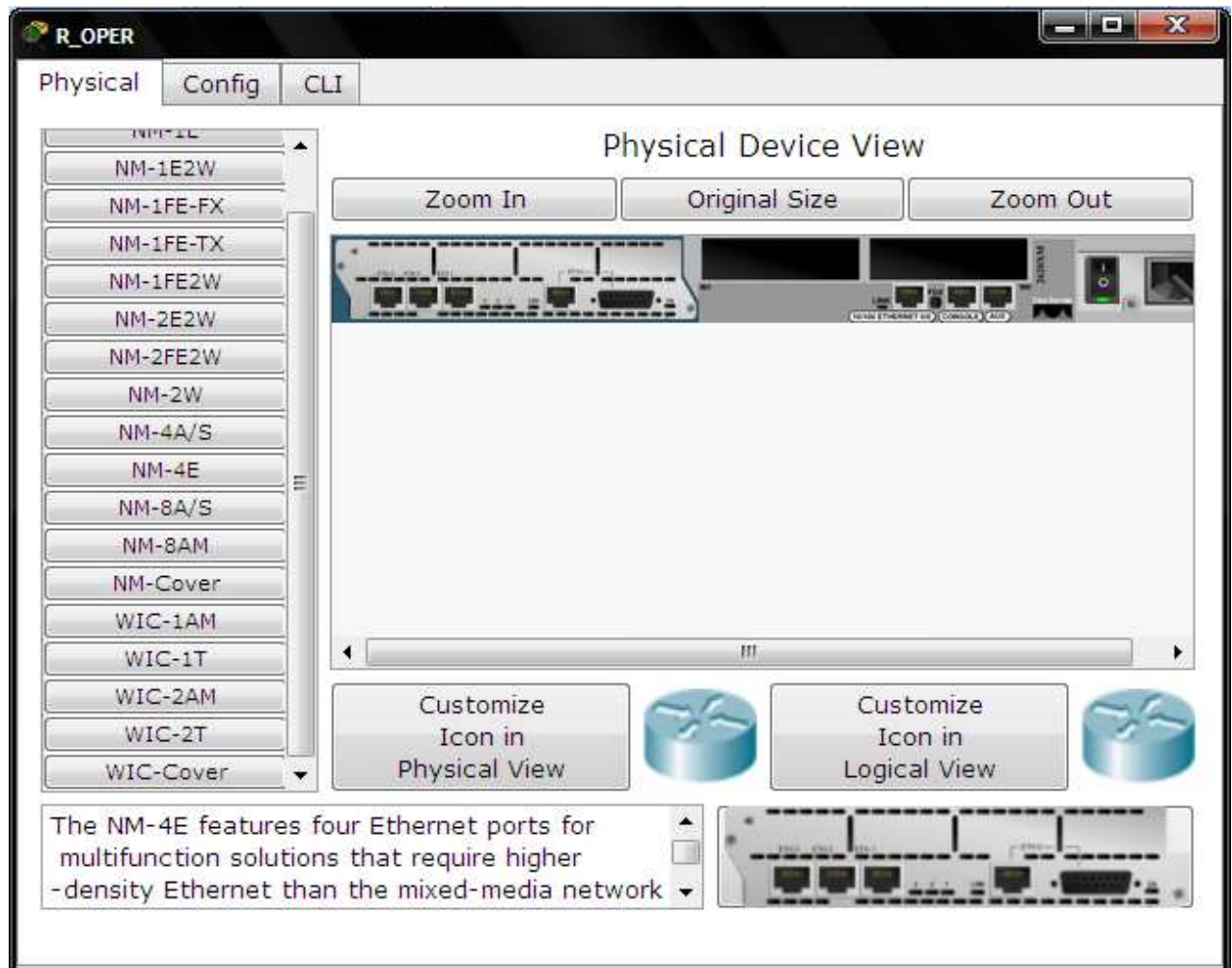


Figure 6.05: Insertion du module de 3 ports réseau Ethernet

Après raccordement des équipements du réseau, on a maintenant la fenêtre de la figure 6.06.

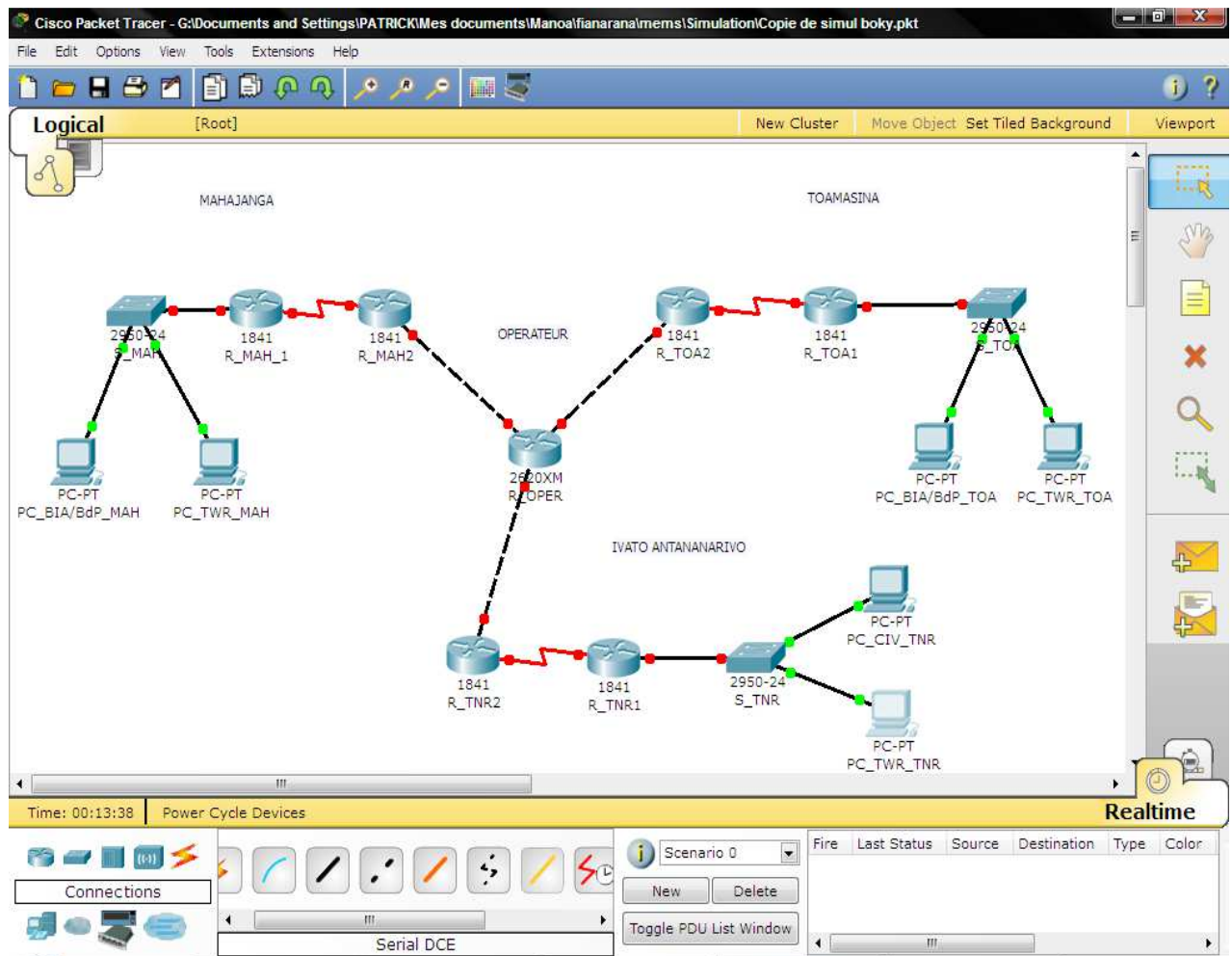


Figure 6.06: *Raccordement des équipements*

6.3.3 Étape 3 : Configuration IP des équipements

Pour faciliter l'attribution des adresses IP, nous allons placer des notes à l'aide de l'icône indiquant la plage d'adresse pour chaque site, telle la fenêtre de la figure 6.07.



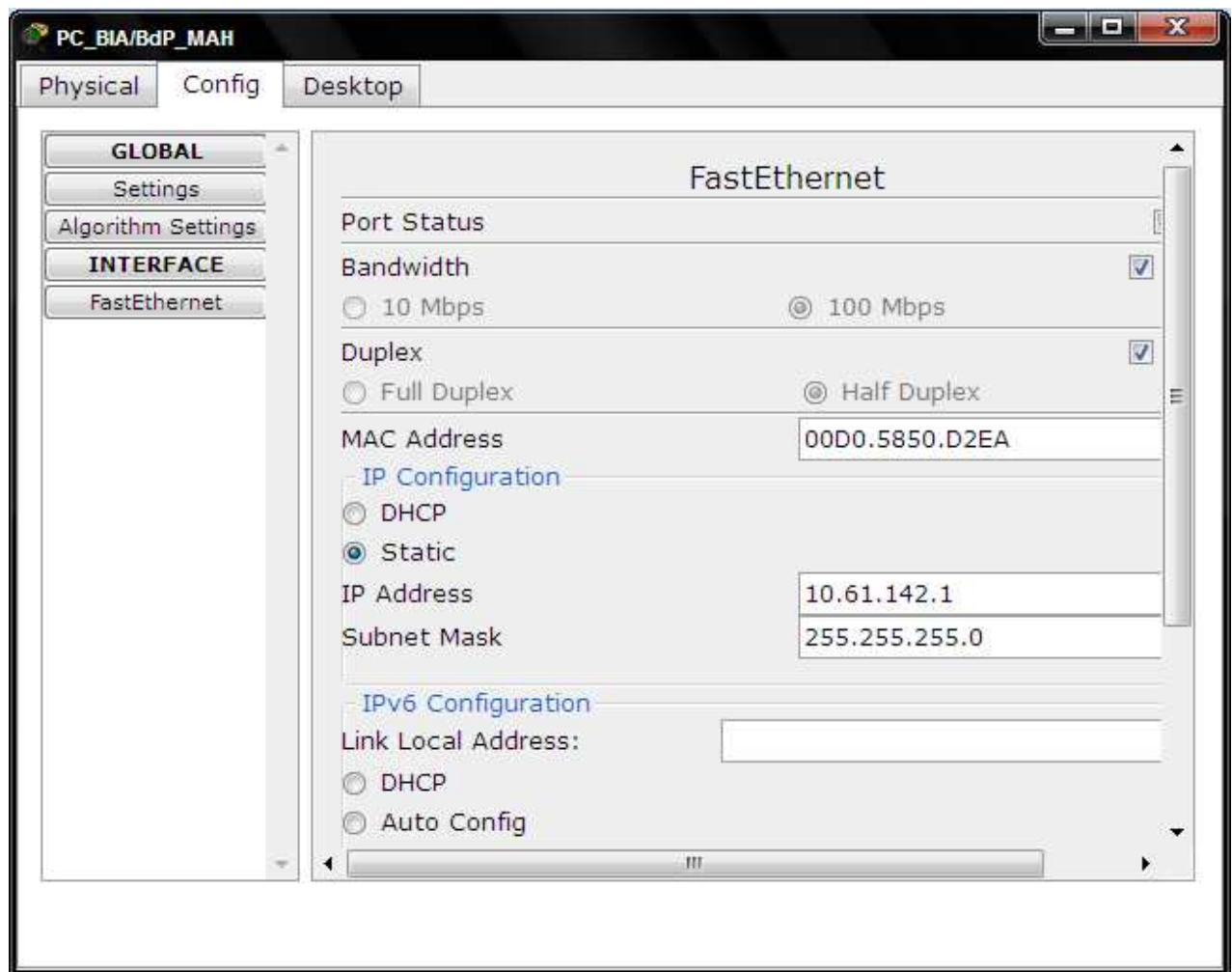


Figure 6.08: Attribution d'adresse IP et de masque pour le PC du BIA/BdP de Mahajanga

Et ainsi de suite pour tous les PC avec leurs paramètres correspondants cités précédemment dans le tableau 6.01.

Dans le cas du routeur, l'attribution des adresses IP se fait à partir de l'onglet CLI (Command Line Interface) de sa fenêtre de configuration. Les paramètres, tel un routeur réel, peuvent être définis via des commandes. Pour configurer ses adresses IP, on a recours aux commandes :

- *enable* : active certaines commandes du routeur,
- *config t* : configure certains paramètres du routeur,
- *hostname* : renomme le routeur,
- *int* : configure l'interface du routeur (pointer la souris sur le point rouge sur le câble raccordant le routeur concerné pour connaître l'interface à configurer),
- *ip add* : attribue l'adresse IP à l'interface,

- *clock rate* : cadence le rythme de l'horloge dans le cas d'un branchement série,
- *no shut* : allume le routeur,
- *ctrl+z* : termine de la configuration

On a alors, sur la figure 6.09, la fenêtre de configuration IP des interfaces *Fa0/0* et *Se0/1/0* du routeur *R_MAH1* de Mahajanga.

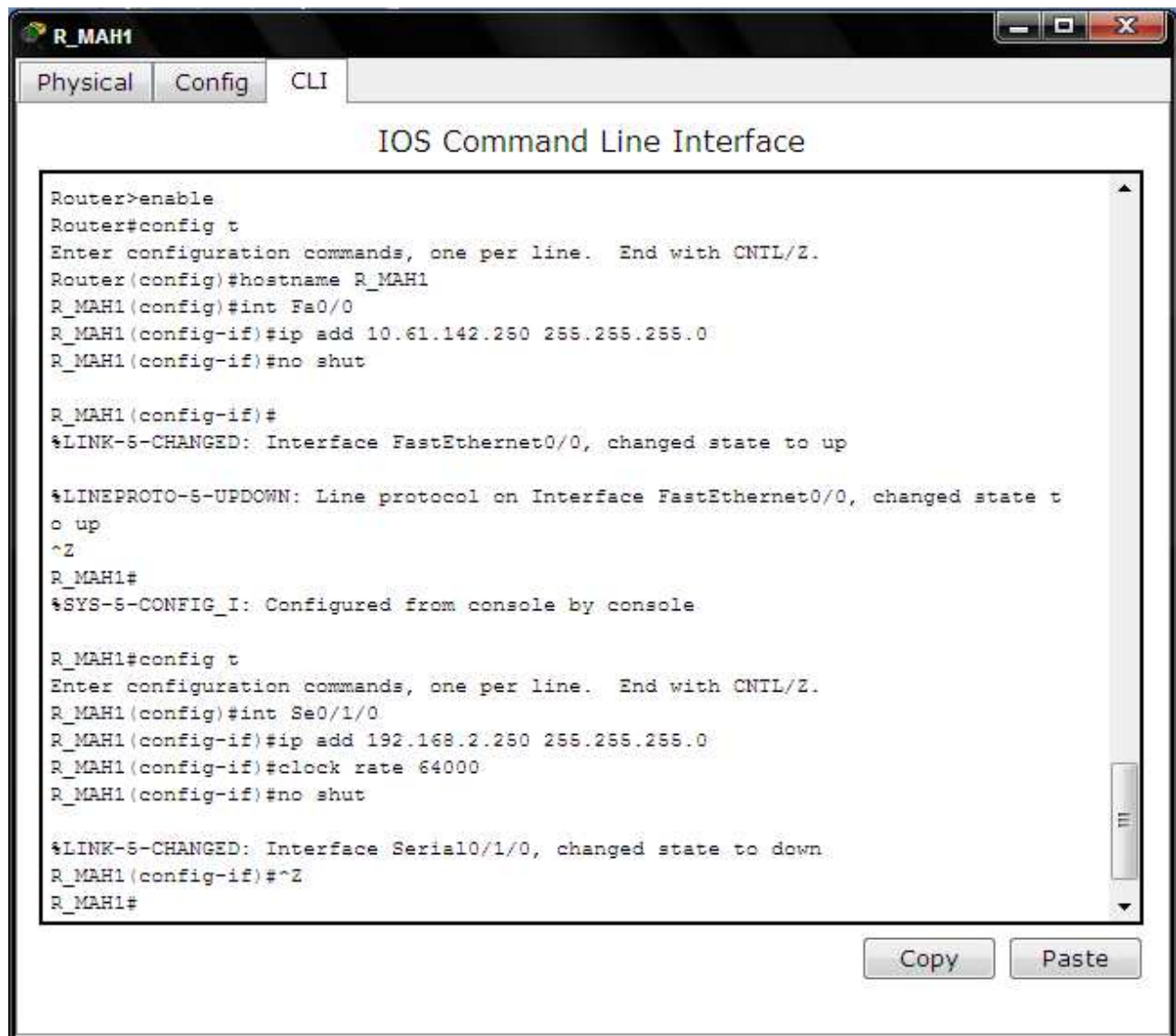


Figure 6.09: Attribution des adresses IP et de masque des interfaces *Fa0/0* et *Se0/1/0* du routeur

À l'instar du routeur *R_MAH1*, tous les routeurs qui disposent de ports Ethernet et de port série sont configurés de la même manière en se référant aux adresses IP des interfaces indiquées dans le tableau 6.01.

Notons que la passerelle ou le gateway des PC de chaque site correspond à l'adresse IP de l'interface du routeur voisin. Dans l'onglet *Desktop* de la fenêtre de configuration de chaque PC, on clique sur *IP Configuration* et on attribue la passerelle. La figure 6.10 qui suit illustre ce mode d'attribution pour le *PC_BIA/BdP_MAH*.

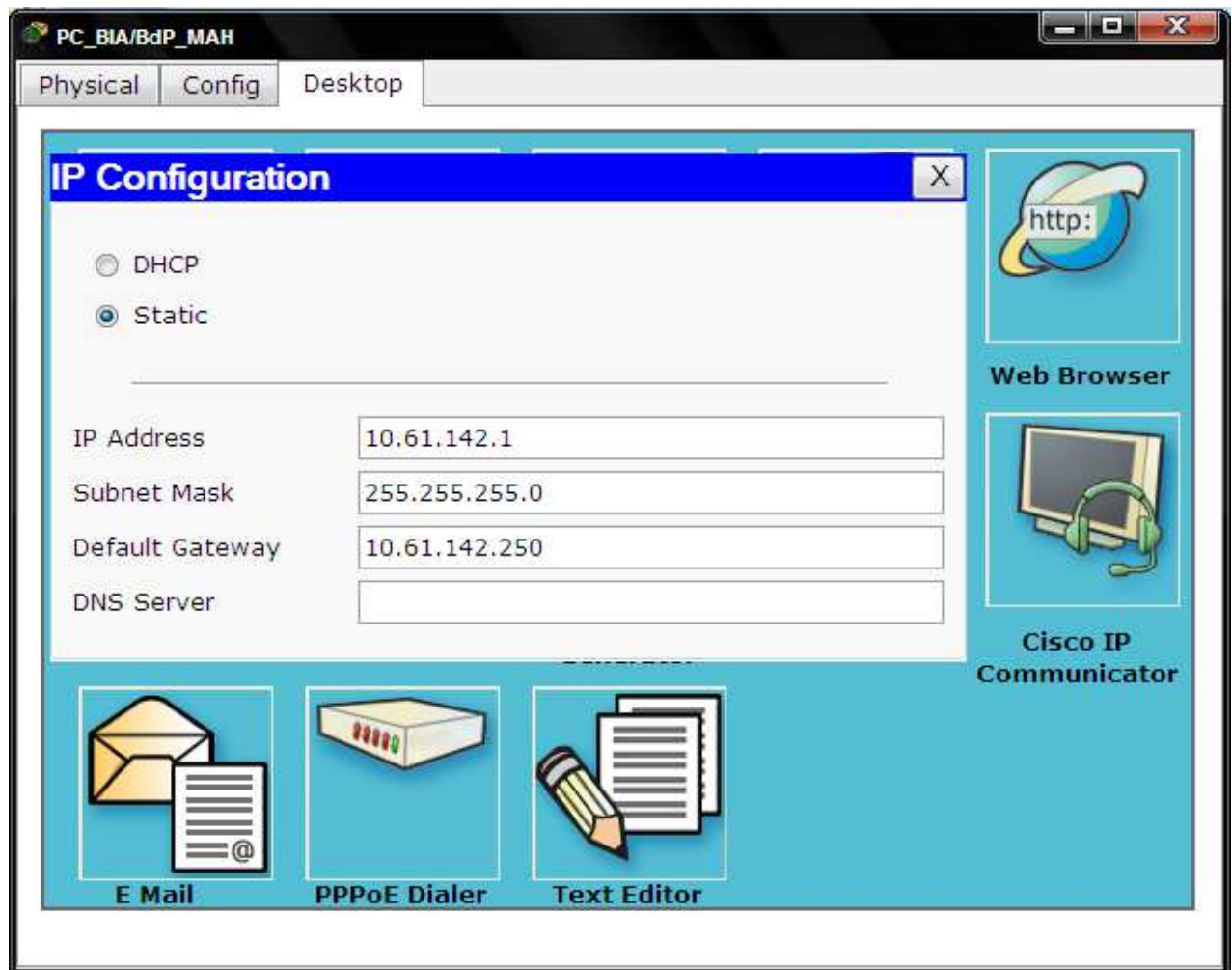


Figure 6.10: Attribution de passerelle pour le *PC_BIA/BdP_MAH*

Après attributions des adresses, les points en rouge sur le câble virent au vert, indiquant que ces attributions ont été un succès. La figure 6.11 représente la zone de travail après configuration des adresses.

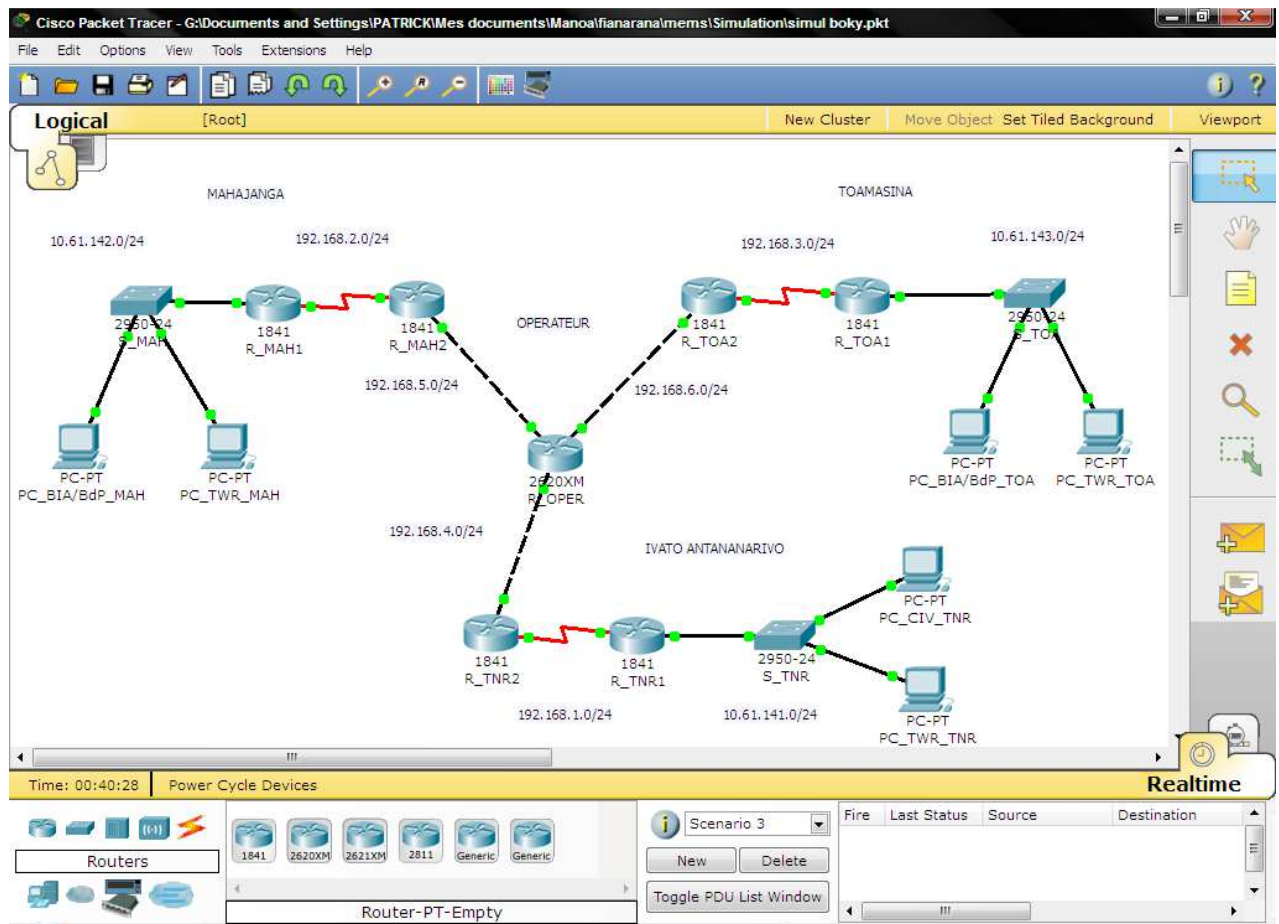


Figure 6.11: Configuration IP des équipements

6.3.4 Étape 4 : Configuration des tables de routage

La table de routage définit les règles d'acheminement des paquets de données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires dans le réseau. La table de routage comporte les adresses des réseaux de destination, le masque et les adresses des passerelles (routeurs intermédiaires) permettant de les atteindre. Pour notre part, nous allons utiliser le routage statique. En effet, le routage dynamique gaspille de la bande passante car le routeur diffuse périodiquement des informations de routage sur le réseau. Dans le cas du routage statique ou fixe, on introduit les tables de routages sur l'interface de commande CLI du routeur via la commande `ip route`. On a l'affichage sur écran des lignes de commandes de la figure 6.12 suivante pour acheminer un paquet du routeur `R_MAH2` vers le routeur `R_TNR2`.

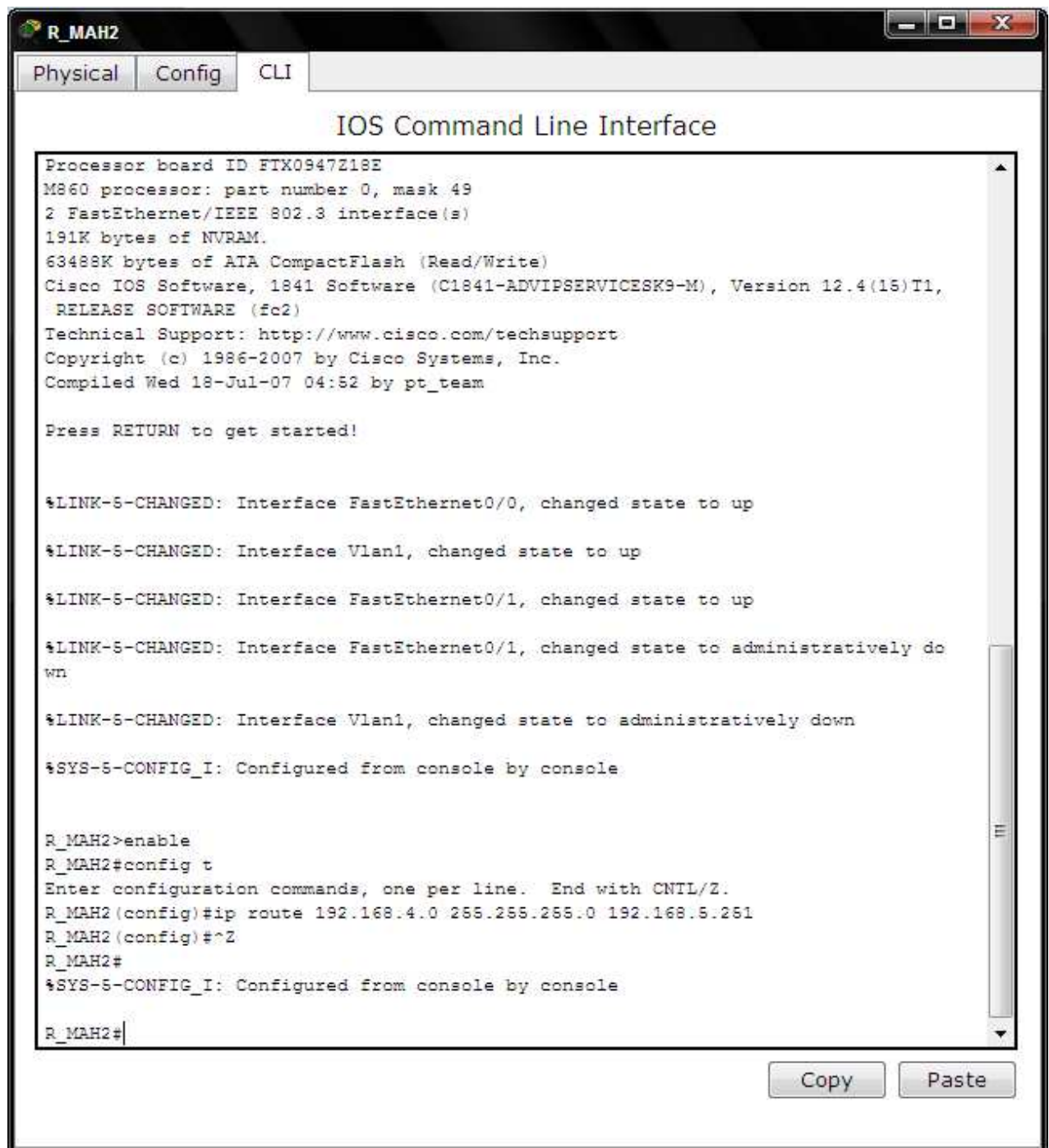


Figure 6.12: Configuration de la table de routage de R_MAH2 pour accéder au routeur

Pour que ces deux routeurs puissent communiquer, il faut aussi paramétrer la table de routage du routeur R_TNR2 comme indiquée sur la figure 6.13.

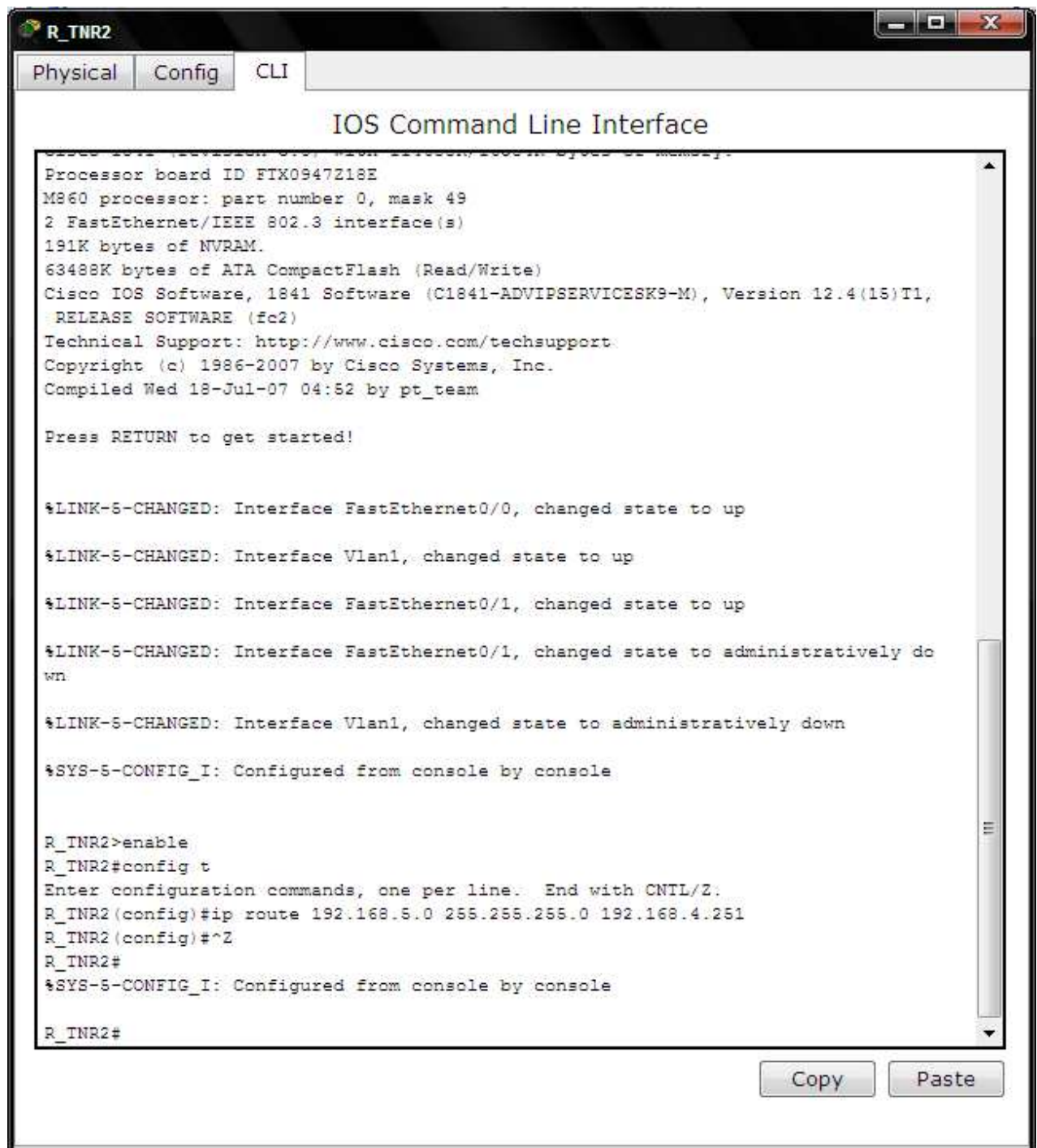


Figure 6.13: Configuration de la table de routage de R_TNR2 pour accéder au routeur

Pour afficher la table de routage, on a recours à la commande *show ip route*. La figure 6.14 représente cette table pour TNR2.

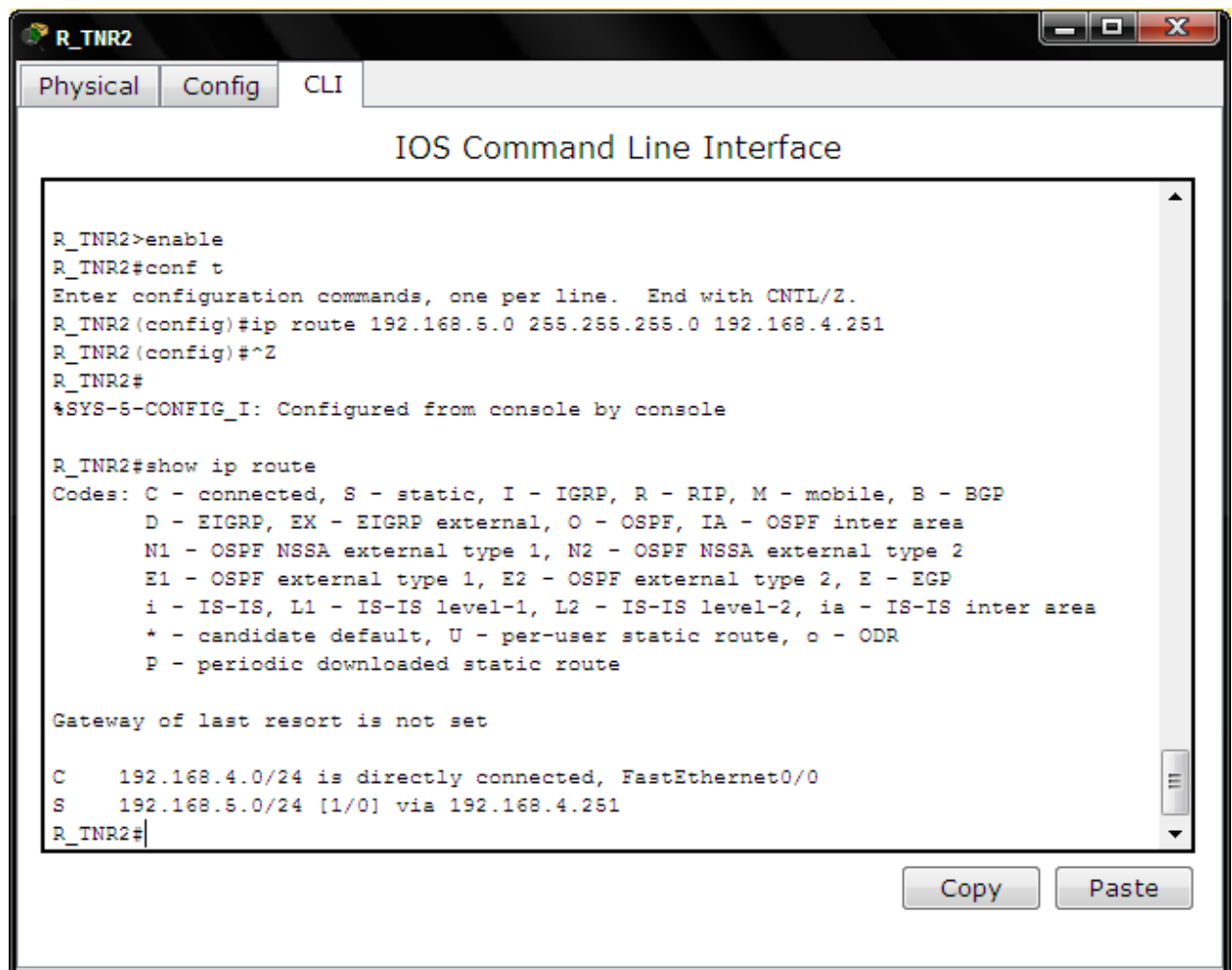


Figure 6.14: Table de routage de TNR_2

Le même processus est réalisé pour la mise en réseau de tous les routeurs et de tous les PC. Rappelons que toutes les données doivent passer par le site central de données d'Ivato. Il n'existe pas de liaison directe Mahajanga – Toamasina ou vice-versa.

6.3.5 Étape 5 : Envoi de messages depuis Mahajanga jusqu'à Toamasina

Après établissement des tables de routage et des passerelles, les équipements peuvent maintenant se communiquer. Étant donné que toutes les communications doivent passer à Ivato avant d'arriver à Toamasina, avec la commande *ping*, nous allons maintenant transmettre des messages à *PC_CIV_TNR* depuis le *PC_BIA/BdP_MAH*. Et afin de connaître les sauts (hops) que les messages ont effectués depuis le *PC_BIA/BdP_MAH* jusqu'au *PC_CIV_TNR*, nous allons nous servir de la commande *tracert*. Cette transmission de messages est effectuée dans *Command*

Prompt de l'onglet *Desktop* de la fenêtre de configuration du *PC_BIA/BdP_MAH*. La figure 6.15 ci-après illustre cette transmission de messages.

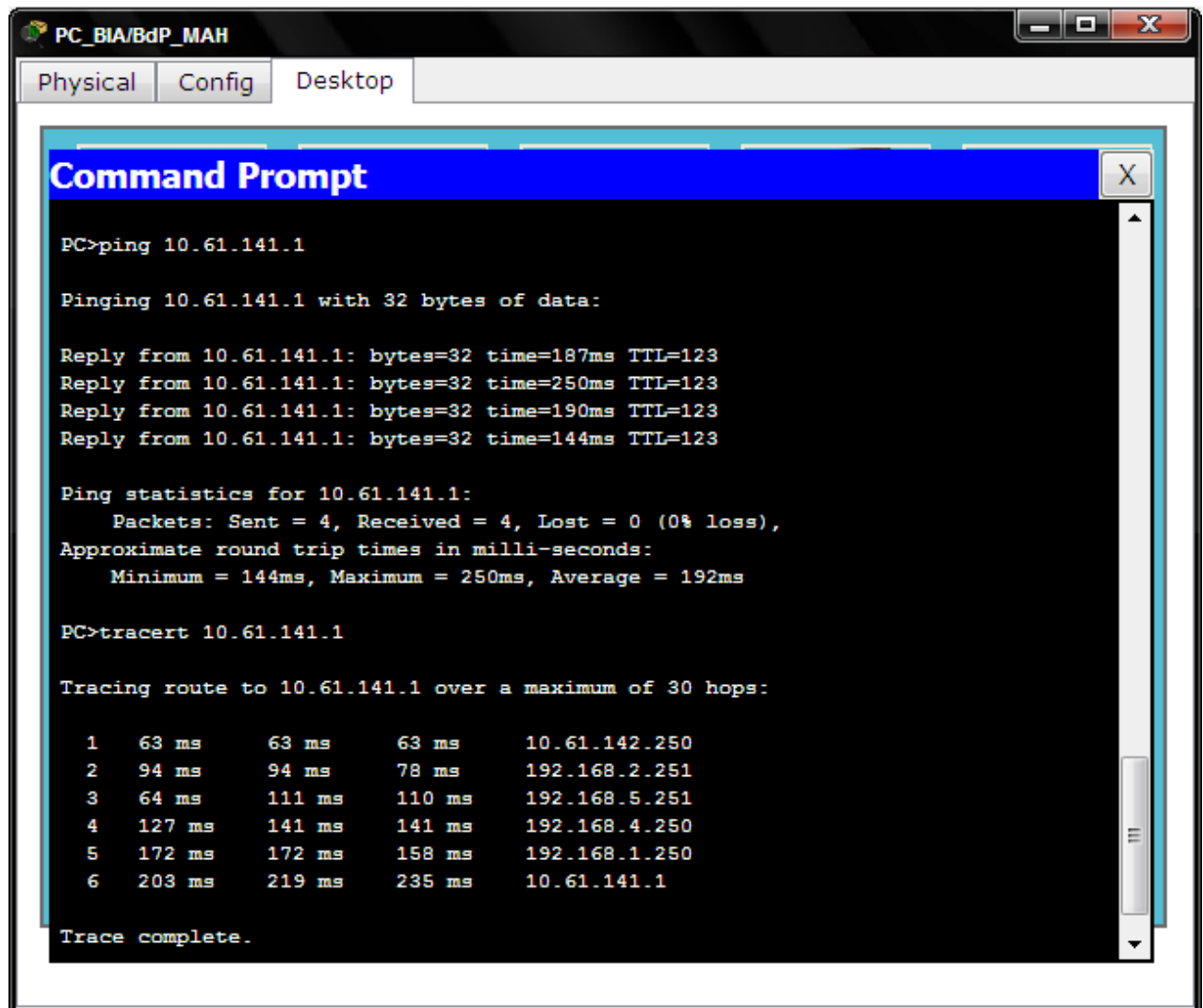


Figure 6.15: *Envoi et sauts de messages depuis PC_BIA/BdP_MAH vers PC_CIV_TNR*

Compte tenu du fait que le commutateur de messages aéroportuaires n'est pas implémenté dans le logiciel, nous allons commuter manuellement les messages. Pour ce faire, nous allons transmettre de nouveau les messages depuis le *PC_CIV_TNR* vers le *PC_BIA/BdP_TOA* avec les mêmes commandes. La figure 6.16 représente cette opération.

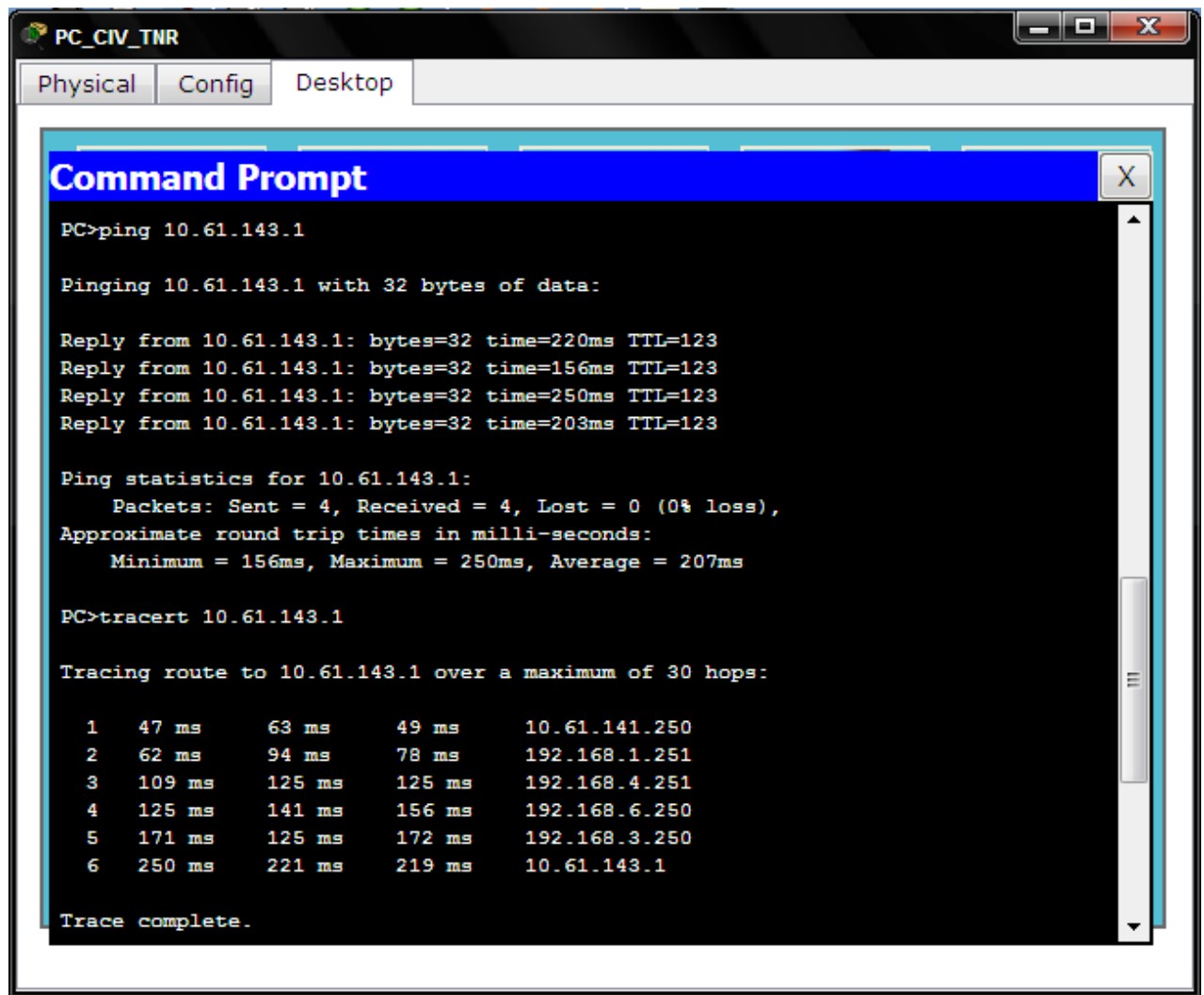


Figure 6.16: Envoi et sauts de messages depuis PC_CIV_TNR vers PC_BIA/BdP_TOA

Le temps de parcours moyen d'un message partant de Mahajanga pour aller à Toamasina est donc environ 399 ms, temps qui est conforme aux exigences de l'OACI et qui est largement inférieur au temps de propagation de 640 ms des VSAT. Le backbone en fibre optique peut encore faire valoir ses avantages car ce résultat est nettement meilleur dans la réalité.

6.4 Conclusion

Grâce à l'outil Cisco Packet Tracer 5.3, nous avons pu voir une approche pratique de la mise en œuvre de la future infrastructure du support de transmission des données RSFTA. On a eu l'occasion de prouver une meilleure qualité de service de cette nouvelle infrastructure, notamment en matière de temps de réponse qui est conforme aux exigences de l'OACI.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Avec l'innovation technologique actuelle, l'entreprise aéronautique vise à améliorer considérablement son efficacité. Les problèmes liés à ses infrastructures VSAT, supports de transmission de données aéronautiques, méritent des solutions nouvelles. De plus, l'échange de données aéronautiques requiert divers enjeux, notamment en matière de débit et de temps de réponse. Une autre contrainte qui est loin d'être dérisoire est l'énorme investissement qu'imposent ces infrastructures satellitaires. La mise en place de projet ambitieux tel que l'implémentation des données RSFTA sur fibre optique apparaît donc comme une étape intéressante dans le processus de développement de l'entreprise. C'est une solution qui séduit dans sa plus grande maturité technologique.

L'étude du projet nécessite au premier abord la familiarité avec les différents types de données aéronautiques véhiculées entre les points au sol du réseau RSFTA de l'entreprise. Le réseau de transport FR assure l'acheminement de ces données tout en suivant des protocoles adéquats. Pour transiter réellement les données, ce réseau s'appuie généralement sur la technologie satellite. Toutefois, il se trouve que la technologie satellite n'est pas toujours exempte de toutes failles, surtout dans le domaine financier, météorologique et de performance (les applications temps réel).

Ainsi, une approche théorique de la fibre optique a été développée dans cet ouvrage. Son objectif est de pallier les problèmes que présentent les supports de communication satellite. Ce support de la télécommunication optique supporte inéluctablement les va-et-vient incessants de données et les services interactifs à très haut débit, tout en offrant des temps réponse très favorables.

Pour attester formellement ces dires, il a fallu étudier un cas réel d'entreprise aéronautique existant à Madagascar. À l'heure actuelle, elle exploite encore la technologie VSAT. Cependant, comme toute entreprise, elle s'est montrée avide d'évolution progressive pour mieux satisfaire les usagers de l'espace aérien. Ainsi, avant de mettre sur pied ce nouveau changement architectural d'équipements de transmission de données, des analyses ont été réalisées. Ces analyses nous ont donné la possibilité d'élaborer les besoins et les fonctionnalités attendues par l'entreprise, compte tenu de la desserte optique du backbone de l'opérateur. L'exploitation de ce nouveau support de transmission allie simplicité et fiabilité grâce à la technologie ADSL. Le principal atout est le coût du déploiement qui se révèle à la portée de tous. Définitivement, la technologie optique va inévitablement substituer la technologie satellite. Les enjeux sont considérables puisque l'ensemble des entreprises aura adopté cette technologie dans les années à venir.

ANNEXE 1

PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE

A1.1 Fiche signalétique de l'entreprise aéronautique à Madagascar

Nom : ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar)

Adresse : BP 46 Ivato Aéroport

Téléphone : (261)20 22 581 13 - (261)20 22 581 14

Fax : (261)20 22 581 15

Adresse e-mail : MADAGASCARSec@asecna.org

Adresse Internet : www.asecna.aero



Figure A1.01 : ASECNA Ivato

A1.2 Historique

Le 12 Décembre 1959 à Saint-Louis du Sénégal, les Chefs d'État et de Gouvernement des États autonomes issus des ex-fédérations de l'AEF (Afrique Equatoriale Française), de l'AOF (Afrique Occidentale Française) et de Madagascar signent la convention qui va donner naissance à l'ASECNA, ayant son siège à Dakar. [40]

Le motif de la création de cette entreprise était d'éviter de morceler l'espace aérien à l'heure où les avions commençaient à aller de plus en plus vite, de plus en plus haut et de plus en plus loin. Dans le cadre d'une activité coûteuse, celle qui consiste à assurer la sécurité de la navigation aérienne, il s'agit également d'unir les moyens financiers, les capacités matérielles et humaines afin de

parvenir au meilleur coût ; enfin pour les jeunes États, de réaliser ensemble quelque chose de grand, d'œuvrer en commun au même but. Bref, l'idée est de placer sous le signe de l'efficacité, de la solidarité africaine et de la coopération. [40]

A1.3 États membres

Actuellement, l'ASECNA rassemble 18 États membres dont :

- 15 États d'Afrique de l'Ouest et du Centre : Bénin, Congo, Tchad, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Togo, Cameroun, Gabon, Mauritanie, Centrafrique, Guinée Bissau, Niger, Guinée Equatoriale, et Sénégal,
- Madagascar,
- Les îles Comores,
- La France [40]

ANNEXE 2

ADMINISTRATION DE L'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE

A2.1 Structures statutaires de l'entreprise aéronautique

Les membres de l'entreprise sont :

- Le Comité des Ministres de tutelle qui définit la politique générale de l'agence,
- Le Conseil d'Administration qui prend les mesures nécessaires au fonctionnement de l'ASECNA,
- Le Directeur Général, assisté de six Directeurs, qui assure la gestion de l'agence en exécution des décisions prises par les deux instances statutaires précitées,
- L'Agent Comptable qui tient la comptabilité générale et la comptabilité analytique d'exploitation,
- Le Contrôleur Financier qui contrôle la gestion de l'établissement et surveiller toutes les opérations susceptibles d'avoir directement ou indirectement une répercussion économique et financière,
- La Commission de Vérification des Comptes qui établit, pour le Conseil d'Administration et pour chaque Ministre de tutelle, un rapport sur la régularité de la gestion comptable de l'agence. [40]

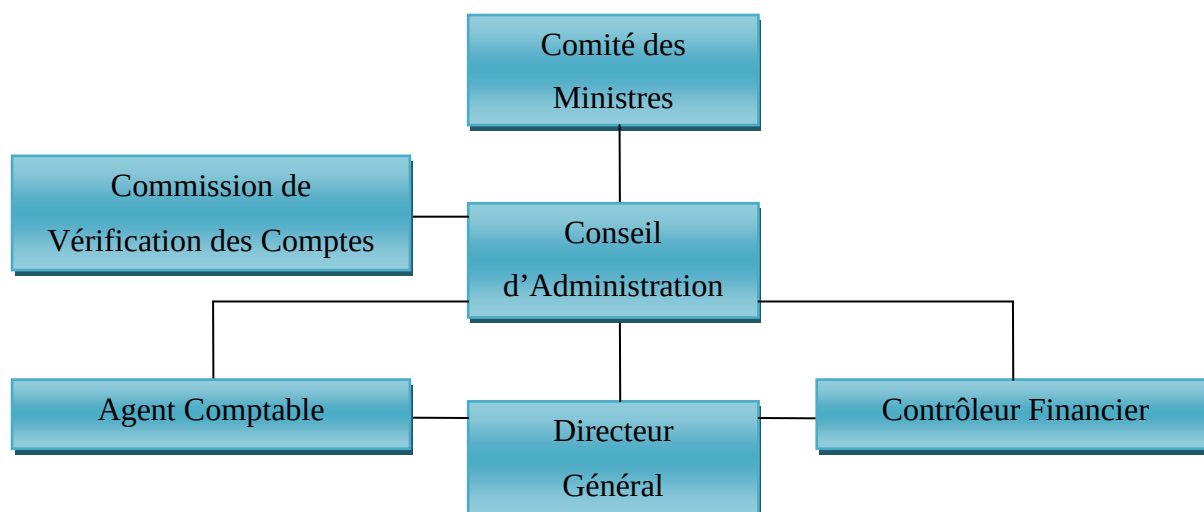


Figure A2.01 : Organigramme de l'administration générale de l'ASECNA [40]

A2.2 Représentation

Dans chaque État membre, les missions de l'agence sont assurées par une Représentation ayant à sa tête un Représentant nommé par le Directeur Général en accord avec le Ministre de tutelle concerné ; cet agent est responsable des activités de l'agence dans son État d'affectation. Toutes les Représentations sont organisées selon un schéma identique et une Représentation emploie 300 personnes en moyenne, un chiffre variant notamment selon l'importance de l'activité aérienne.

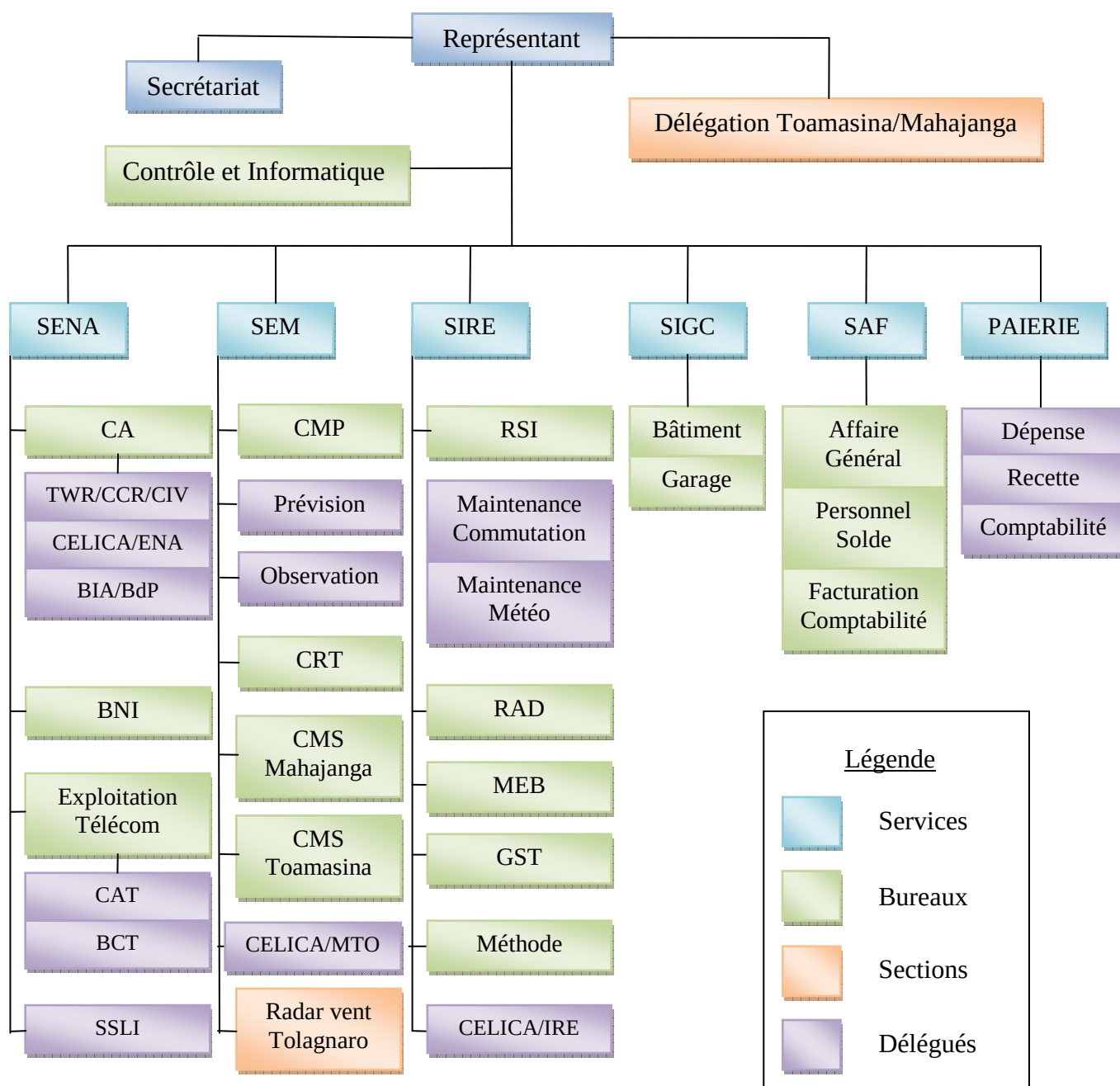


Figure A2.02 : Organigramme de l'ASECNA à Madagascar [40]

ANNEXE 3

MISSIONS DE BASE DE L'ENTREPRISE AÉRONAUTIQUE

Régie par la Convention de Dakar du 25 Octobre 1974, L'ASECNA a la charge d'un espace aérien étendu sur 16 100 000 km² (1,5 fois la superficie de l'Europe), couvert par 6 régions d'information en vol (FIR ou Flight Information Region) définies par l'OACI : Antananarivo, Brazzaville, Dakar Océanique, Dakar Terrestre, Niamey, Ndjamena. Elle supervise à ce titre : 10 centres de contrôle régionaux, 56 tours de contrôle, 25 aéroports internationaux, 76 aéroports nationaux et régionaux. [40]

Elle y assure la transmission des messages techniques et de trafic, le contrôle de la circulation aérienne, le guidage des aéronefs, l'information en vol, ainsi que le recueil des données, la prévision et la transmission des informations dans le domaine météorologique, etc. Ces prestations servent aussi bien la circulation en route que l'approche et l'atterrissage. [40]

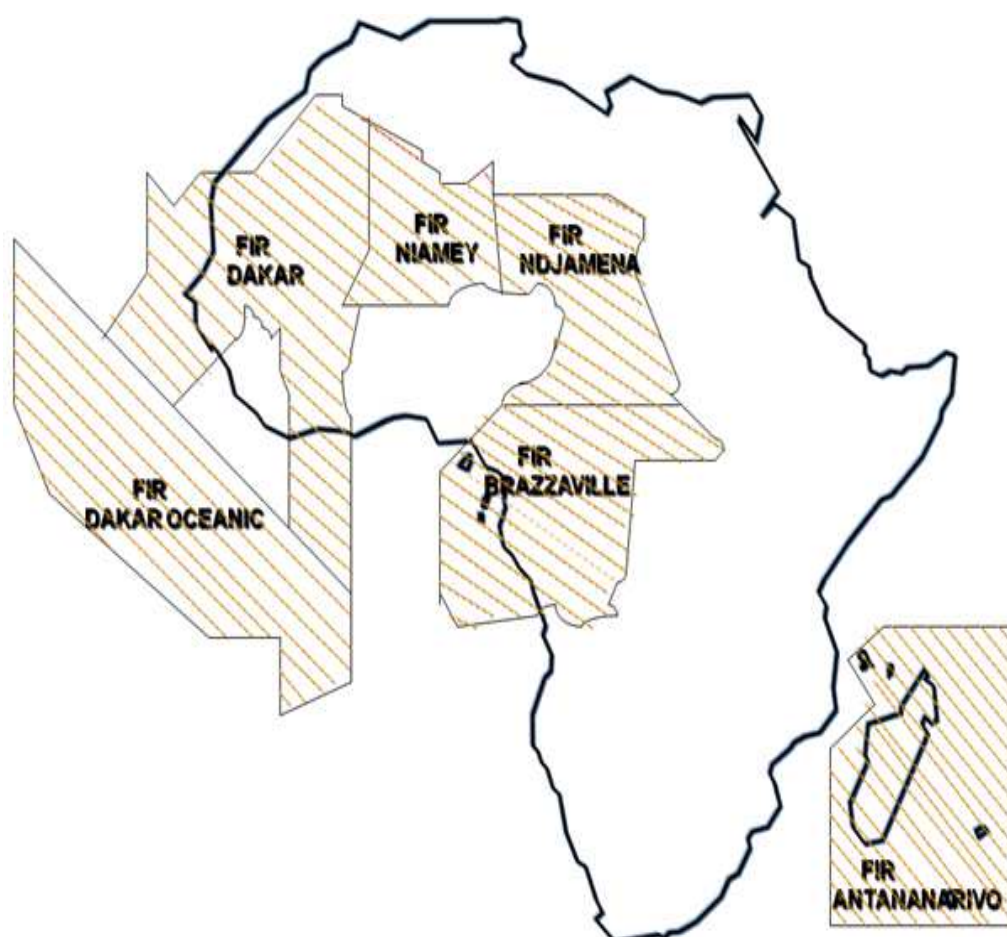


Figure A3.01 : FIR de l'ASECNA [40]

ANNEXE 4

LES ADRESSES RSFTA

Les adresses RSFTA, normalisées par l'OACI, sont des adresses utilisées seulement dans le domaine de la télécommunication aéronautique. Elles sont employées lors des échanges de messages entre les stations fixes des aéroports.

Ces adresses RSFTA sont codées sur huit caractères exactement et varient d'un aéroport à un autre. Donc, il en existe des centaines, voire des milliers dans le monde. Toutefois, il est connu mondialement que les quatre derniers caractères indiquent les stations au sol concernées (exemple : ZPZX : le BIA), et les quatre premiers caractères spécifient la situation géographique où se trouve l'aéroport (exemple : FM indique que l'aéroport se trouve dans la zone de l'Océan Indien et FMMI : l'aéroport se situe à Ivato).

ANNEXE 5

EXEMPLE DE DONNÉES AÉRONAUTIQUES : UN PLAN DE VOL

L'avion en question va décoller à l'aéroport de Mahajanga afin d'atterrir à l'aéroport des Îles Comores.

A4.1 Corps du plan de vol

FF FMNMZTZX

220931 FMNMZPZX

(FPL - 5RMGX/A3411 - IG)

- C550/L-SDW/S
- FMNM1030
- NO300F380 TN DIRBADCT UVGAD DCT MG UA401 GALBA
- FMCH0130 FMCZ

REG/5RMGX OPR/GS AVIATION RMK/CLEARANCE COMORES

A4.2 Analyse détaillée du plan de vol

Codes	Significations
FF	Priorité du FPL: priorité moyenne
FMNMZTZX	Destinataire du FPL: TWR de Mahajanga
220931	Date de saisie du FPL: 22 Mars à 09h 31mn
FMNMZPZX	Expéditeur du FPL: BIA Mahajanga
C550	Type de l'avion: Cessna
L-SDW	Type d'équipements à bord de l'avion (exemple: radar, etc)
FMNM1030	Départ à Mahajanga à 10h 30mn
NO300	Vitesse de l'avion: 300 nœuds
F380	Niveau de vol de l'avion: 380 pieds

TN DIRBADCT UVGAD DCT MG UA401 GALBA	Routes aériennes depuis Mahajanga jusqu'à destination des Îles Comores
FMCH0130	Destination aux Îles Comores avec une durée de vol de 01h 30mn
FMCZ	Aéroport de dégagement si l'aéroport des Îles Comores ne peut pas recevoir
REG/5RMGX	Immatriculation de l'avion
OPR/GS AVIATION	Nom de la Compagnie Aérienne (exemple: AIR MADAGASCAR, etc)
RMK/CLEARANCE COMORES	Autorisation d'aller aux Îles Comores

Tableau A5.01 : Significations du FPL

GLOSSAIRE

BdP	La fonction du BdP réunit trois parties : - briefing des pilotes au moyen d'un bulletin d'information pré vol, qui donne toutes les informations nécessaires pour la bonne exécution des vols. - information sur la régulation du trafic aérien (flow control) indiquant les retards que peuvent prendre certains vols à cause de régulations spécifiques (par exemple : grève, conditions atmosphériques : brouillard, etc.) - réception, vérification, assistance et distribution des plans de vol
BIA	Généralement installé sur les aérodromes auprès du BdP où les pilotes déposent leur plan de vol, le BIA a pour mission principale de fournir aux pilotes tous les documents nécessaires à la préparation du vol.
CIV	Il est institué pour assurer le service d'information de vol au pilote à chaque point de déplacement des aéronefs.
MTO	Comme son nom l'indique, la MTO donne toutes les informations nécessaires afin d'assurer la sécurité des aéronefs avant et pendant toute phase de vol.
TWR	Elle est chargée d'assurer les services de circulation aérienne dans une zone restreinte (de l'ordre d'une dizaine de kilomètres) autour d'un aérodrome. Leur principale attribution est la gestion de la piste d'atterrissage.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Holinarindra Harimalala J.F, « *Simulation de routage Internet avec gestion de files d'attente* », Dpt EN, ESPA-UA, 2001-2002
- [2] Ratsimbazafy A., « *Interface et microcontrôleur* », cours 5^{ème} année, Dpt TCO, ESPA-UA, 2009-2010
- [3] Ratsimbazafy A., « *Téléinformatique et télématique* », cours 4^{ème} année, Dpt TCO, ESPA-UA, 2008-2009
- [4] Abdel I.J.- Nour-Eddine R.- Tarek Z., « *Programmation réseau sur TCP/IP, L'interface socket* », E.N.S.I.M.A.G, Année spéciale informatique: 1993-1994
- [5] Servin.C, « *Réseaux et télécoms* », Dunod, 2003
- [6] Fenyo A.- Le Guern F.- Tardieu S., « *Raccorder son réseau d'entreprise à l'Internet* », Eyrolles, 2003
- [7] Hoppenot P., « *Informatique industrielle* », CCNA ICND, Novembre 2002
- [8] Latu P., « *Technologie Ethernet* », STIC-Informatique Université de Reims, 24 Septembre 2008
- [9] Pain-Barre C., « *Format des trames Ethernet* », INFO-IUT Aix-en-Provence, 2007 -2008
- [10] Crucianu M., « *Réseaux informatiques* », E3i Université de Tours, 2001-2002
- [11] Randriarijaona L.E., « *Réseaux TCP/IP et sécurité des réseaux* », cours 4^{ème} année, Dpt TCO, ESPA-UA, 2008-2009
- [12] Krakowiak S., « *Communication par sockets* », Projet Sardes (INRIA et IMAG-LSR) Université Joseph Fourier, 2004-2006
- [13] Dagonet J., « *Glossaire réseau et télécom* », Netopia, 2001
- [14] Viho C. - Cousin B., « *Architecture générale des réseaux informatiques* », IFSIC Université Rennes I, 15 Janvier 1998
- [15] Bernard F., « *Téléinformatique* », I.U.T. Bordeaux, Septembre 2005

- [16] Marc-Swecker S., « *Cours de téléinformatique et protocoles de communication* », Université Louis Pasteur Strasbourg, 1998
- [17] Langlois J.L., « *Frame Relay* », POLY, 2001
- [18] Fleury S.- Girod J.M.- Watanabe R., « *Les satellites et la technologie VSAT* », rapport d'exposé, Université de Marne-la-vallée, 2000
- [19] Rabeherimanana L., « *Technique de transmission avancée* », cours 5^{ème} année, Dpt TCO, ESPA-UA, 2009-2010
- [20] Olivier Y., « *Principes de télécommunications, Modulation numérique* », R&T Aix-en-Provence, 27 Avril 2006
- [21] Nacouz S., « *Réseaux de Télécommunications* », Metracom Systems & Engineering France, 2003
- [22] Nolot F., « *Structure et fonctionnement d'un réseau VSAT* », EAMAC, Juin-Juillet 2010
- [23] Daglia V., « *Transmission de données par satellite* », EPSIC Chevilly, 02 Décembre 2002
- [24] Aoun A., « *Modes de commutation* », IUP STRI Toulouse, 04 Janvier 1999
- [25] Nolot F., « *Techniques de multiplexage* », EAMAC, 21 Juin- 23 Juillet 2010
- [26] Etoungou B.O., « *Conception et réalisation d'un outil au paramétrage des antennes* », mémoire de fin d'étude, École Normale Supérieure de l'Enseignement technique de Douala - Cameroun, 2007
- [27] L'Haire J.F., « *Câbles de Cortaillod* », Naxos Université de Genève, Janvier 1999
- [28] Gérard P., « *Transmission des Télécommunications* », CoursB11, CNAM, 2000
- [29] Lacroix S., « *Quelques notions sur les propriétés générales des fibres optiques* », Lherbaudière, 19 Janvier 2010
- [30] Aliababoua, « *ADSL (Asymmetric Subscriber Line)* », , DCSIM France, 26 Novembre 2000
- [32] <http://www.rfc-editor.org/>, « *Protocole IP* », 2002
- [33] <http://www.ybet.be>, « *Le cours informatique* », 18 Décembre 2005
- [34] <http://www.materiel-informatique.be>, « *Switch réseau* », 03 Novembre 2009

- [35] <http://www.wikipedia.fr>, « *Block up converter* », 28 Février 2009
- [36] <http://www.wikipedia.fr>, « *Low-noise converter* », 14 Juillet 2010
- [37] <http://www.wikipedia.fr>, « *Fibre optique* », 30 Décembre 2009
- [38] <http://www.telma.mg>, « *Le backbone national telma* », Avril 2009
- [39] <http://www.ingenieurs2000.com>, « *L'ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line* », Septembre 1998
- [40] <http://www.asecna.aero>, « *L'ASECNA* », 2003

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom: ANDRIANTSIRESY

Prénoms: Manoa Holihantaniaina

Adresse: Lot II P 153H Ter Avaradoha

Antananarivo 101

Madagascar

Tél : +261 33 23 262 71 / +261 34 01 119 27

E-mail : mandriantsiresy@yahoo.fr



Titre du mémoire :

«ÉTUDE ET IMPLÉMENTATION DES DONNÉES AÉRONAUTIQUES SUR
FIBRE OPTIQUE»

Nombre de pages : 111

Nombre de figures : 75

Nombre de tableaux : 10

Mots clés : Données aéronautiques, Réseau, Transmission, Fibre optique, VSAT, ADSL

Directeur de mémoire :

Nom : RANDRIAMAHANDRY

Prénom : François

Grade : Ingénieur Principal de la Navigation Aérienne

Tél : +261 32 05 694 50

E-mail: randriafx@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Les allées et venues continuelles de données aéronautiques requièrent un débit très élevé, une liaison continue, sans coupure et un encombrement faible, voire inexistant pour assurer au mieux la sécurité de la navigation aérienne. De nos jours, l'entreprise aéronautique met encore à profit une technologie satellite très onéreuse et moins fiable pour transmettre les données. Mais avec l'avènement des systèmes de télécommunication optique et de la technique ADSL, simplicité, débit élevé garanti et surtout coût relativement faible sont les composants de base pour convaincre les entreprises de franchir le pas vers une technologie de pointe rentable et bénéfique. Pour l'implémentation proprement dite des données aéronautiques sur fibre optique, des études et des analyses des infrastructures au sein d'une entreprise et d'un opérateur à Madagascar ont été réalisées pour affirmer cette grande percée optique dans le monde de la télécommunication aéronautique.

ABSTRACT

A constant to-and-fro of aeronautical data require a very high flow, a continuous connection, without connection outage and a faint traffic, even non-existing in order to insure the safety of the air-traffic at the best. Nowadays, the aeronautical company takes advantages of satellite technology even if this one is expensive and less reliable to transmit data. However, with the advent of optical telecommunication systems and the ADSL technique, simplicity, guaranteed high flow and little cost especially are the base components to convince the companies to get step over the cost-effective and beneficial high-tech. For the actual aeronautical data implementation on optical fiber, some studies and analysis of infrastructure within a company and an operator in Madagascar were realized to ensure this big optical breakthrough in the aeronautical telecommunication world.