

SOMMAIRE

	Pages
REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	ii
ACRONYMES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	vi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SITUATION ACTUELLE DU RESEAU AERONAUTIQUE A MADAGASCAR.....	2
1-1 Analyse de l'existant.....	3
1-1-1 Aérodomes	3
1-1-2 Inconvénients du réseau actuel	4
1-2 Atouts de l'ATN.....	5
1-3 Communications aéronautiques.....	6
1-3-1 Repérage de stations	6
a- Indicateur d'emplacement	6
b- Indicatif d'appel.....	7
1-3-2 Les messages aéronautiques	7
a- Format de messages	7
b- Catégorie de messages	8
1-4 Analyse statistique des messages.....	10
1-4-1 Les messages significatifs.....	10
1-4-2 Fichier de données	10
1-4-3 Interprétation des résultats	14
1-5 Conclusion	14
CHAPITRE II : LES SOUS RESEAUX AIR-SOL DE L'ATN.....	15
2-1 Généralités sur l'ATN.....	16
2-1-1 Entités communicantes	16
2-1-2 Architecture	16
2-1-3 Schéma fonctionnel	18

2-2 Le sous réseau radar	19
2-2-1 Entités communicantes	19
2-2-2 Description du système	20
2-2-3 Services fournis	21
2-2-4 Caractéristiques de communication	22
a- Transmission	22
b- Station sol.....	23
2-2-5 Protocole de communication	23
a- Protocole de messages SLM.....	23
i) SLM montant	23
ii) SLM descendant.....	23
b- Protocole de messages ELM	24
2-3 Le sous réseau VDL	24
2-3-1 Entités communicantes	24
2-3-2 Architecture générale.....	25
2-3-3 Méthode d'accès	25
a- VDL mode 1	26
b- VDL mode 2.....	26
c- VDL mode 3.....	26
2-3-4 Caractéristiques d'émission	26
2-3-5 La modulation D8PSK.....	27
a- La modulation VDL	27
b- Codage multiphase	27
c- Cadence de la VDL	28
2-4 Le sous réseau satellite AMSS.....	29
2-4-1 Constituants de l'AMSS	29
a- Segment satellite.....	29
b- Station terrienne d'aéronefs	30
c- La station terrienne au sol.....	30
2-4-2 Protocole AMSS	30
2-4-3 Modulation AMSS.....	32
2-5 Interconnexion de trois sous réseaux.....	32

CHAPITRE III : ETUDE DE LA PERFORMANCE DU RESEAU ATN

CAS DE MADAGASCAR	35
3-1 Etude de la disponibilité	36
3-1-1 Définition.....	36
a- Structure série.....	36
b- Structure parallèle	37
3-1-2 Topologie logique de l'ATN pour Madagascar	37
3-1-3 Modélisation du réseau ATN	40
a- Communications air-sol et sol-air.....	40
b- Communication sol-sol	42
3-1-4 Simulation de la disponibilité.....	42
a- Données de constructeurs	42
b- Expression de la disponibilité.....	43
i) Cas air-sol	43
ii) Cas sol-sol.....	44
c- Résultats	44
i) Cas air-sol	44
ii) Cas sol-sol.....	45
d- Conclusion.....	45
i) Cas air-sol.....	45
ii) Cas sol-sol.....	46
3-2 Etude de l'efficacité.....	47
3-2-1 Définition de l'efficacité	47
3-2-2 Détermination de la fenêtre W	48
3-2-3 Simulation de Es, Er et W	48
a- Données de base	48
b- Résultats	49
c- Conclusion.....	49
3-3 Etude du délai d'acheminement.....	49
3-3-1 Hypothèses pour la simulation	50
3-3-2 Résultats du délai de communication.....	51
a- Cas sol-air.....	51
b- Cas air-sol.....	52
c- Cas sol-sol	52

3-3-3 Conclusion	53
a- Cas sol-air	53
b- Cas air-sol.....	54
c- Cas sol-sol	54
3-4 Conclusion	55
CONCLUSION.....	56
ANNEXES.....	57
Annexe 1 : Les indicateurs d’emplacement	58
Annexe 2 : Indicatifs d’appel des organismes aéronautiques à Madagascar	59
Annexe 3 : Base de données message.aér	60
Annexe 4 : Code source pour les calculs de divers paramètres.....	68
Annexe 5 : Réseaux Ethernet	71
a- Caractéristiques générales	71
b- Le MAU	72
Annexe 6 : Code source pour l’étude de la disponibilité.....	73
a- Cas air-sol	73
b- Cas sol-sol.....	74
Annexe 7 : Calcul de l’efficacité et de la taille de la fenêtre	75
Annexe 8 : Les différents formats de sous réseaux ATN	76
a- Format de paquet pour la communication par satellite... 76	
b- Format de paquets montants de radar mode S..... 77	
c- Format de paquets montants de radar mode S..... 78	
d- Format de paquets pour la communication VDL	80
Annexe 9 : Calcul du délai d’acheminement.....	81
a- Cas sol-air	81
b- Cas air-sol	84
c- Cas sol-sol.....	88
BIBLIOGRAPHIE.....	90

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1.1 : Vingt trois zones d'acheminement du Service Fixe de Télécommunication Aéronautique	6
Figure 1.2 : Format des messages.....	7
Figure 1.3 : Relation message.aer	10
Figure 1.4 : Nombre de message par type	12
Figure 1.5 : Longueur moyenne par type de message	12
Figure 1.6 : Longueurs maximale et minimale par chaque type de message.....	13
Figure 1.7 : Fréquence de chaque type de message.....	13
Figure 2.1 : Différentes couches normalisées de l'ATN.....	17
Figure 2.2 : Système d'extrémité (ES) et routeurs ATN entre les différents sous réseaux	18
Figure 2.3 : Composants au sol du radar mode S	19
Figure 2.4 : Composants à bord de radar mode S	20
Figure 2.5 : Format des messages en mode S.....	22
Figure 2.6 : Vue d'ensemble du système VDL.....	24
Figure 2.7 : Représentation des phases D8PSK avec codage Gray	28
Figure 2.8 : Sous réseau satellite AMSS.....	29
Figure 2.9 : Exemple d'interconnexion des sous réseaux ATN.....	33
Figure 3.1 : Structure en série	36
Figure 3.2 : Structure en parallèle	37
Figure 3.3 : Topologie de l'ATN pour Madagascar	38
Figure 3.4 : Principaux équipements du réseau Ethernet des aéroports internationaux....	39
Figure 3.5 : Modèle ATN pour la communication air-sol	41
Figure 3.6 : Modèle ATN pour la communication sol-sol.....	42
Figure 3.7 : Réseau ATN avec les débits de chaque voie.....	50
Figure 3.8 : Différents nœuds du réseau sol	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les catégories de messages aéronautiques.....	9
Tableau 2 : Récapitulation des résultats obtenus.....	11
Tableau 3 : Les différentes communications radar.....	21
Tableau 4 : Caractéristiques nécessaires à la VDL	27
Tableau 5 : Correspondance entre les différents symboles et phases	27
Tableau 6 : Les quatre stations satellites d'INMARSAT pour l'AMSS.....	32
Tableau 7 : Caractéristique de câblage ETHERNET standard.....	40
Tableau 8 : Les MTBF et MTTR des éléments constitutifs de l'ATN	42
Tableau 9 : Les communications possibles dans les sens air-sol et sol-air.....	43
Tableau 10 : Les expressions de la disponibilité et de l'indisponibilité de l'ATN.....	44
Tableau 11 : La disponibilité et l'indisponibilité résultante de l'ATN.....	45
Tableau 12 : Symboles utilisés.....	47
Tableau 13 : Données de base pour le calcul de l'efficacité.....	48
Tableau 14 : Résultats de l'étude de l'efficacité	49
Tableau 15 : Formats de transmission adoptés pour la simulation.....	51
Tableau 16 : Délai d'acheminement pour la communication sol-air.....	51
Tableau 17 : Délai d'acheminement pour la communication air-sol.....	52
Tableau 18 : Délai d'acheminement pour la communication sol-sol.....	53

Section 3

Section 3 ACRONYMES

AAC	: Airline Aeronautical Communications
ACM	: Aviation Civile de Madagascar
ADLP	: Airborne Data Link Processor
ADS	: Automatic Dependant Surveillance
AES	: Aircraft Earth Station
AMRT	: Accès Multiple à Répartition dans le Temps
AMSS	: Aeronautical Mobile Satellite Services
AOC	: Aeronautical Operational Communications
APC	: Aeronautical Passenger Communications
ASECNA	: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
ATM	: Asynchronous Transfer Mode
ATN	: Aeronautical Telecommunication Network
ATC	: Air Traffic Controller
ATS	: Air Traffic Services
AVLC	: Aviation VHF Data Link Communications
BCT	: Bureau Central de la Télécommunication
BER	: Bit Error Ratio
BPSK	: Binary Phase Shift Keying
CADLP	: Common Airborne Data Link Processor
CAT	: Centre Automatique de Transit
CGDLP	: Common Ground Data Link Processor
CLNP	: Connexion Less Network Protocol
CNS	: Communication Navigation Surveillance
CSMA	: Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CD	: Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect
CT	: Centre de Télécommunication
D8PSK	: Differential Eight Phase Shift Keying
DLP	: Data Link Processor
ELM	: Extended Length Messages
ES	: End System
ETCD	: Equipement Terminal de Circuit de Données
ETTD	: Equipement Terminal de Traitement de Données
FDDI	: Fiber Distributed Data Interface
FDMA	: Frequency Division Multiplexing Access
GDLP	: Ground Data Link Processor
GES	: Ground Earth Station
GMT	: Greenwich Mean Time

HDLC : High Level Data Link Control
HF : High Frequency

IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers
IP : Internet Protocol
IS : Intermediate System
ISO : International Standard Office
IW : Inter Working function

LLC : Logical Link Control
LSDU : Link Services Data Unit

MAC : Medium Access Control
MATLAB : MATrix LABoratory
MAU : Medium Attachment Unit
METAR : Meteorological Airport Report
MTBF : Mean Time Between Failure
MTTR : Mean Time To Repair

NOTAM : Notice to AirMen

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OSI : Open Systems Interconnected

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

RGS : Remote Ground System
RP : Routing Protocol
RSFTA : Réseau de Services Fixes de Télécommunication Aéronautique

SICASP : SSR Improvements and Collision Avoidance Systems Panel
SIGMET : Significant Meteorological en route phenomena
SLM : Short Length Messages
SNACP : Sub Network Access Protocol
SNDCF : Sub Network Dependant Convergence Function
SSR : Secondary Surveillance Radar
SU : Signalisation Unit

TAF : Prévision d'aérodrome
TCP/IP : Transport Control Protocol / Internet Protocol
TDMA : Time Division Multiple Access
TDM : Time Division Multiplexing
TRANSPAC : Transmission de Paquets

VDL : VHF Data Link
VHF : Very High Frequency

INTRODUCTION

Le transport aérien est un des secteurs promoteurs du développement d'un pays tout en étant un moyen de locomotion rapide et efficace. En outre, la position géographique de Madagascar ne permet pas de négliger l'ouverture du pays au monde entier par voie aérienne. Dans le but d'acheminer les voyageurs d'un endroit à un autre, la sécurité de la navigation aérienne est essentielle et ne peut pas être mise de côté. Ainsi, la télécommunication aéronautique constitue le moyen indéniable pour transmettre et recevoir les informations nécessaires et suffisantes à l'exécution d'un vol sûr, régulier et efficace.

Les réseaux actuels de Madagascar ne répondent pas à l'évolution de la technologie et présentent des défaillances qui nuisent à la rentabilité et à la sécurité de l'exploitation. Afin de pallier à ces lacunes et carences, le recours à la nouvelle infrastructure est indispensable pour atteindre l'objectif **zéro accident** de l'Aviation Civile Internationale pour ce troisième millénaire. Le réseau de la télécommunication aéronautique communément appelé **ATN** (*Aeronautical Telecommunication Network*) est une solution viable et efficace à cette situation. L'ATN n'est autre que l'internet de l'aéronautique qui vise à interconnecter les différents réseaux tels les réseaux sol à grande distance, les réseaux locaux Ethernet ou FDDI, et aussi les réseaux air-sol satellite (AMSS data-3), les réseaux VHF numérique (VDL) ainsi que les réseaux de radar mode S. L'ATN fournit les services communs de communications intégrées du service de la circulation aérienne (ATS), de la compagnie aérienne (AOC) et de la communication des passagers (APC) par l'intermédiaire des moyens de communications existants interconnectés entre eux.

Le présent travail est axé sur l'étude de ce réseau. Il s'intitule « **Evaluation de la performance du réseau ATN-cas de Madagascar-** ». Les résultats obtenus jouent un rôle déterminant dans la prise de décision pour la mise en place de l'ATN à Madagascar. Pour ce faire, ce mémoire est subdivisé en trois chapitres. *Le premier chapitre* est consacré à l'analyse de l'existant du réseau de télécommunication aéronautique de Madagascar ainsi que l'analyse statistique des messages. La description de sous réseaux de l'ATN (AMSS ,VDL,Radar mode S) fera l'objet du second et *le dernier chapitre* fournit les résultats de simulation des paramètres caractéristiques permettant l'évaluation de la performance du réseau ATN s'il est implanté à Madagascar.

CHAPITRE PREMIER

**SITUATION ACTUELLE DU RESEAU
AERONAUTIQUE A MADAGASCAR**

Ce premier chapitre comporte l'analyse de l'existant en matière de télécommunication aéronautique, souligne les atouts de l'ATN et FOURNIT les premiers résultats statistiques sur les messages importants utilisés en aéronautique.

1-1 ANALYSE DE L'EXISTANT

Dans le but d'assurer la sécurité, la régularité et l'efficacité de l'exploitation aérienne, chaque aéronef envoie à tout moment des comptes rendus de positions aux contrôleurs de la circulation aérienne par le biais de moyens de télécommunication. La connaissance de la position des aéronefs dans l'espace et dans les aéroports permet non seulement d'éviter la collision ou l'abordage entre aéronefs mais aussi d'accélérer l'écoulement du trafic.

Madagascar dispose actuellement de quatre réseaux qui desservent l'aéronautique et la météorologie :

- Le réseau de l'Aviation Civile de Madagascar situé au Centre de Télécommunication (CT) d'Ivato;
- Le réseau de l'ADEMA installé au Centre de la Télécommunication de l'ADEMA (CTA) à Ivato;
- Le réseau de l'ASECNA groupé au Bureau Central de la Télécommunication de l'ASECNA (BCT ASECNA);
- Le réseau de la Météorologie nationale sis à Ampasapito.

1-1-1 AERODROMES

Actuellement, le territoire malgache offre soixante deux aéroports (Annexe 1).

Parmi eux :

- ◆ quatre aéroports sont contrôlés : Ivato, Toamasina, Mahajanga et Nosy-Be. Dans ces aéroports les services de contrôle, les services d'alerte et les services d'informations de vol sont assurés ;
- ◆ dix huit aéroports protégés : Antsiranana, Vohémar, Sambava, Antalaha, Maroantsetra, Antsohihy, Mananara-Nord, Sainte-Marie, Ambatondrazaka, Maintirano, Fianarantsoa, Morondava, Mananjary, Manakara, Farafangana,

Morombe, Toliary et Taolagnaro dans lesquels les services d’alerte et d’informations de vol sont assurés.

Parmi ces aérodromes, six (Ivato, Toamasina, Mahajanga, Nosy-Be, Tuléar, Taolagnaro) sont accessibles aux vols internationaux.

1-1-2 INCONVENIENTS DU RESEAU ACTUEL

Les réseaux de télécommunication actuels sont exploités en Morse, en phonie et en téléimpression. Ce système présente des inconvénients majeurs et son remplacement par un système plus performant est exigé par l’Organisation de l’Aviation Civile Internationale (OACI). En effet :

◆ *Le système est tributaire des conditions atmosphériques.*

Le nombre des messages “en souffrance” sur les aérodromes augmente parce que les conditions atmosphériques perturbent la transmission des communications Morse et phonie. Un retard considérable est donc constaté sur l’arrivée des messages.

□ *Le mode de transmission est non fiable et trop lent.*

Les informations traitées au niveau des réseaux de télécommunication aéronautique doivent être conformes aux exigences de sécurité demandée (informations suffisantes, exactes et communiquées à temps) pour le bon déroulement des vols. Or, vu l’accroissement du trafic à Madagascar, les modes de transmission utilisés ne répondent plus aux besoins actuels de la sécurité en raison de leur lenteur d’une part et de leur manque de fiabilité d’autre part. De même, le téléimprimeur actuel est à faible débit (50 bps) et ne satisfait plus à la transmission des messages de grande taille (supérieure à 1.8 Ko).

◆ *La technique est non conforme à l’évolution de la technologie.*

Soulignons que, Madagascar est le seul pays d’Afrique qui exploite encore ces modes de transmission en cours de disparition. D’ailleurs les équipements modernes n’en sont plus équipés.

□ *La nuisance acoustique pour le personnel exploitant.*

Les systèmes Morse et phonie nuisent à la santé du personnel exploitant à long terme en raison de l’écoute trop prolongée de signaux sonores.

1-2 ATOUTS DE L'ATN

L'ATN est un réseau de télécommunication permettant à tous les acteurs de la communauté aéronautique (service du contrôle aérien, compagnies aériennes, avions civils ou privés, service météo, services aéroportuaires, etc.) d'échanger de façon sécurisée tout type de données (ordre de contrôle, messages météo, paramètres de vol, reports de position, communications passagers, etc.).

La mise en place de l'ATN à Madagascar vise à résoudre les problèmes actuels en matière de télécommunication aéronautique. Le choix de cette topologie repose sur le fait que :

- Elle permettra d'améliorer la disponibilité des différents services aéronautiques ;
- Elle tient compte d'utiliser encore les réseaux actuels grâce aux routeurs ATN compatibles avec les différents réseaux ;
- Elle assure aussi l'interconnexion de nouveaux matériels de dernier cri ;
- Elle permet une couverture de la région océanique et de région désertique.

Malgré tout, les compagnies aériennes se plaignent du manque total du moyen de communication et de navigation dans de nombreuses parties du monde : impossibilité de communiquer avec les contrôleurs en fonction des variations plus ou moins prévisibles des couches ionisées au-dessus des océans ou manque de moyens de guidage d'approche sur d'innombrables petits terrains, etc. La solution ATN n'est pas pour Madagascar tout simplement mais pour le monde entier.

En outre, il peut utiliser les réseaux de transmission existants (réseaux locaux, X25, ATM) et les réseaux de communications mobiles avec une grande souplesse d'adaptation et de branchement même pour les technologies à venir.

La solution technique permettant de définir un environnement unique pour les télécommunications numériques aéronautiques passe par l'interconnexion de tous les systèmes de télécommunication disponibles. L'ATN inclue les sous réseaux air-sol mobiles comme le radar mode S, le satellite et la VDL (VHF Data Link), et également les sous réseaux fixes au sol et les sous réseaux embarqués.

1-3 CARACTERISTIQUES DE LA TELECOMMUNICATION AERONAUTIQUE

1-3-1 REPERAGE DE STATION

a-Indicateurs d'emplacement

Afin de faciliter l'organisation de la télécommunication aéronautique, l'OACI adopte la répartition géographique des stations édictées par l'Union Internationale de la Télécommunication (UIT) [1] qui divise le monde entier en vingt trois zones (figure. 1.1).

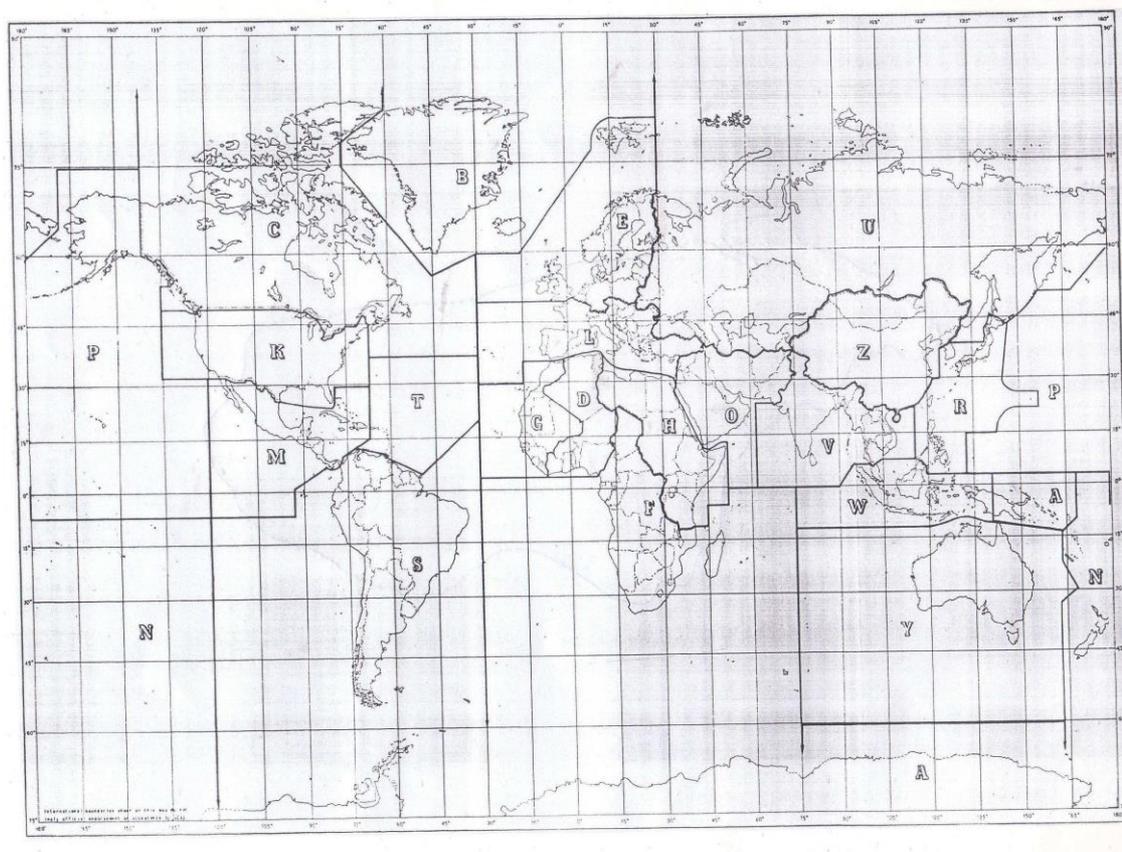


Figure 11 : Vingt trois zones d'acheminement du Service Fixe des Télécommunications aéronautiques.

Pour permettre l'envoi des messages aéronautiques d'une station à une autre, chaque station est désignée par un **indicateur d'emplacement** formé de quatre lettres. La *première* donne la zone où se trouve l'aérodrome, la *deuxième* le pays correspondant, la *troisième* indique la région concernée et la *quatrième* l'aérodrome contenant la station de télécommunication aéronautique.

Ainsi, Madagascar se trouve dans la zone F et dispose de trois régions : le nord (N), le centre (M) et le sud (S). L'indicateur d'emplacement de l'aéroport d'Ivato est donc **FMMI** : M pour Madagascar, M pour la région centrale et I pour Ivato. De la même manière, l'aéroport de Paris Charles de Gaulle a comme indicateur **LFPG**.

L'*Annexe 1* récapitule les indicateurs d'emplacement des soixante deux aérodromes de Madagascar dont quatre sont gérés par l'ASECNA, douze par l'ADEMA, un par Andry développement, un par l'armée malagasy et le reste par l'ACM.

b-Indicatif d'appel

Pour désigner un organisme aéronautique, un **indicatif d'appel** composé d'un indicateur d'emplacement suivi de suffixe à quatre lettres lui est attribué. L'*Annexe 2* récapitule les indicatifs des organismes aéronautiques de Madagascar.

1-3-2 LES MESSAGES AERONAUTIQUES

a- Format des messages

Un **message** n'est autre qu'une information, un renseignement ou une instruction provenant ou à destination d'une ou plusieurs stations des réseaux fixes ou mobiles de télécommunications aéronautiques. Compte tenu de son importance en sécurité de l'aéronef, chaque message est affecté d'un ordre de priorité pour la transmission SS (première priorité), DD ou FF (deuxième priorité) et GG ou KK (troisième priorité). Le format des messages aéronautiques [2] est représenté dans la figure 1.2 :

En-tête	ADRESSE	ORIGINE	TEXTE	FIN
---------	---------	---------	-------	-----

Figure 1.2 : Format des messages

L'*en-tête* est composé d'une information de début de message, d'un espace, d'une lettre de la station émettrice, d'une lettre de la station réceptrice, d'une lettre d'identification de la voie et de son numéro, d'un espace et de la date et heure de dépôt. L'*adresse* est ensuite écrite sur la ligne suivante avec un indicateur de priorité,

Situation actuelle du réseau aéronautique à Madagascar

un espace, un indicateur de destinataires. A la ligne suivante, l'*origine* contient l'heure du dépôt de message, l'indicateur d'origine. Puis à la ligne, le *texte* ou le corps du message doit être clair, concis, en style télégraphique et ayant trait à l'aéronautique.

Exemple :

(En-tête) : ZCZC TYC289 211924 avec ZCZC une information de début de message, T une lettre de la station émettrice, Y une lettre de la station réceptrice, C une lettre de la voie, 289 numéro de la voie et 211924 date et heure de dépôt au centre automatique de transit.

(Adresse) : GG FMMIYNYX avec GG message de priorité trois à destination de
bureau NOTAM d'Ivato.

(Origine) : 211925 FCCCYNYX avec 211925 date et heure de dépôt du message au
bureau NOTAM de Brazzaville.

(Texte) : (AO892/02 NOTAMR AO787/02

Q) FCCC/QFUAAU/IV/NBO/A/000/999/0027N00924E003

A) FOOL B) 0210210235 C) 0211212359 EST

E) RAVITAILLEMENT EN AVGAZ 100LL NON ASSURE)

En clair, c'est un message NOTAM série A (internationale) n° 0892/02 remplaçant le NOTAM série A n° 0787/02 qui signale aux navigateurs que le ravitaillement (FU) en AVGAZ 100LL est non assuré (AU) à l'aérodrome de Libreville (FOOL) du 21 octobre 2002 à 02h35mn (0210210235) au 21 novembre 2002 estimé à 23h59mn (0211212359 EST).

(FIN) : dévidement de page (quelques lignes avant d'entamer le message suivant).

b- Catégories de message

Différentes catégories de messages aéronautiques [3] utilisées en télécommunication aéronautique sont données dans le Tableau 1.

Situation actuelle du réseau aéronautique à Madagascar

Tableau 1 : Les catégories de messages aéronautiques

<i>Catégorie de message</i>	<i>Nom du message</i>	<i>Priorité du message</i>
Les messages d'urgence	Les messages de détresse et de trafic de détresse	SS
	Les messages d'alerte (ALR)	SS
	Les messages des interruptions des communications radio (RCF)	FF
Les messages de mouvement et de contrôle	Les messages de plan de vol déposé (FPL)	FF
	Les messages de retard (DLA)	FF
	Les messages de modification (CHG)	FF
	Les messages d'annulation de plan de vol (CNL)	FF
	Les messages de départ (DEP)	FF
	Les messages d'arrivée (ARR).	FF
	Les messages de plan de vol en vigueur (CPL)	FF
	Les messages d'estimation (EST)	FF
	Les messages de coordination (CDN)	FF
	Les messages d'acceptation (ACP)	FF
	Les messages d'accusé de réception logique (LAM)	FF
	Les messages de demande de plan de vol (RQP)	FF
	Les messages de demande de plan de vol complémentaire (RQS)	FF
	Les messages de plan de vol complémentaire (SPL)	FF
	Les messages d'autorisation	FF
	Les messages de transfert de contrôle	FF
	Les messages de régulation de la circulation	FF
Les messages de compte rendu de position et de compte rendu en vol	FF	
Messages d'information de vol	Les messages contenant des renseignements sur la circulation	FF
	Les messages contenant des renseignements météorologiques	FF ou GG
	Les messages relatifs au fonctionnement d'installations et de services aéronautiques	GG
	Les messages contenant des renseignements essentiels sur les aérodromes	GG
	Les messages relatifs aux comptes rendus d'incident de la circulation aérienne	FF

1-4 ANALYSE STATISTIQUE DES MESSAGES

Dans ce paragraphe, nous procédons au dépouillement de quatre cent quarante (440) messages aéronautiques les plus significatifs enregistrés au centre de télécommunication de l'ACM. Les résultats obtenus sont ensuite interprétés.

1-4-1 LES MESSAGES SIGNIFICATIFS

La connaissance du nombre et de la longueur des messages aéronautiques présente des intérêts capitaux pour l'étude de la performance du réseau ATN. Dans ce paragraphe, nous procédons au dépouillement de quatre cent quarante (440) messages aéronautiques les plus significatifs enregistrés au centre de télécommunication de l'ACM entre 04H (GMT) et 15H (GMT) le 21 février 2004, entre 06H (GMT) et 23H59(GMT) le 22 février 2004 et entre 00H (GMT) et 16H (GMT) le 23 février 2004. Parmi ces messages, quatorze ont été identifiés dont le message d'arrivée (ARR), le message administratif (ADM), le message météorologique (BM), le message d'annulation de plan de vol (CNL), le message de modification de plan de vol (CHG), le message de départ de l'aéronef (DEP), le message de retard (DLA), le message de détresse (DET), le message de localisation d'urgence (ELT), le message de plan de vol déposé (FPL), le message NOTAM (NTM), le message de demande de survol (OVRFL), le message de prévision de route (QFA) et le message de service (SVC).

1-4-2 FICHER DE DONNEES

Afin de déterminer le volume, les longueurs maximale, minimale, moyenne des messages et le pourcentage de message dans chaque catégorie, nous avons établi la base de donnée (*Annexe 3*) sous forme relationnelle avec les six champs représentés sur la figure 1-3.

Numéro du message	Date d'enregistrement	Expéditeur	Destinataire	Nom du message	Taille du message
-------------------	-----------------------	------------	--------------	----------------	-------------------

Figure 1-3 Relation message.aér

Situation actuelle du réseau aéronautique à Madagascar

Le fichier ainsi obtenu est traité sous le logiciel MATLAB (*Annexe 4*) développé par la société MathWorks [4] et nous donne les résultats dans le Tableau 2 et illustrés par les histogrammes. (Figures 1.4 à 1.7).

Tableau2 : Récapitulation des résultats obtenus

N°	Nom du message	Nombre	Taille moyenne [octets]	Taille maximale [octets]	Taille minimale [octets]	Fréquence [%]
1	ARR	20	292	680	272	4.5454
2	ADM	17	810	1904	408	3.8636
3	BM	19	2399	3400	1108	4.3118
4	CNL	5	272	272	272	1.1363
5	CHG	6	272	272	272	1.3636
6	DEP	57	348	1156	272	12.9545
7	DLA	7	272	272	272	1.5909
8	DET	3	1814	2176	1088	0.6818
9	ELT	2	612	612	612	0.4545
10	FPL	49	727	1336	476	11.1363
11	NTM	140	684	1518	340	31.8181
12	OVFL	20	755	884	612	4.5454
13	QFA	10	952	952	952	2.2727
14	SVC	85	272	272	272	19.3181
	TOTAL	440			TOTAL	100

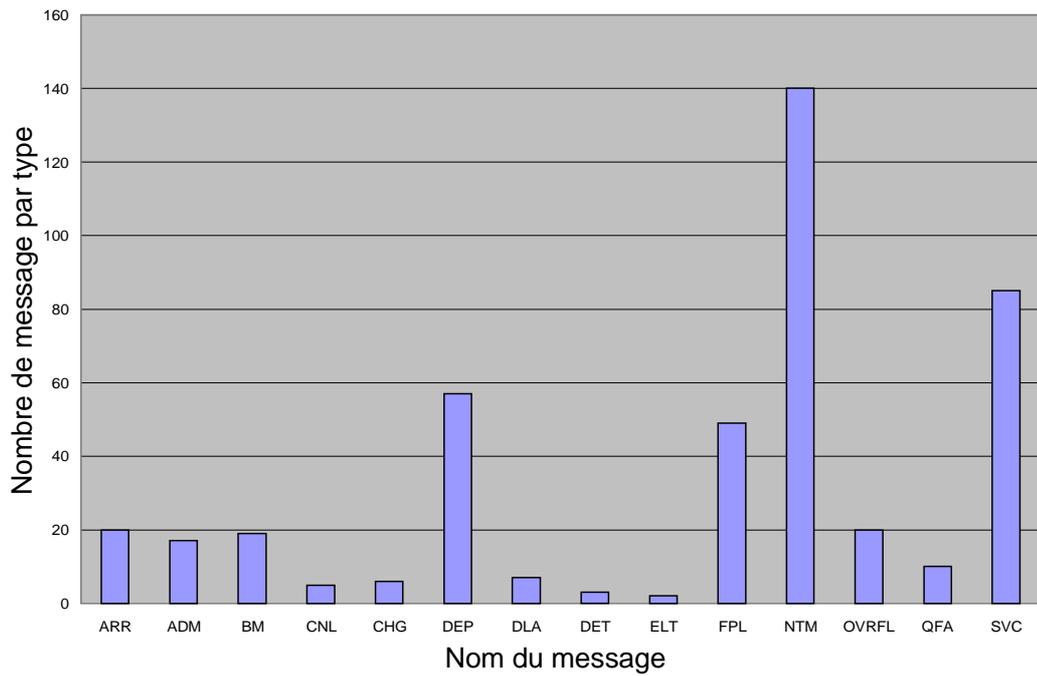


Figure 1.4 : Nombre de messages par type

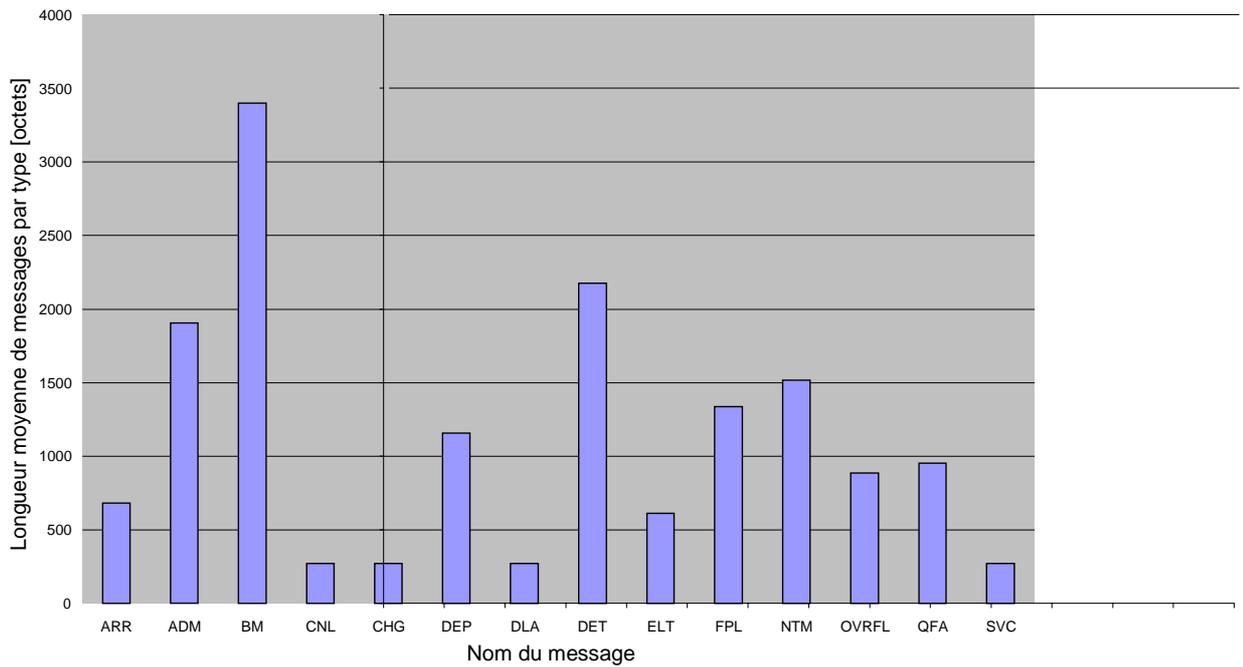


Figure 1.5 : Longueur moyenne des messages par type

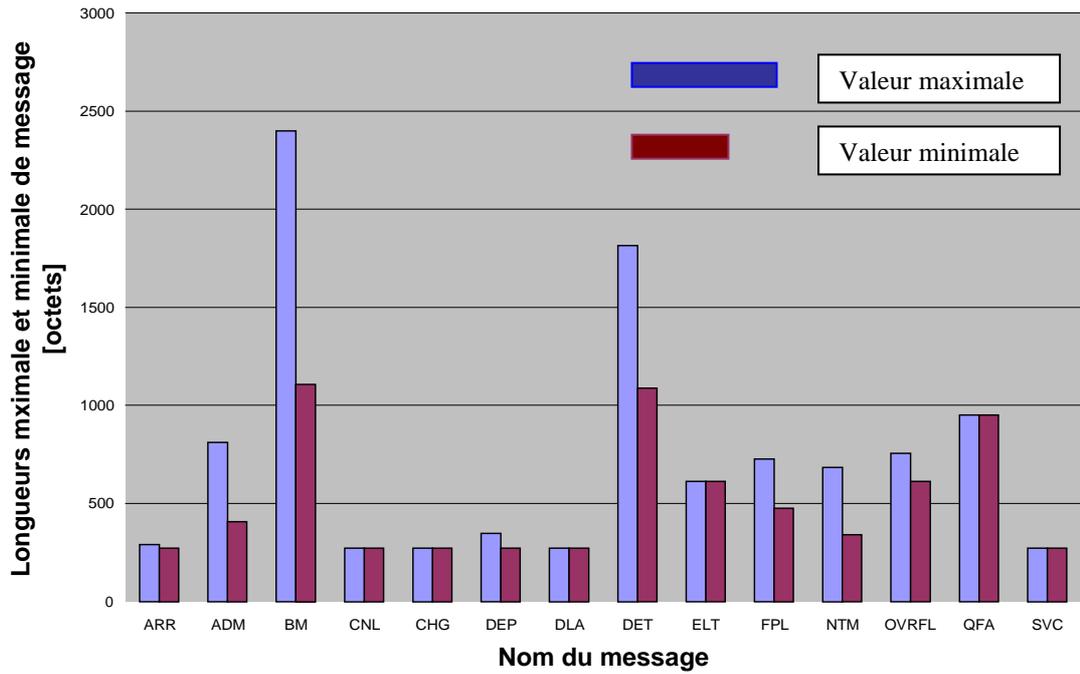


Figure 1.6 : Longueurs maximale et minimale de chaque type de message

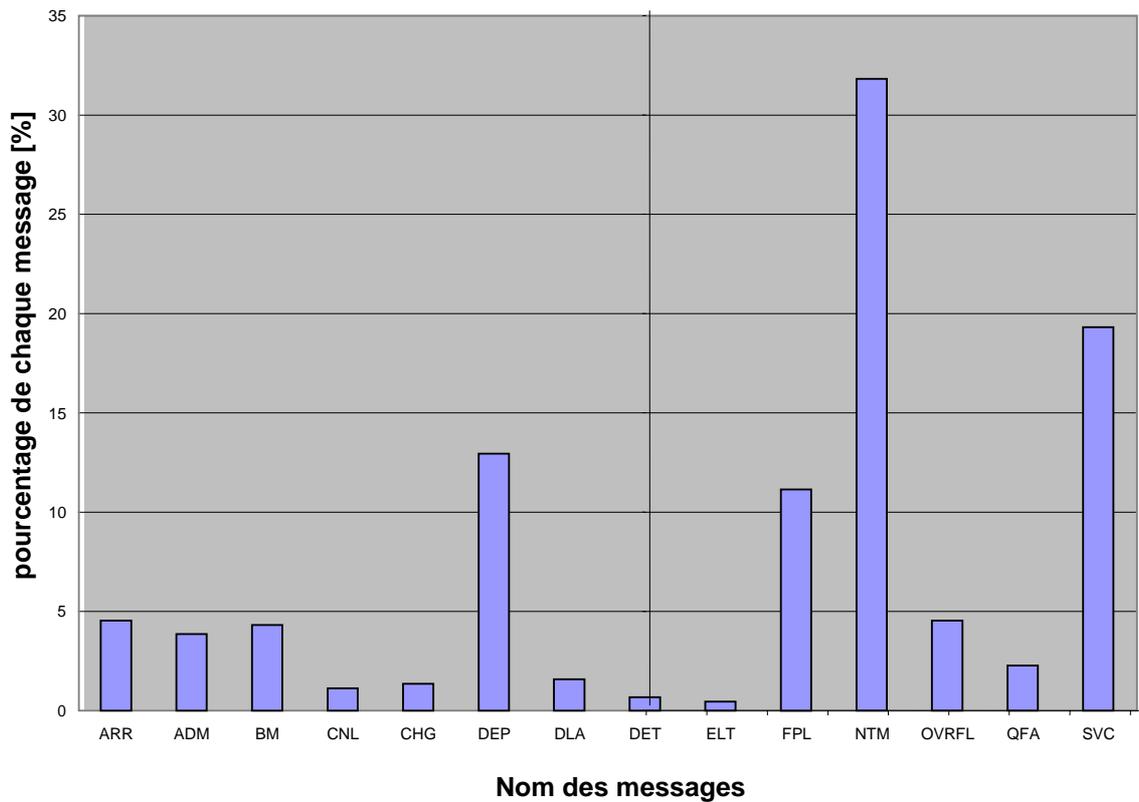


Figure 1.7 : Fréquence de chaque type de message

1-4-3 INTERPRETATION DES RESULTATS

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que :

- 31.81% de messages aéronautiques sont de NOTAM (NTM) ;
- 19.31% des messages de service (SVC) ;
- 12.95% des messages de départ (DEP) ;
- 11.13% des messages de plan de vols (FPL);
- 4.54% des messages d'arrivées (ARR).
- 4.31% des messages météorologiques (BM).

Par ailleurs, d'après l'histogramme 1-6, il y a des messages aéronautiques de longueur constante tels les messages CNL, CHG, DLA, ELT et SVC et de longueur variable à l'instar de messages ARR, ADM, BM, DEP, DET, FPL, NTM, OVRFL et QFA. Les longueurs varient entre 272 et 3400 octets mais la plupart ont une longueur inférieure à 1Ko sauf pour ADM, BM, DET, FPL et NTM. Ces paramètres jouent un rôle important dans la détermination des durées d'acheminement de messages suivant les débits de canaux de transmission de l'ATN.

1-5 CONCLUSION

Pour acheminer un avion d'un aéroport à un autre de façon sûre et efficace, trois grandes fonctions sont indispensables : Communications, Navigation et Surveillance. Elles constituent la pierre angulaire du système CNS, un soutien de système de gestion du trafic aérien. *La Communication* concerne l'échange de voix et données entre les aéronefs et les contrôleurs de la circulation aérienne ou les centres d'information de vol. *La navigation* requiert la connaissance de la position des aéronefs avec précision. *La surveillance* permet d'assurer le contrôle de circulation aérienne à l'aide des renseignements fournis par les deux autres fonctions. Le système actuel présente quelques lacunes non négligeables dues à la perturbation atmosphérique, à la lenteur du système et à la nuisance sonore.

Il faut dire que les aéronefs, aussi bien que leur avionique, sont devenus de plus en plus perfectionnés. Les techniques satellitaires et informatiques en évolution incessante autorisent aujourd'hui des réalisations encore plus révolutionnaires. L'ATN utilise trois sous réseaux (radar mode S, Satellite, VDL). La connaissance des caractéristiques des messages aéronautiques est indispensable en vue d'évaluer la performance du réseau ATN.

CHAPITRE II

**LES SOUS RESEAUX AIR-SOL DE
L'ATN**

Ce chapitre décrit les structures de trois sous réseaux de l'ATN avec leurs caractéristiques respectives ainsi que leur interconnexion pour former le réseau ATN.

2-1 GENERALITES SUR L'ATN

L'ATN [5] n'est autre que l'interconnexion de réseaux de types différents tels les réseaux sol à grande distance, les réseaux locaux Ethernet ou FDDI et les réseaux air-sol satellite (AMSS data-3), le VHF numérique (VDL mode 2) ou le radar mode S. Ces réseaux sont basés au sol ou embarqué.

2-1-1 ENTITES COMMUNICANTES

L'ATN est composé de :

- Systèmes d'extrémité (ES) appelés *ordinateurs hôtes* ;
- Systèmes intermédiaires (IS) appelés *routeurs ATN* ;
- Sous réseaux de l'ATN.

Les systèmes d'extrémité et les systèmes intermédiaires sont reliés aux sous réseaux ATN. Les premiers fournissent les services de communication ATN vers les applications et assurent un *transfert fiable* des données par la couche transport en mettant en œuvre les couches supérieures pour structurer le dialogue et gérer la représentation des données.

Les routeurs ATN s'occupent de l'acheminement des paquets à travers les sous réseaux en *mode sans connexion* et avec le schéma d'adressage global. Ils échangent des informations de routage dynamique avec les systèmes voisins et font la mise à jour automatique de la table de routage.

Les sous réseaux ATN sont classés en deux catégories: les sous réseaux sol-sol qui englobent les réseaux X25, le RSFTA, le TRANSPAC, etc.. et les sous réseaux air-sol tels que le radar mode S, la VDL et l'AMSS.

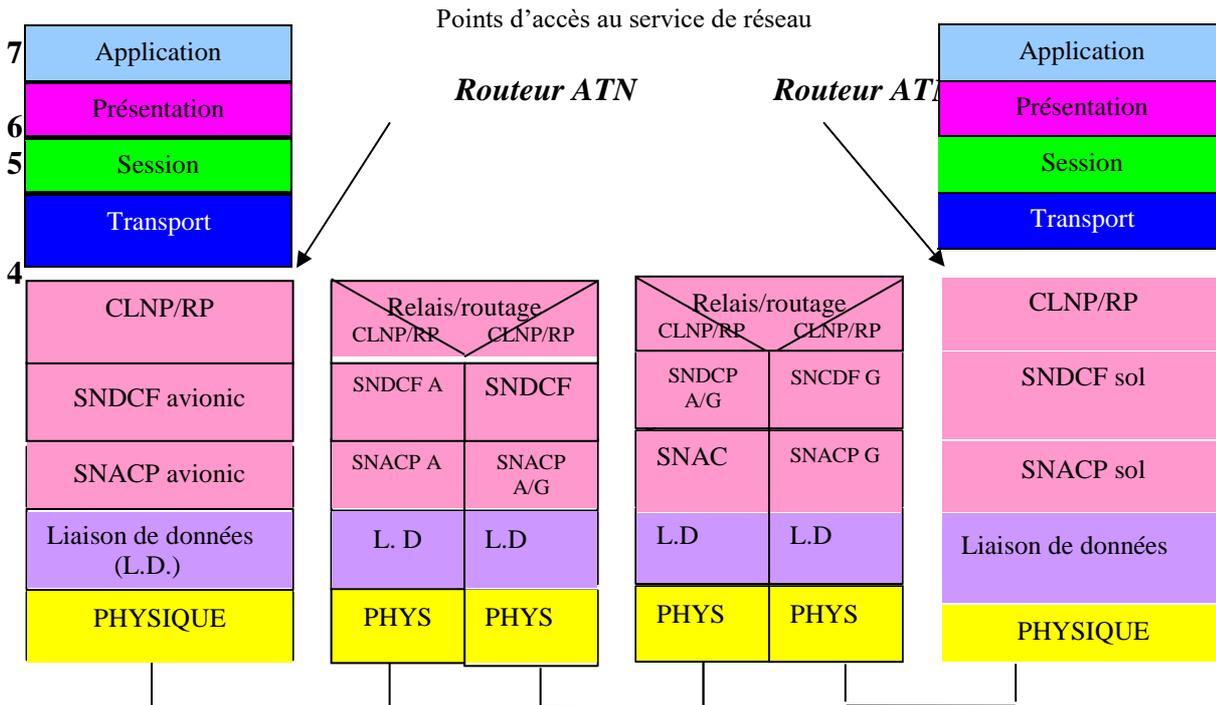
2-1-2 ARCHITECTURE

Le concept de l'ATN est basé sur le modèle de référence OSI de l'ISO 8073 (figure 2.1). C'est une architecture à sept (7) couches. Dans ce système :

- Les systèmes d'extrémité sont formés par les ordinateurs hôtes et/ou les réseaux d'utilisateurs hébergeant les sept couches du modèle OSI ;
- Les systèmes intermédiaires utilisent les trois couches inférieures du modèle OSI et assurant le routage, le relais et l'interconnexion avec les autres sous réseaux (figure 2.1).

Système d'extrémité embarqué (A : airborne)

Système d'extrémité au sol (G :ground)



- CLNP : protocole de réseau en mode sans connexion
- SNDCF : fonction de convergence dépendante du sous réseau
- SNACP : protocole d'accès au sous réseau
- RP : protocole d'échange d'information de routage

Figure 2.1 : Différentes couches normalisées de l'ATN

Pour le réseau ATN, la couche réseau se divise en trois sous couches :

- La sous couche *SNACP avionic* qui réalise le formatage des informations sous forme de trames ;
- La sous couche *SNDCF avionic* qui passe *call request* de la sous couche CLNP/RP vers la couche liaison de données;
- La sous couche *CLNP/RP* pour la gestion de protocole de réseau *en mode sans connexion*

2-1-3 SCHEMA FONCTIONNEL

La plupart des fonctions rendant possible l'interconnexion des sous réseaux utilisés par l'ATN sont intégrées dans un système servant de passerelle entre deux ou plusieurs sous réseaux (figure 2.2). L'une des conditions essentielles pour interconnecter les sous réseaux hétérogènes est la définition d'un plan d'adressage global. Ce plan d'adressage conforme aux standards de l'ISO permet à chaque système connecté à l'un des sous réseaux de l'ATN d'avoir une adresse unique dans l'environnement ATN en plus de son adresse locale dans le sous réseau auquel il est connecté. La mise en correspondance de ces deux adresses identifiant le même système permet aux routeurs ATN d'acheminer les messages du système source à leur destination au travers d'un ou plusieurs sous réseaux.

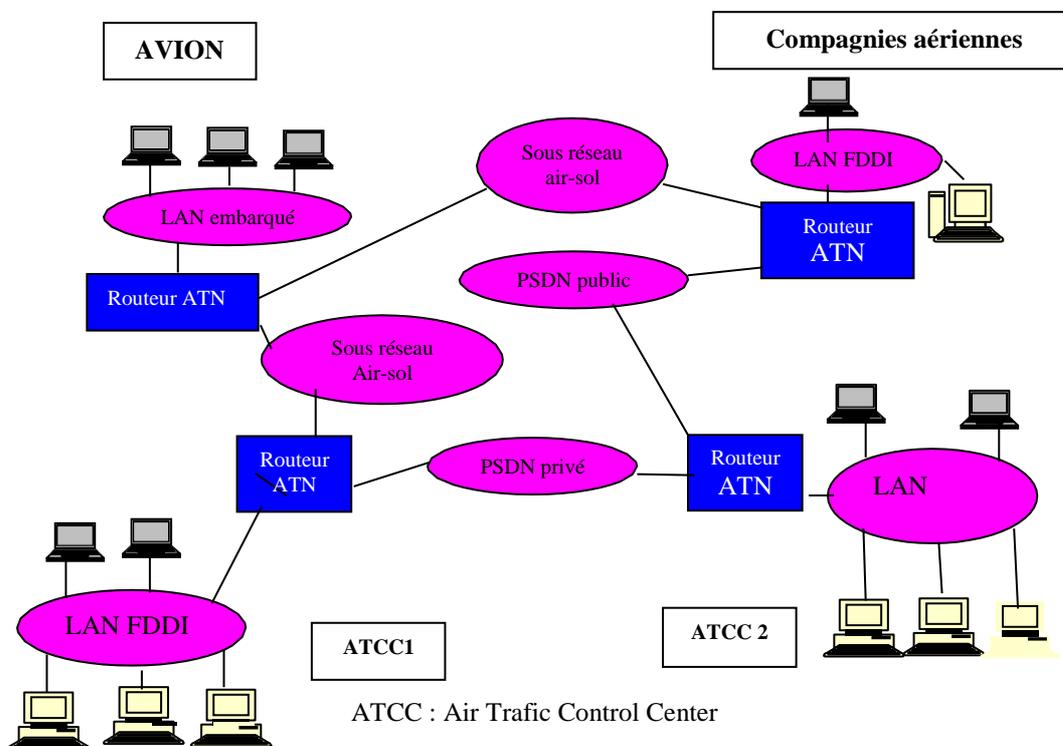


Figure 2.2 : Systèmes d'extrémité (ES) et routeurs ATN entre les différents sous réseaux

Les algorithmes de routage permettent aux routeurs ATN de choisir le chemin optimal pour chaque message. L'optimisation de ce routage est rendue possible par des protocoles d'échange d'informations de routage (conformes aux standards ISO 9542) qui

permettent à chaque routeur d'avoir à tout moment la connaissance du nombre et de la disponibilité des chemins possibles.

Une autre fonction essentielle du routeur ATN est le relais des messages qu'il reçoit vers le système auquel ils sont destinés soit directement soit à l'aide d'autres routeurs ATN.

2-2 LE SOUS RESEAU RADAR

2-2-1 ENTITES COMMUNICANTES

Le sous réseau radar mode S est constitué d'une part de l'infrastructure au sol (figure 2.3) et d'autre part du système embarqué (figure 2.4).

Coté sol : la station sol mode S remplit la fonction de modulateur démodulateur (modem) mode S et le GDLP (Ground Data Link Processor) assure le fractionnement des messages en vue de leur transfert sur la liaison des données mode S et l'assistance à l'acheminement de messages.

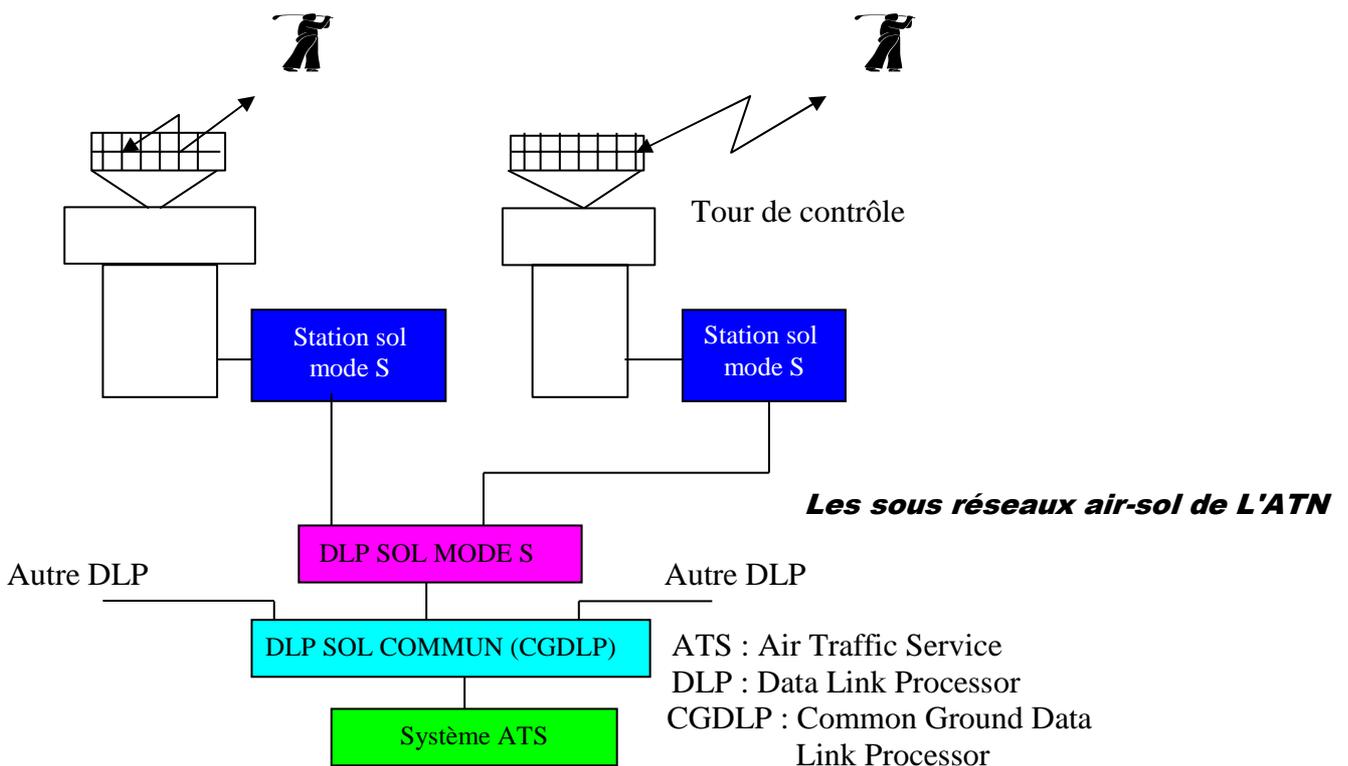
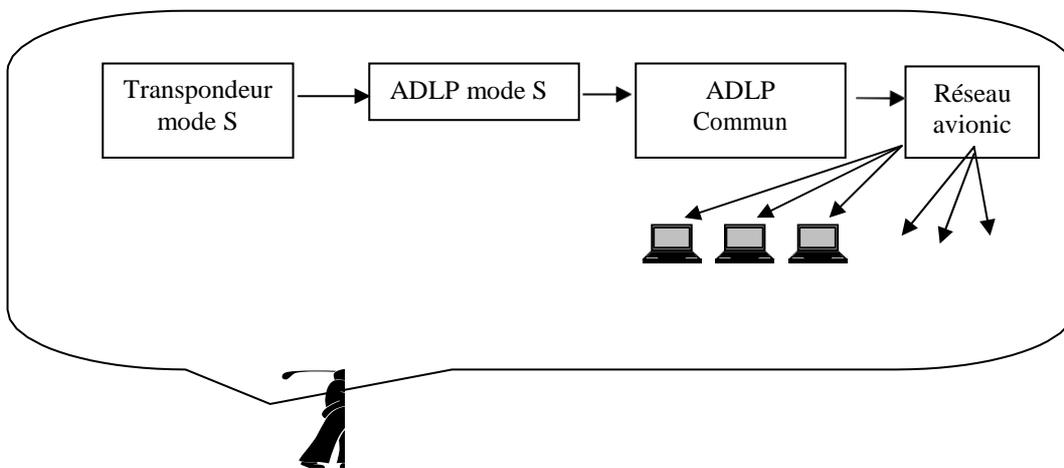


Figure 2.3 : Les composants au sol du radar mode S

Coté bord : le transpondeur mode S permet d'acheminer des SLM et l'ADLP (Airborne Data Link Processor) assure des fonctions de passerelle et de traitement analogue à celles du DLP sol qui joue le rôle de multiplexeur.

Pour l'interrogation, le radar mode S nécessite une bande passante à 3 dB de 8 MHz centrée sur 1030 MHz avec la modulation de phase différentielle **DPSK** (Differential Phase Shift Keying) et un débit de 4Mbps [6].

Pour la *réponse*, le radar mode S nécessite une bande passante à 3dB de 8 MHz centrée sur 1090MHz avec la modulation en position des impulsions **PPM** (Pulse Position Modulation) et un débit de 1 Mbps [6].



ADLP : Airborne Data Link Processor

Figure 2.4 : Les composants à bord du radar mode S

2-2-2 DESCRIPTION DU SYSTEME

Le Système Radar Secondaire de Surveillance (SSR) assure [7] à partir du sol la surveillance des aéronefs équipés de transpondeurs et permet d'établir la communication par liaison des données entre une station sol et un aéronef lorsque les deux sont dotés de l'équipement mode S.

Ce système comporte un interrogateur situé au sol et un transpondeur embarqué. Le système fonctionne en quatre modes : mode A, mode C, mode S et la combinaison de ces trois modes appelée inter mode (Tableau 3).

Tableau 3 : Les différentes communications de radar.

Nom de la communication	Sens	Champ de données	Longueur du champ [bits]
Surveillance (mode S)	Montant/descendant	Aucun	-----
COM-A	Montant (interrogation)	MA	56
COM-B	Descendant (réponse COM-A)	MB	56
COM-C	Montant (interrogation)	MC	80
COM-D	Descendant (réponse COM-C)	MD	80

2-2-3 SERVICES FOURNIS

Le système SSR peut fournir deux catégories de services :

- Le service mode A/C qui donne la distance, l'azimut, le code d'identification de l'aéronef et le compte rendu d'altitude ;

Les réponses en mode A fournissent le code d'identification de l'aéronef et le compte rendu de position tandis que les réponses en mode C procure le compte rendu d'altitude et la pression avec une définition de 100 pieds.

- Le service mode S qui assure tous les services en mode A/C, adressage sélectif, services spécifiques et liaison des données bidirectionnelles.

En plus des informations fournies par modes A/C, le mode S fournit:

- ◆ L'adresse mode S de l'aéronef ;
- ◆ La situation au sol de l'aéronef ;
- ◆ Le code d'identification de l'aéronef,
- ◆ L'*altitude pression* (altitude donnée par un altimètre barométrique) de l'aéronef avec une définition de 25 pieds.

En outre, le mode S permet de mettre en œuvre une liaison de données numériques air-sol bidirectionnelle fiable, de capacité modérée par partage du temps sur le canal de surveillance.

L'association de liaison de donnée mode S avec la fonction de surveillance SSR et la haute intégrité des données rendent cette liaison particulièrement attrayante pour la transmission des messages ATS.

2-2-4 CARACTERISTIQUES DE COMMUNICATION

L'échange de données en mode S se fait soit par service sans connexion soit par service avec connexion.

Le service sans connexion est destiné aux courts messages opérationnels ou à ceux qui font l'objet d'échanges peu fréquents entre un aéronef et un système sol.

Le service à connexion est destiné aux longs messages opérationnels ou à ceux qui sont échangés fréquemment entre aéronef et système au sol. Le service sans connexion est caractérisé par la présence d'un en-tête de commande complet (adresse source et destination) dans chaque message. Chaque message sans connexion est autonome et ne dépend d'aucune action préalable ayant pour objet d'établir les paramètres de commande. En outre, le service sans connexion qui établit le canal sur la liaison de données définit les caractéristiques de commande de canal, source, destination et priorité de message pour un numéro de canal donné.

a-Transmission

Le mode S a un débit binaire montant de 4 Mbps et un débit descendant de 1Mbps. Toutes les interrogations et les réponses en mode S sont en rafale de données numériques de 56 ou 112 bits. Trois types de formats de communications en mode S existent (figure 2.5) :

- Interrogation et réponse de surveillance (56 bits)

N° de format (5 bits)	Surveillance et commande (27 bits)	Adresse/ Parité (24 bits)
--------------------------	---------------------------------------	------------------------------

- Interrogation COM-A et réponse COM-B (112 bits)

N° de format (5 bits)	Surveillance et commande (27 bits)	Champ de message COM- A (56 bits)	Adresse / Parité (24 bits)
--------------------------	---------------------------------------	---	-------------------------------

- Interrogation COM-C et réponse COM-D (112 bits)

N° de format (2 bits)	Contrôle ELM (6 bits)	Champ de message de COM-C (80 bits)	Adresse / Parité (24 bits)
--------------------------	--------------------------	---	-------------------------------

Figure 2.5 : Formats de messages en mode S

b- Stations sol

Les stations sol mode S utilisent des antennes tournantes ayant une période de balayage de 4 à 8 s et un faisceau de 3°. Elles accèdent à chaque aéronef sur la liaison de données pendant une durée d'éclairement d'environ 33 ms toutes les 4 secondes.

- **Débit moyen** : Une station sol mode S peut remettre jusqu'à huit messages COM-A ou seize messages COM-C par balayage à chaque aéronef se trouvant dans sa zone de couverture. Une telle station est adéquate pour la transmission des données qu'utilisent normalement les pilotes et les contrôleurs dans les communications ATC.
- **Délai d'accès** : Entre la station sol et le transpondeur, il peut atteindre la durée d'une période de balayage. Le délai moyen d'accès est donc la demi période de balayage de l'antenne. Pour les stations sol d'aéroport, la période de balayage va de 4 à 6s.

2-2 -5 PROTOCOLE DE COMMUNICATION

Pratiquement, les messages sont classés en deux : les messages de longueur standard (Short Length Message) relativement courte (56 bits) et les messages étendus (Extended Length Message) jusqu'à 1280 bits.

a- Protocole des messages SLM

▪ SLM montant

Dans le sens sol-air, les SLM chaînés comportent de 1 à 4 composants de messages COM-A de 56 bits chacun dans une interrogation COM-A distincte.

Chaque composant est accompagné de champs de commande qui fournissent un code d'identification de la station émettrice et de la position du composant dans le message.

▪ SLM descendant

Dans le sens air-sol, les messages peuvent être déclenchés de deux façons :

- ◆ par insertion d'un code dans son interrogation : le système sol peut demander des données à une source spécifiée à bord de l'aéronef ;
- ◆ Le système de données de bord déclenche un message à destination du sol en plaçant un code spécial dans le champ demande descendante de ses réponses aux interrogations de surveillance ou COM-A. Les stations sol reconnaissent ce code et lors d'une interrogation ultérieure, demandent que les données en question leur soient envoyées dans le champ message de COM-B.

b-Protocole des messages ELM

Les ELM peuvent comporter jusqu'à 1280 bits et sont transmis par segments de 80 bits. Ce système a été conçu pour chaîner jusqu'à 32 ELM qui permettra d'acheminer des messages de longueur pouvant atteindre 40 Kbits.

2-3 LE SOUS RESEAU VDL

Le sous réseau VDL (Very High Frequency Data Link) utilise, comme son nom l'indique, une liaison de données en VHF.

2-3-1 ÉNTITES COMMUNICANTES

La VDL [8] [9] est constituée d'une part, d'un sous système embarqué et d'autre part, d'un réseau de stations sol éloignées **RGS** (*Remote Ground Station*). La vue d'ensemble du système est représentée sur la figure 2.6.

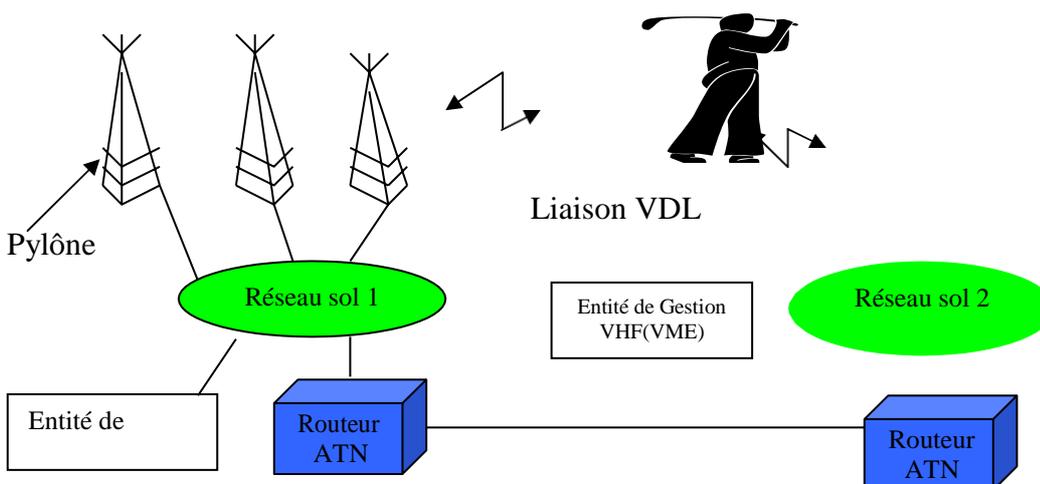


Figure 2.6 : Vue d'ensemble du système VDL

Comme la radio VHF fonctionne principalement en visibilité directe, son utilisation dans la communication air-sol se limite aux espaces aériens qui peuvent être desservis par des stations au sol.

Le sous système à bord fonctionne comme un terminal de communication mobile, qui établit et rétablit des connexions de liaison avec les stations sol capables d'assurer une connectivité fiable avec les **ETTD** (Equipements Terminaux de Traitement de Données ou routeurs air-sol. En fait, un aéronef en route vers sa destination finale doit établir des connexions avec un grand nombre de stations sol à mesure qu'il passe de la zone de couverture d'une RGS à celle d'une autre RGS. Vu les caractéristiques des communications VHF, les processus d'initialisation, de transfert et de terminaison du sous réseau VDL doivent être conçus de manière à minimiser les échanges radiofréquences.

2-3-2 ARCHITECTURE GENERALE

Le système VDL est fondé sur le modèle OSI et a donc été conçu selon une architecture en couche séparant les fonctions de la couche physique, de la couche liaison et de la couche réseau. Le système de modulation défini pour la couche physique VDL peut fonctionner avec les couches supérieures sans incidence sur la pile de protocoles. La couche commande de liaison AVLC (Aviation VHF Link Control) est conforme à la commande de liaison de données à haut niveau HDLC (High-level Data Link Control). L'AVLC a été optimisée pour tenir compte du fait que les terminaux du réseau VDL fonctionnent dans un environnement mobile et que la largeur de bande disponible est limitée (19 MHz). Le protocole de la couche réseau VDL utilisé sur le sous réseau air sol VHF est conforme à la norme ISO 8208.

2-3-3 METHODES D'ACCES

Le système de communication par liaison numérique VHF(VDL) est un des sous réseaux de communication air-sol qui peuvent être utilisés pour transmettre des données sur le réseau de télécommunications aéronautiques (ATN) entre les processus embarqués et leurs homologues au sol. Les fonctions de communication de données sont prises en charge par les protocoles de communication numérique employés par les émetteurs récepteurs VHF et l'avionique correspondante du système VDL. Actuellement, il existe trois modes VDL :

a-La VDL mode 1

Elle utilise la couche physique et les couches 2 et 3 de l'OSI avec un *protocole orienté bit*. Le protocole d'accès est le CSMA (Carrier Sense Multiple Access) avec un débit du canal de 2400 bps.

b-La VDL mode 2

Elle est basée sur une modulation numérique D8PSK. En mode 2, le débit sera de 1050 symboles /s ayant pour résultat un débit binaire nominal de 31500 bps pour la couche physique. Son protocole d'accès est aussi le CSMA.

c-La VDL mode 3

Pour la VDL mode 3, la méthode d'accès au canal est le TDMA (Time Division Multiple Access) permettant d'intégrer la voix et les données simultanément avec un débit de 9600 bps.

2-3-4 CARACTERISTIQUES D'EMISSION

La VDL utilise les fréquences radio dans la bande 117.975MHz-136.975MHz [10] ce qui met à disposition 760 canaux de 25KHz chacun.

Ainsi, la station d'aéronef peut prendre n'importe quel canal dans les 100 ms qui suivent la réception de commande.

Par ailleurs, les techniques de codage par blocs sont utilisées avec un taux d'erreurs maximal corrigé inférieur à 10^{-4} . Le Tableau 4 donne les caractéristiques d'émission nécessaires à la VDL en supposant une propagation en espace libre. Avec de telles intensités de champ, dans le volume de portée utile, la puissance rayonnée est suffisante.

Tableau 4 Caractéristiques nécessaires à la VDL

Système	Fréquence MHz	Tolérance sur la fréquence radio assignée [%]	Intensité du champ [$\mu\text{V/m}$]
Au sol	117.975 -136.975	± 0.0002	> 75
A bord	117.975 -136.975	± 0.0005	> 20

2-3-5- MODULATION D8PSK

a-Modulation VDL

La modulation de phase différentielle octovalente (D8PSK) est obtenue en combinant deux signaux RF en quadrature modulés indépendamment en amplitude avec suppression de porteuse au moyen d'impulsions filtrées en bande de base. Les filtres d'impulsion en bande de base ont une réponse en fréquence en forme de cosinus surélevé avec un facteur de largeur de bande excédentaire de 0.6. Cette caractéristique permet un haut degré de suppression de l'énergie du canal adjacent. L'information à transmettre sera codée différenciellement, chaque symbole (baud) représentera trois bits et sera transmis sous forme d'une variation de phase plutôt qu'une phase absolue (Tableau 5). Le train de données à transmettre sera divisé en groupes de trois bits d'informations consécutifs, le bit de poids faible en premier.

Tableau5 : Correspondance entre les différents symboles et phases

X_k	Y_k	Z_k	$\Delta\phi_k$
0	0	0	$0\Pi/4$
0	0	1	$\Pi/4$
0	1	1	$2\Pi/4$
0	1	0	$3\Pi/4$
1	1	0	$4\Pi/4$
1	1	1	$5\Pi/4$
1	0	1	$6\Pi/4$
1	0	0	$7\Pi/4$

b- Codage multiphase

Le système de modulation de la VDL utilise le Code de Gray pour appliquer ou assigner les trois bits d'information à un des huit états de phase possibles. Dans le

code de Gray, les phases adjacentes ne diffèrent que par un chiffre binaire (figure 2.7) et l'erreur ne se produit que sur un seul bit dans la séquence de trois bits. Le train de données entrant dans un codeur de données différentiel sera converti en trois trains binaires séparés X, Y et Z de sorte que les bits $3n$ forment X, les bits $3n+1$ forment Y et les bits $3n+2$ forment Z. Le triplet à l'instant k (X_k, Y_k, Z_k) sera converti en une variation de phase conforme au Tableau 5 et la phase absolue ϕ_k est la série des $\Delta\phi_k$ accumulés soit :

$$\phi_k = \phi_{k-1} - \Delta\phi_k \quad (2.1)$$

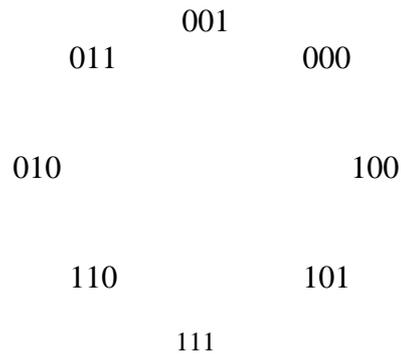


Figure 2.7 : Représentation des phases D8PSK avec codage Gray

Le signal en bande de base modulé en phase a pour équation [7]:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(\phi_k, t - kT_s) \quad (2.2)$$

où $h(o)$: est la réponse impulsionnelle du filtre ;

T_s : durée de chaque symbole ;

t : temps et $k \in \mathbb{N}$.

Ce signal $S(t)$ issu du filtre de forme d'impulsion modulera la fréquence porteuse.

c-Cadence de la VDL

Les modes VDL à Accès Multiple par Répartition dans le Temps (AMRT ou TDMA) utilisent l'horloge des symboles en bande de base pour maintenir la synchronisation pour l'accès au support. Dans ce cas, il est prévu que la tolérance de

l'horloge des symboles en bande de base pour l'équipement au sol prenant en charge l'AMRT devra être d'au moins $\pm 0.001\%$.

2-4 LE SOUS RESEAU SATELLITE AMSS

2-4-1 CONSTITUANTS DE L'AMSS

Le sous réseau AMSS (Aeronautical Mobile Satellite System) est composé de trois entités figure 2.8) :

- Les satellites ;
- Les stations terriennes d'aéronefs **AES** (Aircraft Earth Station) ;
- Les stations terriennes au sol **GES** (Ground Earth Station).

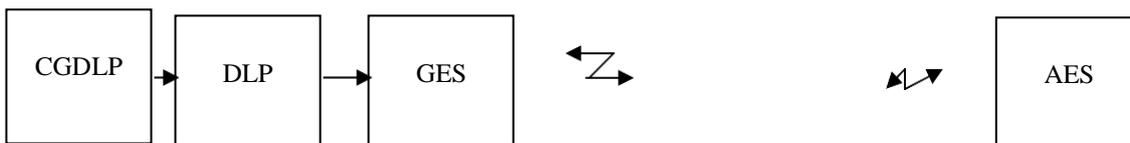


Figure 2.8 : Sous réseau satellite AMSS

a- Le segment satellite

Les satellites fournissent le relais des communications radio dans les deux sens entre les AES et les GES. Les satellites sont placés sur une orbite géostationnaire (38000 Km du centre de la terre), ce qui permet de fournir une couverture approximative de la latitude 75°N à 75°S, et éventuellement plus. La transmission entre le satellite et l'AES utilise les fréquences en bande L (1,5-1,6 GHz). Alors que pour les GES ce sont les fréquences en bande C (4-6GHz). La communication par satellite est actuellement assurée par les satellites de seconde génération d'INMARSAT (les satellites INMARSAT2) qui comportent une sous bande de 3 MHz.

b- Station terrienne d'aéronef (AES)

La fonction de l'AES est l'émission /réception et le traitement des signaux reçus ou à transmettre via le satellite en bande L. Les spécifications de l'AMSS sont basées sur quatre niveaux. Ces niveaux déterminent dans quelle mesure un usager peut utiliser les services de communication de données (bas ou haut débit) et/ou de voix. L'AES de niveau un est le plus simple. Elle ne permet que des communications de données à 600, 1200 ou 2400 bps à partir d'un seul canal et d'une antenne à faible gain. L'augmentation des niveaux s'accompagne d'une augmentation de la complexité, et notamment de l'emploi de plusieurs canaux fonctionnant à des débits de 4800 et 10500 bps. Pour de tels débits, l'utilisation d'une antenne à haut gain pointée en permanence sur le satellite est nécessaire. D'autre part, un surdimensionnement de l'amplificateur de puissance est obligatoire pour les AES offrant plusieurs canaux de transmission simultanés.

c- La station terrienne au sol (GES)

La GES assure la fonction de synchronisation et de coordination à travers les communications montantes (sol vers avion) et descendante (avion vers sol). Les connexions de la GES à divers réseaux de télécommunication permettent à l'avion de prendre contact avec n'importe quel usager raccordé à ces réseaux.

2 -4-2 LE PROTOCOLE AMSS

Les niveaux des protocoles utilisés dans le service de données sont appelés data 1, data 2 et ultérieurement data 3. La définition de ces protocoles est basée sur un sous-ensemble de spécifications d'INMARSAT.

Concernant les couches physiques et liaison de données du service, quatre types de canaux sont disponibles pour les communications entre les AES et les GES.

Le canal P fonctionnant en mode paquet à multiplexage dans le temps (TDM) est utilisé dans le sens montant. La transmission est permanente dans le sous réseau satellite avec un débit de transmission de 600 bps pouvant atteindre 10500bps. Dans tous les cas, au moins un canal P à 600bps par région océanique devra être disponible pour les AES de niveau 1.

Le canal R à accès aléatoire utilisé dans le sens descendant avec les débits de transmission allant de 600 bps à 10500bps véhicule des données de signalisation et quelques données utiles, tout particulièrement pour initialiser la transaction.

Le canal T à accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) n'est utilisé que dans le sens descendant. La GES réceptrice réserve des créneaux en temps pour la transmission demandée par l'AES selon la longueur du message à transmettre. Les débits de transmission possibles sont les mêmes que pour le canal R.

Le canal C fonctionnant en *mode circuit* à accès multiple par répartition en fréquence (FDMA) est utilisé en *duplex intégral* pour la transmission de la voix. Son débit de transmission est de 21000 bps.

Les fréquences ou les numéros des canaux utilisés par les GES (canaux P et R) doivent être configurés dans les AES au préalable. Les données utiles et la signalisation sont véhiculées sur les canaux satellite après formatage par la couche liaison à l'intérieur d'unités de signal (SU) de longueur standard. Elles sont composées de 12 octets pour les canaux P et T et de 19 octets pour le canal R. La plupart des messages de signalisation sont transportés à l'intérieur d'une seule SU. Les messages de données utiles plus longs sont transmis dans une séquence de plusieurs SU (jusqu'à 64) et appelés LSDU (Link Service Data Unit).

Remarque :

L'AMSS est assuré par INMARSAT et exploite le réseau de quatre satellites géostationnaires INMARSAT 2 [11] (Tableau 6) et quatorze stations sol (GES) pour satisfaire les besoins de compagnies aériennes (AOC), de l'Administration de l'Aviation Civile (AAC) et de communications des passagers (APC).

Notons que l'AMSS présente une couverture très large avec une bonne qualité de liaison permettant l'intégration de voix et de données. Mais quand même, le coût de GES est très élevé (10 millions de USD) et la puissance nécessaire élevée or les débits de données sont faibles.

Tableau 6 Les quatre stations satellites d'inmarsat pour l'AMSS

Région océanique	Satellite	Position	Date de lancement	Etat de mise en œuvre	Puissance isotrope rayonnée équivalente
Ouest de l'Océan atlantique	Inmarsat 2-F4	054.0°W	17 /04/92	Opérationnel	39dBW
Est de l'océan atlantique	Inmarsat 2-F2	015.5°W	08/03/91	Opérationnel	39dBW
Océan indien	Inmarsat 2-F1	064.5°E	30/10/91	Opérationnel	39dBW
Océan pacifique	Inmarsat 2-F3	178.0°E	16/12/91	Opérationnel	39dBW

2-4-3 MODULATION AMSS

Deux types de modulation [12] sont utilisés dans le service mobile aéronautique par satellite : la modulation par déplacement de phase binaire (BPSK) pour un débit de canal inférieur à 2,4 Kbps et la modulation par déplacement de phase en quadrature (QPSK) pour le débit supérieur à 2,4Kbps.

2-5 INTERCONNEXION DE TROIS SOUS RESEAUX ATN

L'interconnexion des sous réseaux de l'ATN [13] permet d'augmenter la disponibilité du système pour acheminer des données numériques dans les sens air-sol, sol-air et sol-sol (figure 2.9).

En outre, l'interconnexion de réseaux a pour but :

- ◆ D'étendre le réseau local au-delà de ses contraintes primaires (100m avec de l'ethernet sur paire torsadée, 185m sur coaxial...);
- ◆ D'interconnecter les réseaux locaux d'un même site, même s'ils sont d'architecture ou de topologie différente ;
- ◆ D'interconnecter des réseaux locaux distants en assurant la transparence de leur utilisation aux usagers ;
- ◆ De mettre en relation un réseau local avec un ordinateur hôte pour permettre à une station d'avoir accès aux données du réseau distant ou inversement ;
- ◆ D'interconnecter des hôtes d'architectures propriétaires différentes.

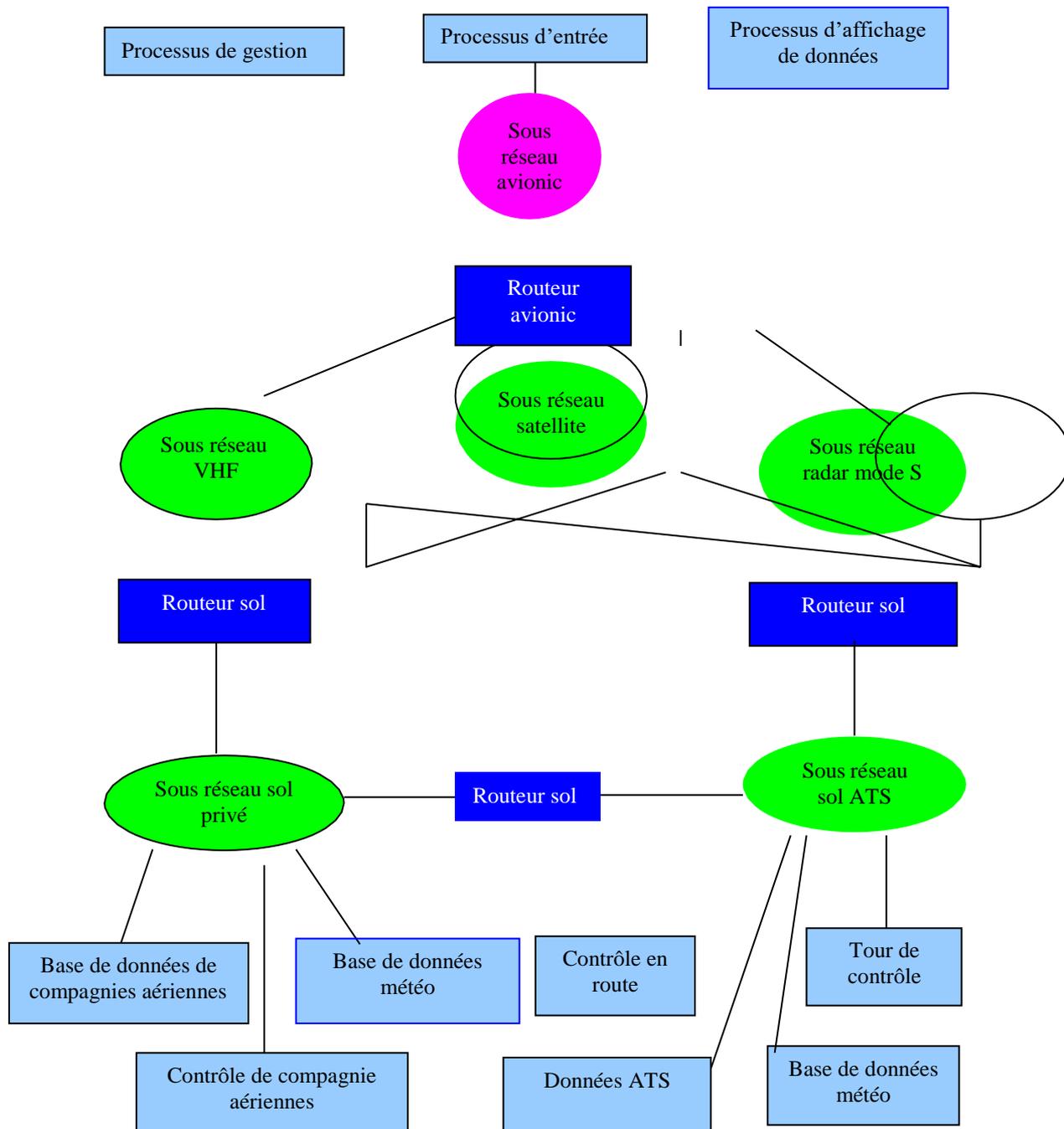


Figure 2.9 : Exemple d'interconnexion des sous réseaux de l'ATN

En interconnectant des réseaux hétérogènes le partage des services offerts par un ensemble de réseaux est assuré, tout en respectant l'indépendance de ces différents réseaux.

CONCLUSION

L'interconnexion des sous réseaux de l'ATN (AMSS, VDL, Radar mode S) avec le réseau actuel est assurée par les routeurs ATN qui fonctionnent avec les trois couches basses de l'OSI. L'ATN prévoit la compatibilité avec la future évolution de la télécommunication aéronautique. Une étude détaillée de la performance de l'ATN est nécessaire pour mieux connaître son comportement tant dans le plan technique qu'opérationnel. Le troisième chapitre est axé sur cette étude.

CHAPITRE III

ETUDE DE PARAMETRES INFLUENTS SUR LA PERFORMANCE DU RESEAU ATN

Le numero 1 mondial du memoires

www.rapport-gratuit.com

clubmemoire@gmail.com



Ce troisième chapitre englobe l'étude des trois paramètres (disponibilité, efficacité et délai d'acheminement) qui permettent l'évaluation de la performance du réseau ATN pour le cas de Madagascar.

3-1 ETUDE DE LA DISPONIBILITE

3-1-1 DEFINITION

La disponibilité de chaque composant de réseau est définie comme étant le rapport :

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.1)$$

Où le MTBF (Mean Time Between Failure) désigne son temps moyen de bon fonctionnement et MTTR (Mean Time To Repair) son temps moyen de réparation..

Tandis que son indisponibilité est donnée par :

$$I = 1 - A \quad (3.2)$$

D'où

$$I = \frac{MTTR}{MTBF} \quad (3.3)$$

Ainsi pour rendre un système plus efficace, il suffit d'augmenter son temps de bon fonctionnement ou diminuer son indisponibilité. Le calcul de la disponibilité globale d'un réseau dépend de sa structure (série, parallèle ou mixte).

a-Structure série

Soit n composants disposés en série et ayant chacun une disponibilité A_i (Figure 3.1).

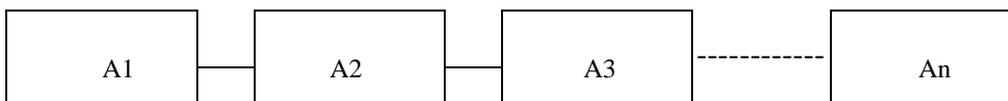


Figure 3.1 : Structure en série

La disponibilité résultante AR [] s'obtient par la multiplication des Ai ::

$$A_t = \prod_{i=1}^n A_i \quad (3.4)$$

Notons que A_t est inférieure à la plus petites des A_i .

L'indisponibilité est alors :

$$I_t = 1 - A_t \quad (3.5)$$

b-Structure parallèle

Dans le cas où les n composants sont en parallèle (figure 3.2), l'indisponibilité résultante du système est donnée par :

$$I_t = I_1 . I_2 \dots I_n = \prod_{i=1}^n I_i \quad (3.6)$$

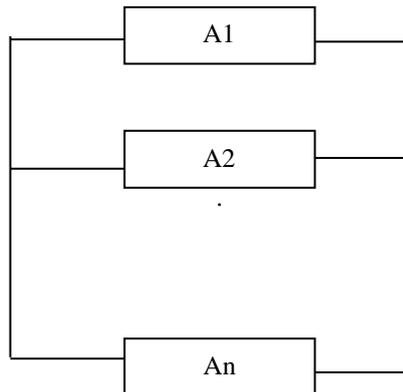


Figure 3.2 : Structure parallèle

Et la disponibilité du système est alors :

$$A_t = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i) \quad (3.7)$$

3-1-2 TOPOLOGIE LOGIQUE DE L'ATN POUR MADAGASCAR

Rappelons que Madagascar dispose de quatre aérodrômes contrôlés et dix huit aérodrômes protégés (chapitre 1). Ils possèdent tous des services d'information de vol et des services d'alerte. Mais, quatre seulement disposent de services de contrôle.

La mise en place d'un réseau ATN pour Madagascar vise, entre autres, l'amélioration de ces services. Une proposition de topologie est fournie sur la figure 3.3.

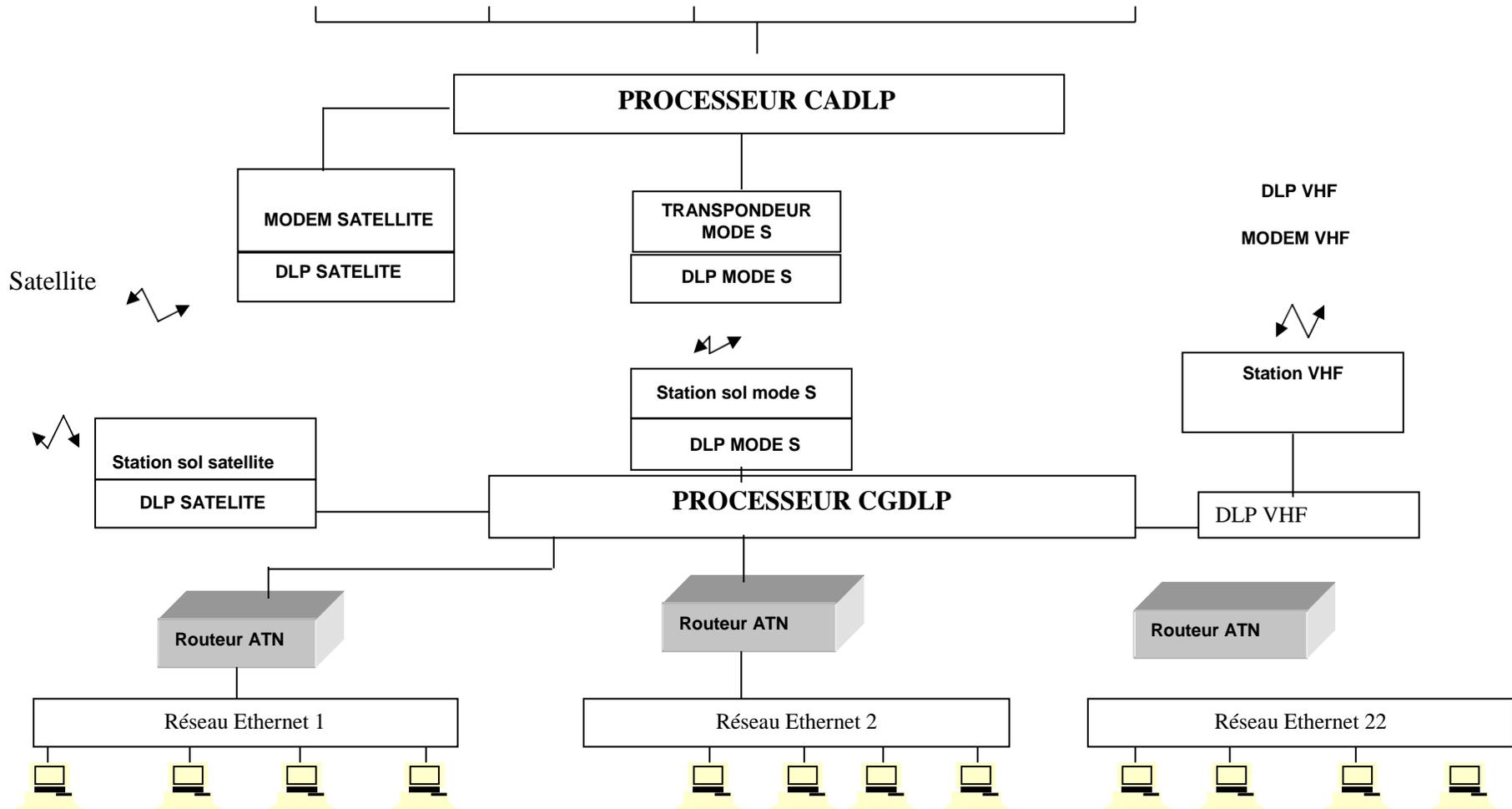


Figure 3.3 : Topologie de l'ATN de Madagascar

Dans ce modèle, nous avons recours à deux processeurs :

- ◆ Le CGDLP (Common Ground Data Link Processor) du côté sol ;
- ◆ Le CADLP (Common Airborne Data Link Processor) du côté embarqué.

Ces deux éléments clés de l'ATN jouent le rôle de concentrateur. Signalons que ces deux processeurs peuvent gérer un ou plusieurs DLP (Data Link Processor) et que chaque DLP est capable de gérer un ou plusieurs stations au sol ou à bord.

Par ailleurs, des réseaux ethernet apparaissent dans la figure 3.3. Les détails de ces réseaux sont fournis en *Annexe 8* En fait, les aéroports de Madagascar seront équipés de réseaux Ethernet fonctionnant à 10 Mbps ou 10BaseX avec X pouvant être T ou 2 ou 3. Ainsi, les aéroports internationaux de Madagascar (Ivato, Mahajanga, Toamasina, Taolagnaro, Nosy-Be et Toliary) seront dotés de réseau local Ethernet (figure 3.4).

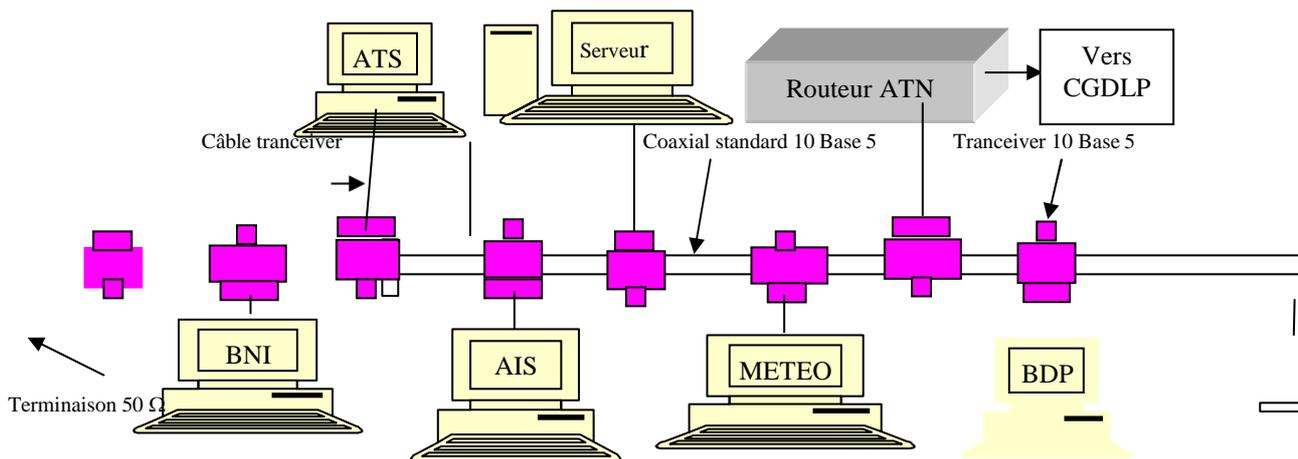


Figure 3.4 : Principaux éléments du réseau ethernet des aéroports internationaux

Dans ce cas, le service de contrôle de la circulation aérienne(ATS), le service d'information aéronautique(AIS), le service météorologique(MET), le bureau NOTAM international (BNI) et le bureau de piste (BDP) doivent disposer chacun un ou plusieurs terminaux pour consulter ou introduire les messages aéronautiques. En effet, les messages d'alerte et de contrôle émanent du service ATS, les NOTAMS et les autres informations aéronautiques sont déposés et /ou consultés auprès du BNI, les messages météorologiques (METAR, TAF, SIGMET, Avertissement d'aérodrome, Avertissement de cisaillement du vent) sont fournis par le service météorologique d'aérodrome et finalement, trente minutes avant le départ, les plans de vol sont déposés au bureau de

piste. Etant donné que l' ethernet standard dont les caractéristiques sont données au tableau 7 est facile à réaliser et convient mieux à l'aviation.

Tableau 7 : Caractéristique de câblage ethernet standard

TYPE	Support	Norme IEEE	Longueur max d'un segment	Nombre max de trancivers par segment	Longueur max d'un câble de tranciver	Distance min entre deux trancivers
Ethernet standard	Câble coaxial 50 Ω	802.3 10Base 5	500 m	100	50m	2,5m

Chaque extrémité de bus est fermée par une résistance de terminaison (terminator) d'une impédance de 50 Ω pour éviter toute réflexion du signal en bout de ligne. Les connexions de chaque équipement à un câble commun sont assurées par des transceivers limitant le risque de pannes. Le câble commun peut être un bus unidirectionnel. La transmission à toutes les stations est assurée par l'existence de deux canaux séparés ou un bus bidirectionnel dans lequel les informations peuvent circuler dans les deux sens.

Les aérodromes principaux (Antsiranana, Sambava, Antalaha, Vohémar, Maroantsetra, Mananara-Nord, Ambatondrazaka, Sainte Marie, Fianarantsoa, Mananjary , Manakara, Farafangana, Manakara, Morondava, Morombe, Maintirano, Antsirabe et d'Antsohihy) ne disposent que les services d'alerte et d'information de vol. Ainsi, le nombre de terminaux est limité par rapport à celui des aéroports internationaux mais la topologie reste la même (figure3.4).

Remarque : Les autres aérodromes lesquels ne sont pas concernés parce qu' ils ne disposent pas de liaison téléphonique et de source d'énergie. L'accès à ces aérodromes n'est pas encore contrôlé et/ou protégé.

3-1-3 MODELISATION DU RESEAU ATN

a- Communication air-sol et sol-air

Pour que le système d'extrémité sol puisse se communiquer avec le système d'extrémité air, et vice versa, les différents éléments dans lesquels les informations transitent sont donnés dans la figure 3.5.

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

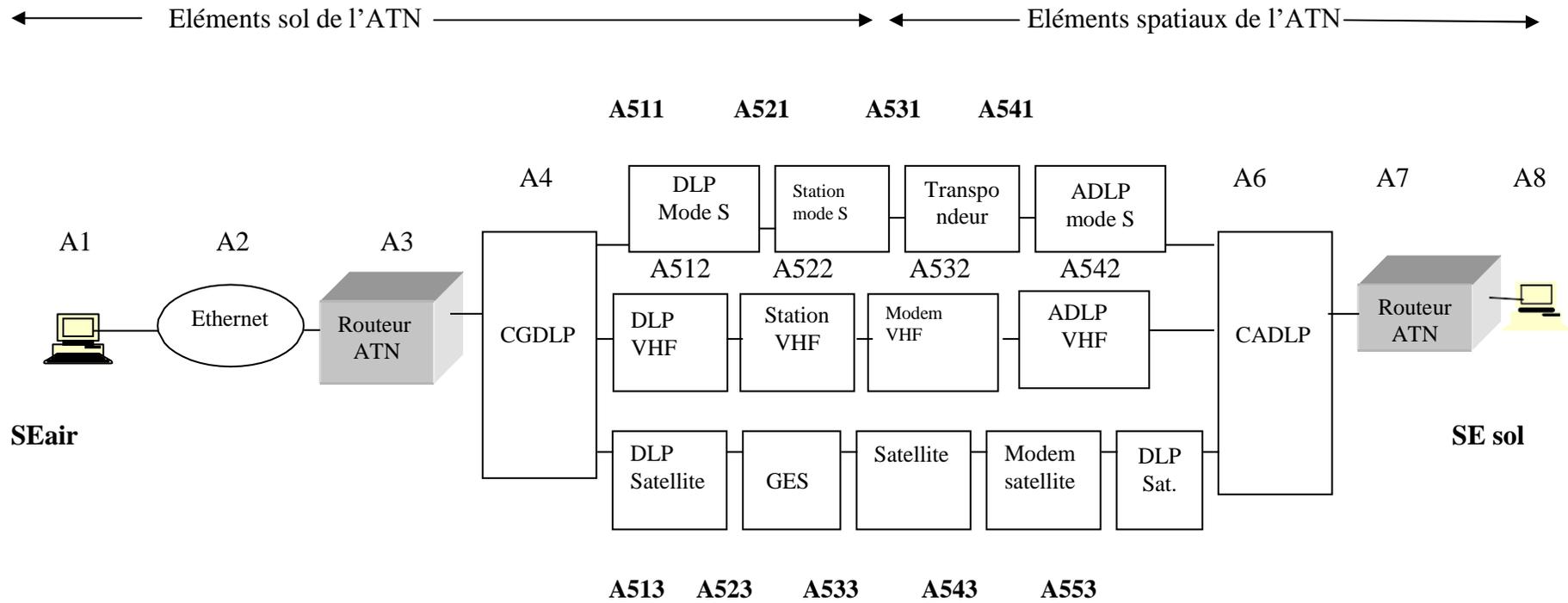


Figure 3.5 : Différentes étapes pour la communication entre deux systèmes d'extrémités

b-Communication sol-sol

Pour que le système d'extrémité sol puisse se communiquer avec un autre système d'extrémité sol, et vice versa, les différents éléments dans lesquels les informations transitent sont donnés dans la figure 3.6.

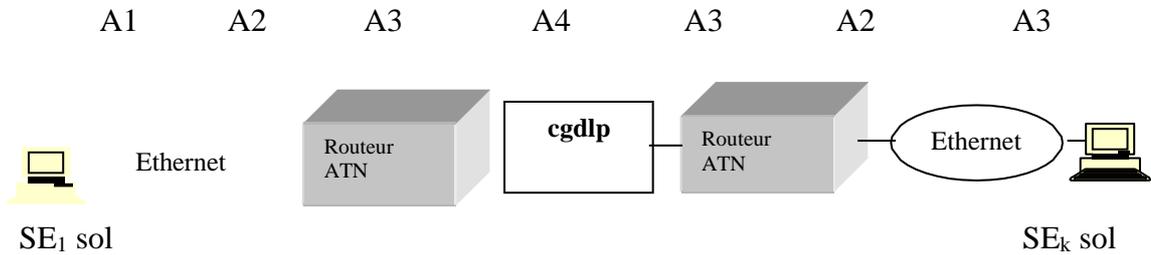


Figure 3.6 : Différentes étapes de la communication sol-sol

3-1-4 SIMULATION DE LA DISPONIBILITE

a-Données de constructeurs

Les données sont fournies par Thalès et Sofréavia [27], deux sociétés européennes spécialisées en la construction et installation des équipements des télécommunications aéronautiques ■

Tableau 8 : Les MTBF et MTTR des éléments constitutifs de l'ATN

SEGMENT SOL	MTBF [heures]	MTTR [heures]
Terminal (ordinateur)	4800	2
Réseau ethernet 10Mbps	4800	2
Routeur ATN	4800	5
Common Ground Data Link Processor (CGDLP)	4800	24
DLP mode S	2400	8
Station mode S (interrogateur)	2400	8
DLP VHF	4760	5
Station VHF	4760	5
DLP satellite	2575	5
Station terrienne (GES)	2575	5

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

SEGMENT SPATIAL	MTBF [heures]	MTTR [heurs]
Transpondeur	2400	8
ADLP mode S	2400	8
Modem VHF	4760	5
ADLP VHF	4760	5
Satellite	12000	24
Station satellite embarqué (AES)	2575	5
ADLP satellite	2575	5
Common airborne data link Processor(CADLP)	4800	24
Routeur ATN	4800	5
Réseau à bord	4800	2
Terminal de bord	4800	2

Ces données servent comme de données de base de la simulation qui est réalisée sous le logiciel MATLAB (*Annexe 6*). Elle donne le calcul de disponibilité et d'indisponibilité du réseau ATN.

h- Expression de la disponibilité

i) Cas air-sol

Pour que le système d'extrémité sol puisse se communiquer avec le système d'extrémité air, et vice versa, les différents éléments dans lesquels les informations transitent sont donnés dans la figure 3.7. Le tableau 9 suivant représente les sept cas possibles.

Tableau 9 : Les sept cas de communications possibles dans les sens air-sol et sol-air

CAS	1	2	3	4	5	6	7
VOIES							
Radar	D	D	ND	D	D	ND	ND
VDL	D	D	D	ND	ND	D	ND
Satellite	D	ND	D	D	ND	ND	D

D : disponible

ND : non disponible

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

Les expressions de la disponibilité résultante et de l'indisponibilité résultante sont données dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Les expressions de la disponibilité et de l'indisponibilité de l'ATN

CAS	DISPONIBILITE TOTALE A_T	INDISPONIBILITE TOTAL I_T
1	$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times (1 - (1 - A_5') (1 - A_5'') (1 - A_5''')) \times A_6 \times A_7 \times A_8$	$I_T = 1 - A_T$
2	$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times (1 - (1 - A_5') (1 - A_5'')) \times A_6 \times A_7 \times A_8$	$I_T = 1 - A_T$
3	$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times (1 - (1 - A_5'') (1 - A_5''')) \times A_6 \times A_7 \times A_8$	$I_T = 1 - A_T$
4	$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times (1 - (1 - A_5') (1 - A_5''')) \times A_6 \times A_7 \times A_8$	$I_T = 1 - A_T$
5	$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5' \times A_6 \times A_7 \times A_8$	$I_T = 1 - A_T$
6	$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5'' \times A_6 \times A_7 \times A_8$	$I_T = 1 - A_T$
7	$A_T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5''' \times A_6 \times A_7 \times A_8$	$I_T = 1 - A_T$

Avec $A_5' = A_{511} \times A_{521} \times A_{531} \times A_{541}$

$$A_5'' = A_{512} \times A_{522} \times A_{532} \times A_{542}$$

$$A_5''' = A_{513} \times A_{523} \times A_{533} \times A_{543} \times A_{553}$$

ii) Cas sol-sol

La disponibilité totale du réseau est donnée par la formule :

$$A_T = (A_1 \times A_2 \times A_3)^2 \times A_4$$

c- Résultats

i) Cas air-sol

La simulation est réalisée sous le logiciel MATLAB (Annexe 6). Elle donne le calcul de disponibilité et d'indisponibilité du réseau ATN.

La disponibilité totale du réseau ATN sera étudiée pour chaque cas pour mettre en relief si l'utilisation d'un CGDLP et CADLP permet d'accroître la disponibilité de l'ATN. Les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau 11.

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

Tableaux 11 : Résultats de la deuxième simulation

	Disponibilité totale At	Indisponibilité totale It	Observations
CAS1 : -radar -VDL -Satellite	0.9867805	0.013219	Supérieure à la disponibilité du réseau actuel (0.95)
CAS2 : -radar -VDL	0.986726	0.013276	Supérieure à la disponibilité du réseau actuel (0.95)
CAS3 : -VDL -Satellite	0.986654	0.013345	Supérieure à la disponibilité du réseau actuel (0.95)
CAS4 : -Radar -Satellite	0.986654	0.013345	Supérieure à la disponibilité du réseau actuel (0.95)
CAS5 : -Radar	0.973732	0.0262670	Supérieure à la disponibilité du réseau actuel (0.95)
CAS6 : -VDL	0.982645	0.0173541	Supérieure à la disponibilité du réseau actuel (0.95)
CAS7 : -Satellite	0.977199	0.0228005	Supérieure à la disponibilité du réseau actuel (0.95)

ii) Cas sol-sol

Pour la communication sol-sol, la simulation est réalisée par le logiciel MATLAB (*Annexe 9-c*) pour calculer la disponibilité et de l'indisponibilité du réseau ATN. Le résultat montre que la disponibilité totale est de 0.99130193 pour l'ATN contre 0.95 pour le réseau actuel et l'indisponibilité : 0.008698061 pour l'ATN contre 0.05 pour le réseau actuel.

d-Conclusion

i) Cas air-sol

Au vu de ces résultats, les points suivants sont à mettre en exergue :

Cas 1 : Lorsque les trois sous réseaux de l'ATN sont en bon fonctionnement, la disponibilité du réseau ATN est optimale (0.98678) contre 0.95 pour le réseau actuel. La mise en place de l'ATN entraîne donc l'amélioration de la communication éronautique ■

Cas 2,3 et 4 : Si l'un des trois sous réseaux est en panne, la disponibilité varie de 0.986726 à 0.986754. Ces valeurs sont légèrement inférieures à celle du cas 1. Mais la disponibilité est encore meilleure que celle du réseau actuel. Du point de vue économique, le cas 3 est le moins cher. En cas de difficulté financière d'un pays, il est

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

préférable de mettre en place un réseau ATN restreint comprenant un sous réseau VDL et un sous réseau satellite grâce à son coût abordable et à sa couverture remarquable, même si sa disponibilité est légèrement inférieure à la valeur optimale.

Cas 5, 6 et 7 : Si un seul sous réseau de l'ATN est fonctionnel, la disponibilité du système est encore plus performante que celle du réseau actuel (0.973732 à 0.982645 contre 0.95). Mais du point de vue économique, la mise en place du sous réseau VDL est moins cher que celle de sous réseaux satellite et radar. Or sa couverture est réduite par rapport à celle du sous réseau satellite.

ii) Cas sol-sol

Deux conclusions peuvent être tirées de ce résultat :

- la disponibilité des réseaux sol est supérieure à celle des réseaux air-sol (0.991301 contre 0.9867805) ;
- l'utilisation de l'ATN permet d'améliorer la disponibilité d'infrastructure au sol de télécommunication aéronautique

3-2 ETUDE DE L'EFFICACITE

3-2-1 DEFINITION DE L'EFFICACITE

L'efficacité du protocole en mode de base [10] sans erreur est le rapport entre le nombre de bits utiles transmis et le nombre de bits qui auraient pu être transmis.

Deux cas sont à considérer : le cas sans erreur et le cas avec erreur. Le calcul utilise le tableau des symboles (Tableau 12)

Tableau 12 : Symboles utilisés

Symboles	Signification	Unités
U	Données utiles	Bits
G	Données de Gestion de protocole	Bits
t _t	Temps de traversée des équipements	Seconde
D	Débit du système	Bps
K	Réception de l'accusé de réception	Bits

L'efficacité du protocole en mode de base sans erreur E_s est donnée par le rapport entre le nombre de bits transmis sur le nombre de bits qui auraient pu être transmis :

$$E_s = \frac{U}{U+S} \quad (3.8)$$

Où $S=G+K+Dxt_t$ (3.9)

Par contre, l'efficacité du protocole en mode de base avec erreur E_e doit tenir compte de la probabilité t_e pour qu'un bit soit erroné. Bien entendu, la probabilité pour qu'un bit soit correctement transmis est donnée par son complément à 1 ($1-t_e$).

Ainsi, la probabilité pour que M bits soient correctement transmis devient :

$$P_1 = (1-t_e)^M \quad (3.10)$$

$$M=U+G \quad (3.11)$$

Et la probabilité pour que l'accusé de réception soit correctement transmis est de :

$$P_2 = (1-t_e)^K \quad (3.12)$$

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

A partir de p_1 et p_2 , la probabilité pour que M bits soient correctement transmis devient :

$$P = p_1 \times p_2 \quad (3.13)$$

E_r est obtenue par :

$$E_r = E_s \times p \quad (3.14)$$

3-2-2 DETERMINATION DE LA FENETRE W

La taille de la fenêtre W de chaque voie est obtenue par le rapport entre T_a (le temps entre l'émission du premier bit de la trame N et le premier bit de la trame $N+1$) et T_b (temps d'émission d'un bloc) :

$$W = \frac{T_a}{T_b} \quad (3.15)$$

$$T_a = T_b + T_t + K/D \quad (3.16)$$

$$T_b = (U+G)/D \quad (3.17)$$

3-2-3 SIMULATION DE E_s , E_r et W

a-Données de base

Les données de base sont récapitulées dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Données de base pour le calcul de l'efficacité

Nom de la voie	Longueur d'un bloc [octets]	Débit [bps]	BER	Données de gestion G [bits]	Réception de données d'acquisition de réception ACK [bits]	Temps de traversée des équipements d'un SE à un autre SE [ms]
Voie satellite	5100	10500	0.0001	716	48	700
Voie radar montante	80	4194304	0.0001	32	48	0.5
Voie radar descendante	80	1048576	0.0001	32	48	0.5
Voie VDL	1200	31500	0.001	104	48	50

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

Ces données sont introduites dans le logiciel MATLAB (*Annexe 7*) pour le calcul de l'efficacité du réseau ATN avec ou sans erreur et pour la détermination de la dimension de fenêtre pour chaque voie.

h- Résultats

Les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau 14

Tableau 14 : Résultats de l'étude de l'efficacité

Voie	Es	Er	W
Satellite	0.3859	0.2147	2.45
Radar	0.1169	0.1150	8.15
VDL	0.4099	0.1059	2.35

c- Conclusion

- ◆ En terme d'efficacité selon les résultats obtenus, la voie VDL est la plus efficace (0.40997608472839) puis la voie satellite (0.38595429090359) et vient finalement la voie radar (0.11690983913206). Ceci justifie encore que les deux premières voies sont très intéressantes pour le réseau ATN.
- ◆ L'efficacité de la transmission est maximale lorsqu'il n'y a pas d'arrêt de l'émission pendant le temps d'attente de l'accusé de réception (ACK). Cette condition est satisfaite pour les tailles de fenêtre optimale 3 pour la voie, 28 ou 9 pour la voie radar et 3 pour la voie VDL. Ce sont les nombres de trames à transmettre pour que l'émission soit continue d'après les résultats obtenus.

3-3 ETUDE DU DELAI D'ACHEMINEMENT

Le réseau ATN fonctionne en commutation par paquets en mode connecté. Il est donc nécessaire de connaître le délai d'acheminement de chaque type de message aéronautique.

3-3-1 HYPOTHESES POUR LA SIMULATION

Pour passer d'un système d'extrémité à un autre, trois chemins sont disponibles, soit en empruntant la voie radar, soit en empruntant la voie VHF, soit en choisissant la voie satellite (figure 3.7) pour les communications sol-air et air-sol.

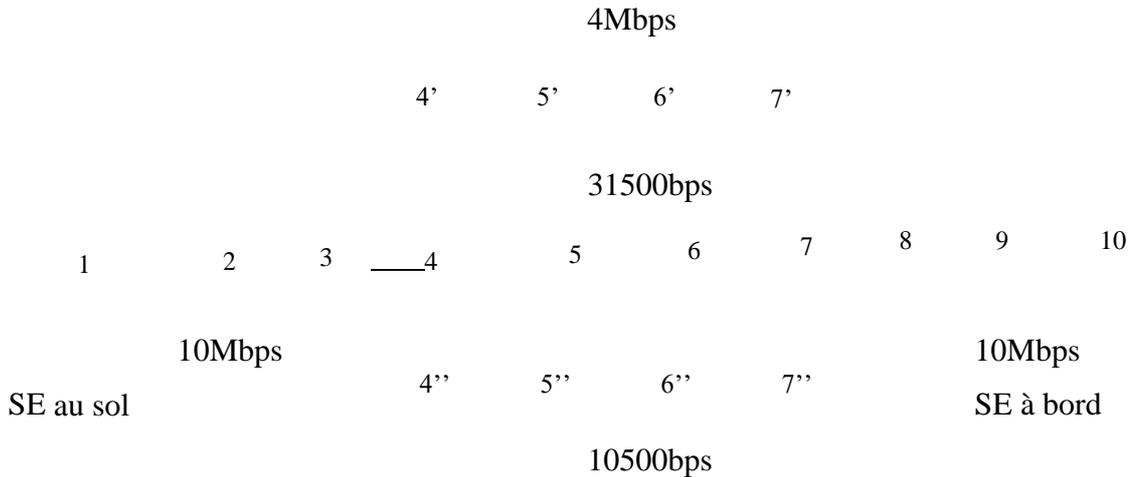


Figure 3.7 : Réseau ATN avec les débits de chaque voie

Pour la communication sol-sol, la communication se fait en passant par le CGDLP (figure 3.8).

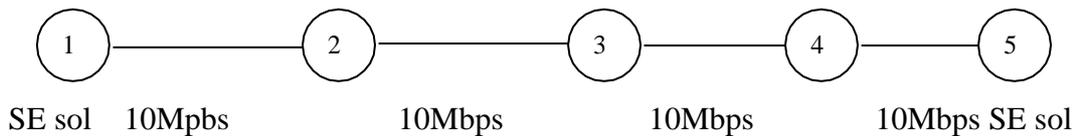


Figure 3.8 : Différentes étapes pour la communication sol-sol

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- pour la voie radar, le débit montant est de 4 Mbps et celui descendant de 1 Mbps avec un paquet de 112 bits [16];
- pour la voie satellite, le canal C avec un débit de 10500 bps et un paquet long de 5816 bits sont utilisés pour les communications montante et descendante [17] ;
- pour la voie VDL, le débit est de 31500bps et le paquet a une longueur de 1408 bits [18];

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

- pour le réseau ethernet le débit est de 10Mbps et la longueur d'un paquet est de 1304 bits [19].

Les formats de transmission adoptés sont résumés dans le Tableau 15.

Tableau 15 : Les formats de transmission adoptés pour la simulation

Voies	En-tête [bits]	Données [bits]	En-queue [bits]
Satellite	566	5100	150
Radar	8	80	24
VDL	176	1200	32
Ethernet	80	1200	24

Pour la communication sol-air, les réseaux embarqués et les réseaux au sol ont une topologie en bus avec un débit binaire de 10Mbps tandis que pour les sous réseaux ATN, la voie radar a un débit de 4Mbps, la voie VDL fonctionne avec un débit de 31500 bps et la voie satellite avec un débit de 10500bps.

Ces données sont introduites dans le logiciel MATLAB. Les détails se trouvent dans l'Annexe 9-a et 9-b.

3-3-2 RESULTATS DU DELAI DE COMMUNICATION

a-Cas sol-air

Tableau 16 : Résumé du délai d'acheminement pour la communication sol-air

N°	Nom du message	Longueur moyenne du message [octet]	Délai d'acheminement en commutation de paquets d'un SE sol vers un SE embarqué [seconde]		
			Voie satellite (ts)	Voie radar (tr)	Voie VDL (tv)
1	ARR	292	3.01086	0.00246	0.20832
2	ADM	810	3.56557	0.00452	0.33332
3	BM	2399	5.78415	0.01188	0.79164
4	CNL	272	2.45669	0.00187	0.16666
5	CHG	272	2.45669	0.00187	0.16666
6	DEP	348	2.45696	0.00233	0.20832
7	DLA	272	2.45669	0.00187	0.16666
8	DET	1814	4.67526	0.00894	0.62498
9	ELT	612	3.01140	0.00358	0.29165
10	FPL	727	3.01140	0.00382	0.29165
11	NTM	684	3.01140	0.00380	0.29165
12	OVRFL	755	3.56657	0.00431	0.33333
13	QFA	952	3.56584	0.00503	0.37498
14	SVC	272	2.45669	0.00187	0.16666
Délai moyen en seconde			3.24894	0.00415	0.31546

b-Cas air-sol

Tableau 17 : Résumé du délai d'acheminement pour la communication air-sol

N°	Nom du message	Longueur moyenne du message [octet]	Délai d'acheminement en commutation de paquets d'un SE embarqué vers un SE sol [seconde]		
			Voie satellite (ts)	Voie radar (tr)	Voie VDL (tv)
1	ARR	292	3.01086	0.00582	0.20832
2	ADM	810	3.56557	0.01165	0.33332
3	BM	2399	5.78415	0.03223	0.79164
4	CNL	272	2.45669	0.00427	0.16666
5	CHG	272	2.45669	0.00427	0.16666
6	DEP	348	2.45696	0.00529	0.20832
7	DLA	272	2.45669	0.00427	0.16666
8	DET	1814	4.67526	0.02368	0.62498
9	ELT	612	3.01140	0.00871	0.29165
10	FPL	727	3.01140	0.00967	0.29165
11	NTM	684	3.01140	0.00957	0.29165
12	OVRFL	755	3.56657	0.01080	0.33333
13	QFA	952	3.56584	0.01288	0.37498
14	SVC	272	2.45669	0.00427	0.16666
Délai moyen en seconde			3.2489	0.01053	0.31546

c-Cas sol-sol

Pour la communication sol-sol, le délai d'acheminement de chaque catégorie de messages est calculé à l'aide du programme de l'Annexe 9-c et les résultats obtenus sont récapitulés dans le Tableau 18.

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

Tableau 18 : Résumé du délai d'acheminement pour la communication sol-sol

N°	Nom du message	Longueur moyenne du message [octet]	Délai d'acheminement en commutation de paquet d'un SE sol vers un SE sol [seconde]
1	ARR	292	0.000805
2	ADM	810	0.001208
3	BM	2399	0.002685
4	CNL	272	0.000671
5	CHG	272	0.000671
6	DEP	348	0.000805
7	DLA	272	0.000671
8	DET	1814	0.002148
9	ELT	612	0.001074
10	FPL	727	0.001074
11	NTM	684	0.001074
12	OVRFL	755	0.001208
13	QFA	952	0.001342
14	SVC	272	0.000671
Délai moyen en seconde			0.001150

3-3-3 CONCLUSION

a-Cas sol-air

- ◆ Pour la voie satellite le délai d'acheminement de message varie de 2.4566 s à 5.7841s soit en moyenne 3.2489 s.
- ◆ Quant à la voie radar ce délai oscille entre 1.87 et 11.88 ms soit en moyenne 4.15ms.
- ◆ En ce qui concerne la voie VDL, ce délai va de 166.6 à 791.6ms soit en moyenne 315.46ms.
- ◆ Par comparaison, parmi ces trois sous réseaux, la voie radar est la plus rapide pour la liaison de données numériques, vient ensuite la voie VDL et finalement la voie satellite.
- ◆ A noter que le réseau radar est sept cent quatre vingt un fois plus rapide que le réseau satellite et le réseau VDL est dix fois plus rapide que le réseau satellite. Pour la communication aéronautique, chaque message a sa priorité (SS, DD, FF, GG, KK). La voie radar est très intéressante pour la transmission de messages courts (SLM) de haute priorité (SS ou DD) grâce à sa rapidité tandis que la voie satellite convient au mieux pour la transmission de messages aéronautiques longs (ELM)

Etude de paramètres influents sur la performance du réseau ATN

de faible priorité (FF, GG ou KK). La voie VDL est une alternative entre les deux.

Par rapport au réseau actuel dont la durée d'acheminement peut atteindre deux ou trois minutes, le réseau ATN est largement plus rapide et plus efficace.

b-Cas air-sol

- ◆ Pour la voie satellite et la voie VDL, le délai d'acheminement des messages est identique soit dans le sens montant (communication sol-air) soit dans le sens descendant (communication air-sol). Ce délai varie de 166.6ms à 5.78415s.
- ◆ Pour la voie radar, le délai d'acheminement va de 4.27ms à 32.23ms.
- ◆ Pour le réseau actuel, le délai d'acheminement de chaque message peut atteindre quelques minutes (2 à 5mn). Ceci nous montre que le recours à l'ATN répond mieux au problème de retard de transmission.
- ◆ Malgré le coût élevé de l'ATN (deux à trois fois plus que celui du réseau actuel), de point de vue économique son amortissement ne pose aucun problème grâce à l'incessant accroissement du trafic actuel.
- ◆ Par comparaison entre les voies, la voie VDL est dix fois plus rapide que la voie satellite, la voie radar est trois cent huit fois plus rapide que la voie satellite et enfin la voie radar est trente fois plus rapide que la voie VDL.

c-Cas sol-sol

- ◆ Au vu de ces résultats, la communication sol-sol est très rapide dont le délai d'acheminement s'échelonne de 0.671 à 2.685ms
- ◆ La communication sol-sol est très rapide par rapport à la communication air-sol ou sol-air car le ratio varie de 9 à 2823.
- ◆ En statistique, une valeur est dite exceptionnelle si sa valeur n'appartient pas à la fourchette de valeur moyenne plus ou moins de l'écart type. Dans cette étude, les longueurs de message BM (bulletin météorologique) et DET (message de détresse) ont une longueur exceptionnelle. Le message BM est émis en cas de cyclone tropical qui est très dangereux pour le transport aérien tandis que le message DET (message de détresse) est émis en cas d'incidents ou d'accidents imminents des aéronefs en vol.

3-4 CONCLUSION

En tenant compte des paramètres disponibilité, efficacité, couverture et délai d'acheminement le réseau ATN permet de résoudre tous les problèmes du réseau actuel. Sa mise en place exige une volonté politique de la part de l'état et de techniciens de très hauts niveaux pour sa maintenance et de formation adéquate et suffisante pour son exploitation.

CONCLUSION

Le réseau aéronautique actuel de Madagascar présente beaucoup de lacunes et des carences qui ont une conséquence néfaste à la sécurité et à l'efficacité de la navigation aérienne. Son exploitation est tributaire de conditions atmosphériques, lente, source de nuisance sonore et ne répond plus aux besoins actuels des usagers. Les messages sont alors en souffrance. Pour y remédier, le recours à l'ATN est indispensable. Ceci est basé sur l'interconnexion de trois sous réseaux de l'ATN (réseau satellite, réseau VDL et réseau radar) et le réseau existant. L'ATN est un concept fondamental pour l'avenir des télécommunications aéronautiques et de la Gestion du Trafic aérien. Il rendra possible les échanges d'information dans les régions océaniques ou désertiques et permettra d'optimiser l'utilisation de l'espace aérien ainsi que le niveau de sécurité du transport aérien.

En outre, il permettra l'utilisation à bord d'un avion en vol de services de communications tels que la consultation de bases de données au sol pour l'accès à des données météo (TAF, METAR) ou aéronautiques (NOTAM) et fera en sorte que services ATC et compagnies aériennes puissent directement échanger des informations via un système de télécommunication unique.

Quant à l'architecture et l'utilisation de ce futur environnement de télécommunication, les processus de certification des systèmes sont longs et complexes, la mise en place de l'ATN va de pair avec la mise en place du radar mode S, du réseau satellite et de la VHF, tout ceci fait que les premiers véritables réseaux ATN à Madagascar ne verront les jours que vers le début de l'année 2005. Ce nouveau système permet d'améliorer la disponibilité, l'efficacité, la couverture et la rapidité du réseau de télécommunications aéronautiques.

Les résultats de cette étude nous montrent que la disponibilité, l'efficacité et la rapidité du réseau ATN sont plus performantes que celles du réseau actuel. Malgré le coût élevé du nouveau système, son amortissement est à la portée de l'économie aéronautique.

ANNEXES

ANNEXE 1: LES INDICATEURS D'EMPLACEMENT DES AERODROMES [1]

Indicateurs d'emplacement	Nom de l'aérodrome	Gérance
FMMA	ARIVONIMAMO	Armée malagasy
FMMC	MALAIMBANDY	ACM
FMDM	ANTANANARIVO VILLE	
FMME	ANTSIRABE	ACM
FMMG	ANTSALOVA	ACM
FMMH	MAHANORO	ACM
FMMJ	AMBOHIANAHARY	ACM
FMMI	IVATO	ASECNA
FMMK	ANKAVANDRA	ACM
FVML	BELO TSIRIBIHINA	ADEMA
FMMM	ANTANANARIVO ACC , FIC , COM	
FMMN	MIANDRIVAZO	ACM
FMMO	MAINTIRANO	ACM
FMPM	AMPARAFARAVOLA	ACM
FMMQ	ILAKA EST	ACM
FMMR	MORAFENOBE	ACM
FMMS	SAINTE MARIE	ADEMA
FMMU	TAMBOHORANO	ACM
FMMT	TOAMASINA	ASECNA
FMMV	MORONDAVA	ADEMA
FMMX	TSIROANOMANDIDY	ACM
FMMY	VATOMANDRY	ACM
FMMZ	AMBATONDRAZAKA	ACM
FMNA	ARACHART DIEGO	ADEMA
FMNC	MANANARA NORD	ACM
FMND	ANDAPA	ACM
FMNE	AMBILOBE	ACM
FMNF	BEFANDRIANA NORD	ACM
FMNG	PORT BERGE	ACM
FMNH	ANTALAHA	Andry Développement
FMNJ	AMBANJA	ACM
FMNL	ANALALAVA	ACM
FMNM	MAHAJANGA	ASECNA
FMNN	NOSY BE	ADEMA
FMNO	SOALALA	ACM
FMNP	MAMPIKONY	ACM
FMNQ	BESALAMPY	ACM
FMNR	MAROANTSETRA	ACM
FMNS	SAMBAVA	ADEMA
FMNT	TSARATANANA	ACM
FMNV	VOHEMAR	ADEMA
FMNW	ANTSOHIHY	ACM
FMNX	MANDRITSARA	ACM
FMNZ	AMPAPAMENA	ACM
FMSA	AMBALAVAO	ACM
FMSB	BEROROHA	ACM
FMSC	MANDABE	ACM
FMSE	BETROKA	ACM
FMSD	TAOLAGNARO	ASECNA
FMSF	FIANARANTSOA	ADEMA
FMSG	FARAFANGANA	ACM
FMSI	IHOZY	ACM
FMSJ	MANJA	ACM
FMSK	MANAKARA	ACM
FMSL	BEKILY	ACM
FMSM	MANANJARY	ADEMA
FMSN	TANANDAVA	ACM
FMSO	RANOHIRA	ACM
FMSR	MOROMBE	ACM
FMST	TOLIARY	ADEMA
FMSU	VANGAINDRANO	ACM
FMSV	BETIOKY	ACM
FMSY	AMPANIHY	ACM
FMSZ	ANKAZOABO	ACM

**ANNEXE 2: INDICATIFS D'APPEL DES ORGANISMES AERONAUTIQUES A
MADAGASCAR [1]**

Suffixe	Administration ou service
YANX	SERVICE DE LA NAVIGATION AERIENNE
YAYX	DIRECTION GENERALE DE L'AVIATION CIVILE
YDYX	CHEF D'AERODROME
YLYX	SERVICE DES ENQUETES SUR LES ACCIDENTS D'AVIATION
YMYX	DIRECTION GENERALE DE LA METEOROLOGIE
YNYX	BUREAU NOTAM
YKYX	REPRESENTATION DE L'ASECNA D'IVATO
YTYX	BUREAU DE TELECOMMUNICATION
YXYX	ORGANE MILITAIRE
YWYX	MILITAIRE
ZAZX	CONTROLE D'APPROCHE
ZBZX	BUREAU DE PLAN DE VOL
ZDZX	ORGANE DE REGULATION DE LA CIRCULATION AERIENNE
ZEZX	BASE DES DONNEES INFORMATION DE VOL
ZGZX	SERVICE DE LA CIRCULATION AERIENNE
ZHZX	CONTROLE DE LA CIRCULATION AERIENNE
ZIZX	CENTRE D'INFORMATION DE VOL
ZOZX	SERVICE DE CONTROLE OCEANIQUE
ZPZX	BUREAU DE PISTE
ZRZX	CENTRE DE CONTROLE REGIONAL
ZTZX	TOUR DE CONTROLE
ZSZX	CENTRE SARSAT
ZYZX	SERVICE DE SURETE D'AERODROME

ANNEXE 3 : BASE DE DONNEES MESSAGE.AER

N° du message	Date	Origine du message	Destinataire	Nom du message	Longueur du message [octet]
1	231541	FMEE/FMCZ	FMMM	ADM	752
2	231505	FMEE/FMMS/FMMT	FMMM	ADM	1088
3	231503	FMMM	FMMD	SVC	272
4	231502	FMMI/FMMD	FMMI	FPL	612
5	231454	FMNM	FMMD	DEP	340
6	231439	FMMI	FMMI/FMMD	FPL	680
7	231436	FMMM	FMMD	SVC	272
8	231434	FMMM	FMMD	BM	1836
9	231430	FMMM	FMMD	BM	2992
10	231429	FMMI	FMMI/FMMD	FPL	612
11	231426	FMMI	FMMI/FMNM	FPL	748
12	231422	FMMI	FMMI/FMMD/FMSK	FPL	612
13	231421	FMMI	FMMO	FPL	816
14	231420	FMMI	FMMO	FPL	884
15	231419	FMNM	FMMD	FPL	612
16	231415	FMMI	FMNM	FPL	816
17	231414	FMMI	FMNR/FMNH/FMNC	FPL	884
18	231403	FMMM	FMMD	SVC	272
19	231400	FMNC	FMMM	ARR	272
20	231357	FMNM	FMMD	ARR	272
21	231352	FMNM	FMMD	ARR	272
22	231343	FMNM	FMMD	SVC	272
23	231342	HLLL	FMMM	NTM	1088
24	231339	FMMI	FMMI	DEP	272
25	231335	FMNN	FMMI	DEP	272
26	231323	FMMM	FMMD	SVC	272
27	231322	FMMT	FMMD	ARR	272
28	231307	FMMM	FMMD	BM	3128
29	231307	FMMM	FMMD	BM	2244
30	231307	FMMM	FMMD	BM	1904
31	231305	FMSD	FMMD	DEP	1156
32	231303	FMMM	FMMD	SVC	272
33	231258	FMMT	FMMD/FMNC	DEP	272
34	231250	FMSD	FMMD	DEP	1088
35	231244	FMMI	FMMI	FPL	680
36	231240	FMMM	FMMD	SVC	272
37	231236	FMMI	FMMD	DEP	272
38	231223	FMMM	FMMD	SVC	272
39	231203	FMMM	FMMD	SVC	272
40	231153	FMNM	FMMD/FMNM	DEP	340
41	231150	YBBB	FMMM	NTM	476
42	231149	YBBB	FMMM	NTM	1020
43	231137	FMNM	FMMD/FMNM	FPL	612
44	231128	FMNM	FMMD	ARR	272
45	231122	OSDI	FMMD	OVERFL	816
46	231057	FDMS	FMMM	NTM	748
47	231056	FMMM	FMMD	SVC	272
48	231055	FMMI	FMMI/FMMD	DEP	272
49	231054	FMMI	FMMD	DEP	272
50	231043	FMMM	FMMD	SVC	272

Annexes 3

51	231040	FDMS	FMMM	NTM	748
52	231035	FMMT	FMMD	DEP	272
53	231033	FMMD	FMMI	FPL	612
54	231030	DIAP	FMMD	ADM	2072
55	231024	FMNM	FMMD	DEP	340
56	231017	WMKK	FMMM	NTM	748
57	231010	FDMS	FMMM	NTM	748
58	231007	FMMM	FMMD	SVC	272
59	231006	WMKK	FMMM	NTM	544
60	231006	FMNM	FMMD/FMNW	DEP	408
61	230957	WMKK	FMMM	NTM	952
62	230954	FDMM	FMMM	NTM	748
63	230948	WMKK	FMMM	NTM	612
64	230943	FMMM	FMMD	SVC	272
65	230943	FMMI	FMMD	DLA	272
66	230936	FMNM	FMMD	DEP	340
67	230929	FMMM	FMMD	BM	3400
68	230853	HECA	FMMD/FMMM	NTM	612
69	230850	FMMM	FMMD	SVC	272
70	230842	FMMT	FMMD	FPL	612
71	230836	WMKK	FMMM	NTM	884
72	230827	FMNM	FMMD	FPL	748
73	230822	FMMI	FMMD/FMSK	DEP	272
74	230820	FMMT	FMMD/FMNC	FPL	816
75	230818	YBBB	FMMM	NTM	952
76	230815	FMMT	FMMM/FMNC	FPL	680
77	230813	FMMM	FMMD	SVC	272
78	230808	FMEE	FMMM	FPL	1056
79	230808	FMEE	FMMM	FPL	1156
80	230806	YBBB	FMMM	NTM	952
81	230803	FMMI	FMMD	DEP	272
82	230803	FMNM	FMMD	ARR	272
83	230801	FMMI	FMMD	DLA	272
84	230800	FMMI	FMMD	FPL	612
85	230800	FMMM	FMMD	BM	3400
86	230800	FMMI	FMMD/FMSK	FPL	612
87	230800	FMMM	FMMD	BM	2788
88	230800	FMMO	FMMM	ARR	272
89	230800	FMMM	FMMD	SVC	272
90	230800	YBBB	FMMD	NTM	612
91	230800	FMNM	FMMD	DEP	340
92	230800	YBBB	FMMM	NTM	472
93	230800	FMMM	FMMD	SVC	272
94	230742	FMMI	FMMD	FPL	612
95	230739	YBBB	FMMM	NTM	612
96	230734	FMMD	EDDV/HKMO/FMMM	OVRFL	612
97	230735	FMMI	FMMD	DEP	272
98	230730	FMMD	EDDV/HKMO/FMMM	OVRFL	612
99	230727	WIII	FMMM	NTM	680
100	230719	WMKK	FMMM	NTM	544
101	230713	FMMM	FMMD	SVC	272
102	230711	WMKK	FMMM	NTM	544
103	230708	FMNM	FMMD	ARR	272
104	230706	FMNM	FMMD/FMNW	DLA	272
105	230705	WMKK	FMMM	NTM	1156
106	230704	YBBB	FMMM	NTM	748
107	230703	FMMM	FMMD	SVC	272
108	230701	EDDV	FMMM	FPL	816

109	230658	EDVV	FMMM	FPL	884
110	230657	FMMI	FMMD	FPL	680
111	230653	FMNM	FMMD/FMMO	DEP	340
112	230643	FMMM	FMMD	SVC	272
113	230638	FMNM	FMMD	ARR	272
114	230634	YBBB	FMMM	NTM	816
115	230632	FMMV	FMMD	DEP	544
116	230630	FMMM	FMMD	SVC	272
117	230628	FMSG	FMMD	ADM	408
118	230624	FMMI	FMMD	FPL	612
119	230622	FMMM	FMMM/FMMI	NTM	680
120	230620	FMMM	FMMD/FMMI	NTM	680
121	230613	FMNM	FMMD	DEP	340
122	230606	FMSF	FMMD	DEP	612
123	230606	FMEE	FMMM	NTM	612
124	230603	FMMM	FMMD	SVC	272
125	230603	FMEE	FMMM	NTM	612
126	230600	FIMP	FMMM	NTM	408
127	230600	FMMI	FMMD	FPL	612
128	230558	YBBB	FMMM	NTM	476
129	230550	VRMM	FMMM	NTM	680
130	230543	FMMM	FMMD	SVC	272
131	230543	YBBB	FMMM	NTM	748
132	230539	FMNM	FMMD	ARR	272
133	230538	WIII	FMMM	NTM	612
134	230526	FMNM	FMMD	ARR	272
135	230525	FMMI	FMMD/FMMO	DEP	272
136	230523	FMMM	FMMD	SVC	272
137	230522	FMNM	FMMD	ARR	272
138	230514	FAJO	FMMI	ELT	612
139	230514	FAJO	FMMI	ELT	612
140	230511	YBBB	FMMM	NTM	612
141	230505	FMNM	FMMD/FMNW	DEP	476
142	230503	FMMI	FMMD/FMMO	CHG	272
143	230502	YBBB	FMMM	NTM	544
144	230501	YBBB	FMMM	NTM	544
145	230501	YBBB	FMMM	NTM	952
146	230501	FMMM	FMMD	SVC	272
147	230500	YBBB	FMMM	NTM	952
148	230500	FMSK	FMMM/FMMD/FMSG	DEP	340
149	230445	FMMM	FMMD	BM	1836
150	230443	FMMM	FMMD	SVC	272
151	230437	YBBB	FMMM	NTM	884
152	230435	YBBB	FMMM	NTM	884
153	230423	FMMM	FMMD	SVC	272
154	230416	FMNM	FMMD/FMNW	FPL	1020
155	230420	FMMI	FMMI	DEP	272
156	230411	WRKK	FMMM	NTM	544
157	230411	WSSS	FMMM	NTM	1020
158	230406	WMKK	FMMM	NTM	544
159	230406	WSSS	FMMM	NTM	612
160	230403	FMMM	FMMD	SVC	272
161	230401	WSSS	FMMM	NTM	544
162	230359	WSSS	FMMM	NTM	612
163	230356	WSSS	FMMM	NTM	612
164	230353	WSSS	FMMM	NTM	544
165	230350	FMMI	FMMD/FMMO	FPL	612
166	230350	YBBB	FMMM	NTM	544

167	230350	WSSS	FMMM	NTM	612
168	230343	WMKK	FMMM	NTM	612
169	230343	FMMI	FMMI	DEP	272
170	230343	FMMM	FMMD	SVC	272
171	230339	WMKK	FMMM	NTM	544
172	230336	WSSS	FMMM	NTM	748
173	230334	WSSS	FMMM	NTM	748
174	230332	WSSS	FMMM	NTM	748
175	230332	WSSS	FMMM	NTM	748
176	221044	FMMD	FMMI/FMMM	OVRFL	884
177	221044	FMMD	FMMI/FMMM	OVRFL	816
178	221033	WSSS	FMMM	NTM	612
179	221044	FMMD	FMMI/FMMM	OVRFL	816
180	2310332	WSSS	FMMM	NTM	612
181	230327	WMKK	FMMM	NTM	612
182	230331	YBBB	FMMM	NTM	748
183	230326	WMKK	FMMM	NTM	544
184	230323	WMKK	FMMM	NTM	544
185	230323	FMMM	FMMD	SVC	272
186	230314	WMKK	FMMM	NTM	748
187	230307	WMKK	FMMM	NTM	748
188	230314	FMMI	FMMI	FPL	612
189	230258	WMKK	FMMM	NTM	816
190	230303	FMMM	FMMD	SVC	272
191	230249	YBBB	FMMM	NTM	408
192	230243	FMMM	FMMD	SVC	272
193	230235	FMMI	FMMI	FPL	612
194	230223	FMMM	FMMD	SVC	272
195	230213	YBBB	FMMM	NTM	612
196	230210	YBBB	FMMM	NTM	748
197	230205	FMMM	FMMD	SVC	272
198	230148	FAJS	FMMM	ONB	272
199	230143	YBBB	FMMM	NTM	884
200	230123	FMMM	FMMD	SVC	272
201	230103	FMMM	FMMD	SVC	272
202	230051	FMMM	FMMD	SVC	272
203	230046	WLLL	FMMM	NTM	544
204	230445	WLLL	FMMM	NTM	544
205	230043	YBBB	FMMM	NTM	476
206	230023	FMMM	FMMD	SVC	272
207	230003	FMMM	FMMD	SVC	272
208	222353	FMMM	FMMD	SVC	272
209	222343	FMMM	FMMD	SVC	272
210	222139	FMMM	FMMD	SVC	272
211	222126	YBBB	FMMM	NTM	612
212	221953	YBBB	FMMM	NTM	612
213	221958	LFIA	FMMI	DET	2176
214	221648	YBBB	FMMM	NTM	612
215	221616	YBBB	FMMM	NTM	884
216	221614	LFIA	FMMI	DET	2176
217	221540	YBBB	FMMM	NTM	612
218	221538	YBBB	FMMM	NTM	544
219	221526	YBBB	FMMM	NTM	612
220	221525	FMMM	FMMD	BM	2244
221	221523	FMMM	FMMD	BM	2108
222	221513	FMMM	FMMD	SVC	272
223	221503	FMMI	FMMD	SVC	272
224	221500	FMMM	FMSK	CNL	272

Annexes 3

225	221436	FMNM	FMMD	ARR	272
226	221433	FMMT	FMMD	ARR	272
227	221429	FMMI	FMMI	DEP	272
228	221423	FMMM	FMMD	SVC	272
229	221405	FAJS	FMMM	ONB	727
230	221405	FAJS	FMMM	ONB	272
231	221403	FMMM	FMMD	SVC	272
232	221405	FAJS	FMMM	ONB	272
233	221343	FMMM	FMMD	SVC	272
234	221323	FMMI	FMMI	DEP	272
235	221303	FMMM	FMMD	SVC	272
236	221259	FMMI	FMMI	FPL	884
237	221259	FMMM	FMMM	BM	2172
238	221259	FMMM	FMMD	BM	2995
239	221259	FMMM	FMMD	BM	2244
240	221247	FMMI	FMMI	FPL	680
241	221245	FMNA	FMMD	DEP	408
242	221243	FMMM	FMMD	SVC	272
243	221240	FMNA	FMMD	ADM	544
244	221234	FMMI	FMMI	DEP	272
245	221230	FMSM	FMSK/FMSG/FMMD	FPL	680
246	221230	FMMM	FMMD/FMMI	NTM	612
247	221227	YBBB	FMMM	NTM	680
248	221223	FMMM	FMMD	SVC	272
249	221215	FMMT	FMMM	NTM	680
250	221214	FMMD	FMMI/FMMM	OVRFL	816
251	221210	FMMD	WSSS/FMMM/FMMI	ADM	1248
252	221206	FMMT	FMMD	DEP	272
253	221200	FMNA	FMMD	DLA	272
254	221200	YBBB	FMMM	NTM	544
255	221200	FMMM	FMMO	SVC	272
256	221156	FMNA	FMMD	FPL	680
257	221150	WMKK	FMMM	NTM	544
258	221149	FMMI	FMMI	FPL	612
259	221147	WMKK	FMMM	NTM	544
260	221138	FMNA	FMMD	DEP	544
261	221135	WMKK	FMMM	NTM	544
262	221133	FMMM	FMMD	SVC	272
263	221124	FMMI	FMMI	DEP	272
264	221122	YBBB	FMMM	NTM	496
265	221119	FMMT	FMMD	DEP	272
266	221116	FMMD	FAJS/FMMM/FMMI	ADM	612
267	221115	FMMI	FMMI	FPL	612
268	221113	FMMI	FMMI	CNL	272
269	221108	FMMT	FMMD	FPL	680
270	221103	FMMI	FMMD	FPL	612
271	221054	DLAP	FMMD	ADM	1904
272	221044	FMMI	FMMD	ARR	272
273	221042	FMNM	FMMD	DEP	340
274	221040	FMNM	FMMD	FPL	742
275	221039	FMMI	FMMI	DLA	272
276	221036	FMMM	FMMD	SVC	272
277	221033	FMMT	FMMD	ARR	272
278	221030	FMNM	FMMD	ARR	272
279	221028	FMMM	FMSK	CNL	272
280	221023	FMMM	FMMD	SVC	272
281	221020	FDMM	FMMM	NTM	816
282	221018	FDMM	FMMM	NTM	952

283	221017	FDMM	FMMM	NTM	816
284	221012	YBBB	FMMM	NTM	544
285	221010	YBBB	FMMM	NTM	612
286	221007	YBBB	FMMM	NTM	816
287	221005	FMMI	FMMI	FPL	612
288	220951	FMNM	FMNW	ARR/CH G	680
289	220949	YBBB	FMMM	NTM	680
290	220944	FDMM	FMMM	NTM	816
291	220940	FMMI	FMMI/FMMD	DEP	272
292	220938	WIII	FMMM	NTM	544
293	220932	FMMM	FMMD	SVC	272
294	220929	FMNM	FMNW	DEP	340
295	220823	YBBB	FMMM	NTM	544
296	220911	FMNM	FMMD	FPL	952
297	220904	FMMT	FMMD	DEP	272
298	220903	FMMT	FMMD	DEP	272
299	220902	FMMT	FMMD	FPL	680
300	220901	YBBB	FMMM	NTM	680
301	220900	FMMM	FMMO	SVC	272
302	220857	WIII	FMMM	NTM	544
303	220849	YBBB	FMMM	NTM	544
304	220835	FMNM	FMMD	ARR	272
305	220827	FMCZ	FMNW	FPL	612
306	220823	FMNM	FMMD/FMNW	DEP	340
307	220821	FMNM	FMMD/FMNW	DEP	272
308	220819	FMMM	FMMD	SVC	272
309	220817	YBBB	FMMM	NTM	748
310	220813	FMMM	FMMD	SVC	272
311	220845	FMMT	FMNH	QFA	952
312	220849	WIII	FMMM	NTM	544
313	220838	FMNM	FMMD	ARR	272
314	220834	FMMM	FMMD	BM	2856
315	220824	FCCC	FMMM	NTM	476
316	220826	YBBB	FMMM	NTM	544
317	220828	FMMI	FMMI/FMMD	DLA	272
318	220824	YBBB	FMMM	NTM	1428
319	220823	FMMM	FMMD	BM	2516
320	220820	YBBB	FMMM	NTM	612
321	220819	YBBB	FMMM	NTM	612
322	2220818	FMMT	FMMD	ARR	272
323	220815	YBBB	FMMM	NTM	680
324	220815	YBBB	FMMM	NTM	612
325	220814	YBBB	FMMM	NTM	1496
326	220814	FMMM	FMMD	SVC	272
327	220809	FCCC	FMMM	NTM	612
328	220806	FMMM	FMMD	SVC	272
329	220805	FMMI	FMMI	CNL	272
330	220751	YBBB	FMMM	NTM	476
331	220750	FMMS	FMNH	ARR	272
332	220748	FMMI	FMMI/FMSK	DEP	272
333	220736	FMSF	FMMD	FPL	1336
334	220633	FMMD	FMCH/FMMM/FMNM	ADM	544
335	220630	FMMD	FMMI/FMMM	ADM	816
336	220625	FMMD	FMCH/FMMM/FMNM	ADM	544
337	220623	FMMD	FMMI/FMMM	ADM	816
338	220620	FMMT	FMNC	LDM	1020
339	220619	WIII	FMMM	NTM	544

340	220618	FMMI	FMMI	DEP	272
341	220616	FMMT	FMNC	DEP	272
342	220613	FMMI	FMMI/FMMD	FPL	612
343	211450	FCCC	FMMM	NTM	680
344	211443	YBBB	FMMM	NTM	476
345	211439	FMMD	FMMI/FMMM	ADM	816
346	211433	YBBB	FMMM	NTM	816
347	211432	YBBB	FMMM	NTM	680
348	211428	FMMI	FMMI/FMSK	FPL	612
349	211423	FMMD	FMI/FMMM	ADM	816
350	211420	YBBB	FMMM	NTM	680
351	211417	FMMM	FMMD	SVC	272
352	211415	YBBB	FMMM	NTM	1518
353	211413	FMMM	FMMD	SVC	272
354	211410	YBBB	FMMM	NTM	612
355	211408	FMMI	FMNC/FMNR/FMNH	DEP	272
356	211407	FMMI	FMMI	DEP	272
357	211403	FMMM	FMMD	SVC	272
358	211400	FMNM	FMMD	ARR	272
359	211350	FMMM	FMMD	SVC	272
360	211342	FMMI	FMMI/FMNR	FPL	680
361	211337	FMMI	FMMI	DEP	272
362	211336	FMNM	FMMD/FMNR	DEP	340
363	211334	FMMT	FMMD	DEP	272
364	211326	FMMI	FMMI	FPL	476
365	211325	FMMI	FMMD/FMMI	CNL	272
366	211320	FMMM	FMMD	SVC	272
367	211315	FMMT	FMMD/FMNH/FMNC/FMNR	DEP	272
368	211315	FMNM	FMMD	DEP	408
369	211313	WMKK	FMMM	NTM	424
370	211308	FDMM	FMMM	NTM	884
371	211305	FMMI	FMMI	DLA	272
372	211300	FMMI	FMMI/FMNH/FMNR	DEP	272
373	211247	FMNM	FMMD	FPL	748
374	211240	FMMT	FMMD	FPL	680
375	211232	FMMI	FMMI/FMNR	QRF	272
376	211225	FMNM	FMMD	DEP	340
377	211222	FMNM	FMMD	DEP	408
378	211218	FMMM	FMMD	BM	1904
379	211213	HKMO	FMNH	DEP	408
380	211207	FMMM	FMMD/FMMI	NTM	612
381	211200	FMNM	FMMD	ARR	272
382	211153	FMMM	FMMD/FMMI	NTM	612
383	211147	FMMI	FMMI	DEP	272
384	211136	FMMI	FMMI/FMNR	DEP	272
385	211124	FMMM	FMNR/FMNH	NTM	612
386	211114	FMNM	FMMD	FPL	612
387	211108	SBRJ	FMMR	NTM	748
388	211104	WMKK	FMMM	NTM	544
389	211100	FMMI	FMMD/FMMI	DEP	272
390	211054	FMMI	FMMI	DEP	272
391	211046	SBRJ	FMMM	NTM	680
392	211041	FMMI	FMMI/FMNH/FMNR	FPL	612
393	211034	WMKK	FMMM	NTM	544
394	211030	FMMT	FMMD/FMNH/FMNC/FMNR	FPL	680

395	211027	FMMM	FMMD	SVC	272
396	211016	FMMI	FMMI	FPL	612
397	211013	WSSS	FMMM	NTM	884
398	211009	FMNN	FMMM	NTM	340
399	211004	FMMI	FMMD/FMMI	DLA	272
400	210947	FMMI	FMMD/FMMI	QRF	272
401	210930	FMNM	FMMD	FPL	680
402	210925	FMMI	FMMI	FPL	612
403	210914	FMMD	FMMM/FMNA/FMNH/HK NW/HKMO	ADM	818
404	210907	FMMD	FMMM/FMNA/FMNH/HK NW/HKMO	ADM	816
405	210903	FMMI	FMMD/FMMI	DEP	272
406	210856	WSSS	FMMM	NTM	680
407	210842	FMMM	FMMD	SVC	272
408	210831	WSSS	FMMM	NTM	612
409	210823	WMKK	FMMM	NTM	816
410	210810	FMMI	FMMD/FMNW	DEP	272
411	210805	FMMD	HKNW	NTM	340
412	210745	FMMI	FMMD/FMMI	FPL	748
413	210736	WSSS	FMMM	NTM	1088
414	210725	YBBB	FMMM	NTM	1428
415	210720	HKNW	FMMD	ADM	408
416	210713	FMMM	FMMD	SVC	272
417	210705	FMMD	FMMM/FMNN/FMCZ	ADM	816
418	210700	FMMI	FMMM/FMMI	FPL	612
419	210657	YBBB	FMMM	NTM	496
420	210645	FMMI	FMMO/FMNW	FPL	680
421	210630	YBBB	FMMM	NTM	544
422	210624	FMMM	FMMD	SVC	272
423	210619	YBBB	FMMM	NTM	612
424	210610	FMMM	FMMD	SVC	272
425	210605	FMMM	FMMD	BM	1108
426	210553	WIII	FMMM	NTM	680
427	210545	WMKK	FMMM	NTM	544
428	210537	FMMM	FMMD	SVC	272
429	210530	WMKK	FMMM	NTM	612
430	210526	YBBB	FMMM	NTM	612
431	210521	FMMM	FMMD	SVC	272
432	210515	WMKK	FMMM	NTM	544
433	210505	YBBB	FMMM	NTM	544
434	210500	YBBB	FMMI	NTM	612
435	210458	YBBB	FMMM	NTM	748
436	210450	YBBB	FMMM	NTM	1020
437	210449	FMMM	FMMD	SVC	272
438	210433	YBBB	FMMM	NTM	1020
439	210427	FMMM	FMMD	SVC	272
440	210415	WMKK	FMMM	NTM	680

CHGmoy=sum(CHG)/length(CHG)
DEPmoy=sum(DEP)/length(DEP)
DLAmoy=sum(DLA)/length(DLA)
DETMoy=sum(DET)/length(DET)
ELTmoy=sum(ELT)/length(ELT)
FPLmoy=sum(FPL)/length(FPL)
NTMmoy=sum(NTM)/length(NTM)
OVRFLmoy=sum(OVRFL)/length(OVRFL)
QFAmoy=sum(QFA)/length(QFA)
SVCmoy=sum(SVC)/length(SVC)
% DETERMINATION DE LA VALEUR MAXIMALE DE CHAQUE MESSAGE
ARRmax=max(ARR)
ADMmax=max(ADM)
BMmax=max(BM)
CNLmax=max(CNL)
CHGmax=max(CHG)
DEPmax=max(DEP)
DLAmax=max(DLA)
DETmax=max(DET)
ELTmax=max(ELT)
FPLmax=max(FPL)
NTMmax=max(NTM)
OVRFLmax=max(OVRFL)
QFAmax=max(QFA)
SVCmax=max(SVC)
% DETERMINATION DE LA LONGUEUR MINIMALE DE CHAQUE MESSAGE
ARRmin=min(ARR)
ADMmin=min(ADM)
BMmin=min(BM)
CNLmin=min(CNL)
CHGmin=min(CHG)
DEPmin=min(DEP)
DLAmin=min(DLA)
DETmin=min(DET)
ELTmin=min(ELT)
FPLmin=min(FPL)
NTMmin=min(NTM)
OVRFLmin=min(OVRFL)
QFAmin=min(QFA)
SVCmin=min(SVC)
% CALCUL DE POURCENTAGE DE CHAQUE MESSAGE
lARR=length(ARR)
lADM=length(ADM)
lBM=length(BM)
lCNL=length(CNL)
lCHG=length(CHG)
lDEP=length(DEP)
lDLA=length(DLA)
lDET=length(DET)
lELT=length(ELT)

IFPL=length(FPL)
INTM=length(NTM)
IOVRFL=length(OVRFL)
IQFA=length(QFA)
ISVC=length(SVC)
nbmsg=lARR+lADM+lBM+lCNL+lCHG+lDEP+lDLA+lDET+lELT+lFPL+lNTM+lO
VRFL+lQFA+lSVC
nARR=lARR./nbmsg
nADM=lADM./nbmsg
nBM=lBM./nbmsg
nCNL=lCNL./nbmsg
nCHG=lCHG./nbmsg
nDEP=lDEP./nbmsg
nDLA=lDLA./nbmsg
nDET=lDET./nbmsg
nELT=lELT./nbmsg
nFPL=lFPL./nbmsg
nNTM=lNTM./nbmsg
nOVRFL=lOVRFL./nbmsg
nQFA=lQFA./nbmsg
nSVC=lSVC./nbmsg

ANNEXE 5 : RESEAUX ETHERNET**Caractéristiques générales**

Les réseaux ethernet possèdent les points communs suivants :

- définis dans la spécification IEEE 802.3 ;
- basés sur des transmissions diffusées qui livrent des signaux à tous les nœuds en même temps avec une méthode d'accès CSMA/CD (Carrier Sense Mode Access/ Carrier Detect);
- Gestion des couches 1 et partiellement 2 du modèle OSI ;
- Gestion des couches supérieures par Netware de Novell, Unix, TCP/IP ou autres ;
- Tous ou presque, sont des réseaux en bande de base (codage Manchester).
- format ethernet unique pour la transmission des informations (figure i).

Préambule (8 octets)	En-tête (14 octets)	Données (46 à 1500 octets)	Queue avec contrôle de redondance cyclique (4 octets)
-------------------------	------------------------	-------------------------------	--

Figure i : Format de trame ethernet

L'en-tête comprend l'adresse de destination (6 octets), l'adresse source (6 octets) et la longueur du champ de données (2 octets).

Les réseaux ethernet diffèrent sur les points suivants :

- La topologie des réseaux ethernet repose sur une topologie de bus linéaire;
- Les réseaux ethernet opèrent traditionnellement à 10 ou 100 Mbps mais depuis 1998, le gigabit ethernet est apparu avec un débit de 1000Mbps ;
- Les réseaux ethernet peuvent utiliser des câblages coaxiaux, fibre optique ou paires torsadées non blindées. Les réseaux à câbles coaxiaux sont subdivisés en thin ethernet(câble de 3/16 de pouce) ou thick ethernet(câble de 3/8 de pouce).

Les aéroports de Madagascar seront équipés des réseaux ethernet fonctionnant à 10Mbps appelés 10BaseX (Tableau i).

Tableau i : Caractéristiques de réseaux Ethernet

Catégorie	Câblage	Longueur sans relais [m]	Nombre des nœuds acceptés [nœuds]
10BaseT	UTP	100	1024
10Base2	Thin CC	185	30
10Base3	Think CC	500	100

b- Le MAU

La connexion d'un équipement sur le support se fait par une unité de raccordement au support (MAU : Medium Access Unit). Pour un câble coaxial standard, le transceiver est composé d'un connecteur en T et d'une adaptation pour un câble d'interface avec la station (figure ii).

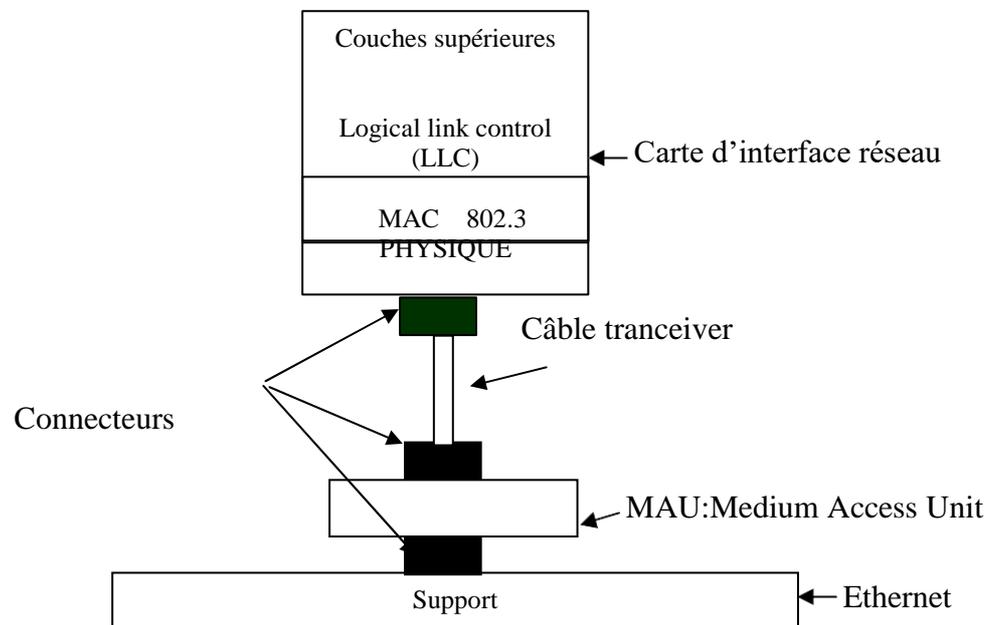


Figure ii : La fonctionnalité de l'Ethernet

ANNEXE 6: CODE SORCE POUR L'ETUDE DE LA DISPONIBILITE**a-Cas air-sol**

```

m1=[4800 4800 4800 4800 4800 4800 4800 ] ;
m2=[2 2 5 24 24 5 2] ;
m3=m1+m2 ;
m4=m1./m3 ;
% Calcul relatif à la branche radar
d1=[2400 2400 2400 2400] ;
d2=[8 8 8 8] ;
d3=d1+d2 ;
d4=d1./d3 ;
% Calcul relatif à la branche VDL
r1=[4760 4760 4760 4760] ;
r2=[5 5 5 5] ;
r3=r1+r2 ;
r4=r1./r3 ;
% Calcul relatif à la branche satellite
s1=[2575 2575 12000 2575 2575 ] ;
s2=[5 5 24 5 5] ;
s3=s1+s2 ;
s4=s1./s3 ;
t1=prod(m4) ;
t2=prod(d4) ;
t3=prod(r4) ;
t4=prod(s4) ;
% CAS1 : les trois voies sont disponibles
A1=t1*(1-(1-t2)*(1-t3)*(1-t4))
I1=1-A1
% CAS2 : le radar et VDL sont disponibles
A2=t1*(1-(1-t2)*(1-t3))
I2=1-A2
% CAS3 : le VDL et satellite sont disponibles
A3=t1*(1-(1-t3)*(1-t4))
I3=1-A3
% CAS4 : le radar et satellite sont disponibles
A4=t1*(1-(1-t2)*(1-t4))
I4=1-A4
% CAS5 : radar seul disponible
A5=t1*t2
I5=1-A5
% CAS6 : le VDL seul disponible
A6=t1*t3
I6=1-A6
% CAS7 : le satellite seul disponible
A7=t1*t4
I7=1-A7
A1=

```

0.9867805
 I1=
 0.013219454
 A2=
 0.98672639
 I2=
 0.013273604
 A3=
 0.98674092
 I3=
 0.013259077
 A4=
 0.98665437
 I4=
 0.013345621
 A5=
 0.97373291
 I5=
 0.02626708
 A6=
 0.98264582
 I6=
 0.017354197
 A7=
 0.977199419
 I7=
 0.0228005804

b-Cas sol-sol

```

%Programme sous matlab pour le calcul de la disponibilité pour la communication sol-
sol
m1=[4800 4800 4800 ] ;
m2=[2 2 5] ;
m3=m1+m2 ;
m4=m1./m3 ;
s1=prod(m4) ;
d1=4800 ;
d2=24 ;
d3=d1./(d1+d2) ;
At=(s1.^2)*d3
It=1-At
At= 0.99130193
It= 0.008698061
  
```

ANNEXE 7 : CALCUL DE L'EFFICACITE ET DE LA TAILLE DE FENETRE

%CALCUL DE L'EFFICACITE DU RESEAU ATN

U=[5100 80 80 1200] ;

D=[10500 4194304 1048576 31500] ;

BER=[0.0001 0.0001 0.0001 0.001] ;

G=[716 32 32 104] ;

K=[48 48 48 48] ;

Tt=[0.7 0.0005 0.0005 0.05] ;

C=D.*Tt

N=U+G

S=G+K+C

%PROBABILITE POUR QUE N BITS SOIENT TRANSMIS CORRECTEMENT

P1=(1-BER).^N

%PROBABILITE POUR QUE L'ACK SOIT CORRECTEMENT TRANSMIS

P2=(1-BER).^K

%EFFICACITE SANS ERREUR

Es=U./(U+S)

%EFFICACITE AVEC ERREUR

Ee=Es.*P1.*P2

% DEBIT EFFECTIF

D1=D.*Es

Tb=U./D

Ta=Tb +Tt+K./D

W=Ta./Tb

C =

1.0e+003 *

7.35000000000000 2.09715200000000 0.52428800000000 1.57500000000000

N =

5816 112 112 1304

S =

1.0e+003 *

8.11400000000000 2.17715200000000 0.60428800000000 1.72700000000000

P1 =

0.55898698880498 0.98886193269974 0.98886193269974 0.27126680151057

P2 =

0.99521126272344 0.99521126272344 0.99521126272344 0.95311089687989

Es =

0.38595429090359 0.03544289440853 0.11690983913206 0.40997608472839

Ee =

0.21471028829804 0.03488029278316 0.11505407462370 0.10599822800744

D1 =

1.0e+005 *

0.04052520054488 1.48658273789271 1.22588851477740 0.12914246668944

Tb =0.48571428571429 0.00001907348633 0.00007629394531 0.03809523809524

Ta = 1.19028571428571 0.00053051757813 0.00062207031250 0.08961904761905

W =2.45058823529412 27.81440000000000 8.15360000000000 2.35250000000000

Annexe 8 : LES DIFFERENTS FORMATS DES SOUS RESEAUX DE L'ATN

a) **Format des paquets pour la communication par satellite**

Format de rafale de canal R

Précision du débit : le taux d'erreur du canal : 10^{-4}

Base de temps de rafales : $\pm 300\mu s$

Format de rafales :

Préambule	Mot unique (32 bits)	Champ d'information (320 bits)
-----------	----------------------	--------------------------------

Le mot unique est constitué de 32 bits : 1110 0001 0101 1010 1110 1000 1001 0011

Champ d'information : chaque rafale est formée de 160 bits dont 152 bits pour le SU et 8 bits de zéro de justification

Préambule :

Débit (bps)	0.6	1.2	2.4	10.5
Porteuse non modulée	150	126	78	248
Porteuse modulée	74	74	74	256
Total	224	200	152	504

Format de canal T

Précision du débit : le taux d'erreurs du canal : 10^{-4}

Base de temps : $\pm 300\mu s$

Préambule

Débit (bps)	0.6	1.2	2.4	10.5
Porteuse non modulée	150	126	78	248
Porteuse modulée	74	74	74	256
Total	224	200	152	504

Mot unique de 32 bits : 1110 0001 0101 1010 1110 1000 1001 0011

Le Champ d'information est composé de 48 bits de l'identificateur de rafale, de 2 à 31 SU de 96 bits et de 16 bits de justification

Préambule	Mot unique	Bloc 1	Bloc 2	-----	Bloc n
-----------	------------	--------	--------	-------	--------

Format de canal P au débit de 4.8 et 10.5 kbps

Mot unique (64 bits)	Identification de format (4 bits)	Repère de limite de supertrame (12 bits)	Champ fictif (16 bits ou 178 bits)	Champ d'information de n SU de 96 bits (2304 ou 4992 bits)	Mot unique (64 bits)	Identification de format (4 bits)
----------------------	-----------------------------------	--	-------------------------------------	--	----------------------	-----------------------------------

Format de canal P au débit de 0.6, 1.2 et 2.4 kbps

Mot unique (32 bits)	Identification de format (4 bits)	Repère de limite de supertrame (12 bits)	Champ d'information de 12 SU de 96 bits (1152 bits)	Mot unique (32 bits)	Identification de format (4 bits)
----------------------	-----------------------------------	--	---	----------------------	-----------------------------------

Format de canal C de 21 kbps

Préambule (840 bits)	Mot unique (88 bits)	Champ fictif (44 bits)	Bloc 1	-----	Bloc 27	Mot unique (88 bits)	Champ fictif (44 bits)
						← 10368 bits →	

Format de canal C de 10.5 kbps

Préambule (416bits)	Mot unique (88 bits)	Champ fictif (62 bits)	Bloc 1	-----	Bloc 27	Mot unique (88 bits)	Champ fictif (62 bits)
						← 5100 bits →	

Préambule

Débit (bps)	5.25	6	10.5	21
Porteuse non modulée	80	96	160	336
Porteuse modulée	128	144	256	504
Total	208	240	416	840

b) Format des paquets montants de messages de radar mode S

N° de Format	UF								
0	00001	3	RL :1	4	AQ :1	18	AP :24	Surveillance air-air courte	
1	00001	27 ou 83				AP :24			
2	00010	27 ou 83				AP :24			
3	00011	27 ou 83			AP :24				
4	00100	PC :3	RR :5	DI :3	SD :16	AP :24		Surveillance, demande d'altitude	

5	00101	PC :3	RR :5	DI :3	SD :16	AP :24	Surveillance, demande d'identité		
6	00110	27 ou 83		AP :24					
7	00111	27 ou 83		AP :24					
8	01000	27 ou 83		AP :24					
9	01001	27 ou 83		AP :24					
10	01010	27 ou 83		AP :24					
11	01011	PR :4	IC :4	CL :3	16	AP :24	Appel général mode S		
12	01100	27 ou 83		AP :24					
13	01101	27 ou 83		AP :24					
14	01110	27 ou 83		AP :24					
15	01111	27 ou 83		AP :24					
16	10000	3	RL :1	4	AQ :1	18	MU :56	AP :24	Surveillance air-air longue
17	10001	27 ou 83		AP :24					
18	10010	27 ou 83		AP :24					
19	10011	27 ou 83		AP :24					
20	10100	PC :3	RR :5	DI :3	SD :16	MA :5	6	AP :24	Comm-A, demande d'altitude
21	10101	PC :3	RR :5	DI :3	SD :16	MA :56	AP :24	Comm-A, demande d'identité	
22	10110	27 ou 83		AP :24					
23	10111	27 ou 83		AP :24					
25	11	RC :2	NC :4	MC :80	AP :24			Comm-C (ELM)	

c) Format des paquets descendants de messages de radar mode S

N° de Format	DF							
0	00001	VS :1	7	RI :4	2	AC :13	AP :24	Surveillance air-air courte
1	00001	27 ou 83		AP :24				

2	00010	27 ou 83					AP :24		
3	00011	27 ou 83					AP :24		
4	00100	FS :3	DR :5	UM :6	AC :13	AP :24	Surveillance, réponse d'altitude		
5	00101	FS :3	DR :5	UM :6	ID :13	AP :24	Surveillance, réponse d'identité		
6	00110	27 ou 83					AP :24		
7	00111	27 ou 83					AP :24		
8	01000	27 ou 83					AP :24		
9	01001	27 ou 83					AP :24		
10	01010	27 ou 83					AP :24		
11	01011	CA :3	AA :24	PI :24	R2PONSE « appel général »				
12	01100	27 ou 83					AP :24		
13	01101	27 ou 83					AP :24		
14	01110	27 ou 83					AP :24		
15	01111	27 ou 83					AP :24		
16	10000	VS :1	7	RI :4	2	AC :13	MV :56	AP :24	Surveillance air-air longue
17	10001	CA :3	AA :24	ME :56	AP :24			Squitter long	
18	10010	27 ou 83					AP :24		
19	10011	27 ou 83					AP :24		
20	10100	FS :3	DR :5	UM :6	AC :13	MB :56	AP :24	Comm-B, réponse d'altitude	
21	10101	FS :3	DR :5	UM: 6	ID :13	MB :56	AP :24	Comm-B, réponse d'identité	
22	10110	27 ou 83					AP :24		
23	10111	27 ou 83					AP :24		
25	11	1	KE :1	ND :4	MD :80			Comm-D (ELM)	

d) Format des paquets pour la communication en VDL

Drapeau (1 octet) 01111110	Adresse destinataire (4 octets)	Adresse source (4 octets)	Champ de commande (1 octet)	Données (150 octets)	Séquence de contrôle trame (2 octets)	Drapeau (1 octet) 01111110
----------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--	----------------------------------

ANNEXE 9 : CALCUL DE DELAI D'ACHEMINEMENT**a-Cas sol-air**

```

» % COMMUNICATION SOL-AIR PAR VOIE SATELLITE
% mi : nombre des liens
m1=4 ;
m2=3 ;
% ni : nombre des paquets pour chaque message
n1=[2 3 7 1 1 1 1 5 2 2 2 3 3 1 ] ;
n2=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2] ;
% pi= longueur des paquets
p1=5816 ;
p2=1408 ;
% li : longueur des messages
l1= p1.* n1 ;
l2=p2.*n2 ;
% di : débit en bps
d1=10500 ;
d2=10485760 ;
tm1=l1./d1 ;
tm2=l2./d2 ;
k1=(n1+m1-1)./n1 ;
k2=(n2+m2-1)./n2 ;
ttp1=k1.*tm1 ;
ttp2=k2.*tm2 ;
% délai de propagation = distance de satellite sur la vitesse de la lumière
dp=0.24 ;
% délai d'acheminement en commutation des paquets
ttps=(dp+ttp1) +2.*ttp2
%délai d'acheminement en commutation des messages
ttms=(m1.*tm1)+(2.*(m2.*tm2))+dp
ttmsmoy=sum(ttms)./14
tptsmoy=sum(ttps)./14
% Comparaison
ratios=ttmsmoy./tptsmoy

% COMMUNICATION SOL-AIR PAR VOIE RADAR (INTERROGATION)
% mi : nombre des liens
m3=3 ;
m4=3 ;
% ni : nombre des paquets
n3=[40 87 252 28 28 35 28 182 62 71 70 79 96 28 ] ;
n4=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2] ;
% pi : longueur d'un paquet
p3=112 ;
p4=1408 ;
% li : longueur de chaque message
l3= p3.* n3 ;
l4=p4.*n4 ;

```

```

%di : débit en bps
d3=1048576 *4;
d4=10485760 ;
tm3=l3./d3 ;
tm4=l4./d4 ;
k3=(n3+m3-1)./n3 ;
k4=(n4+m4 -1)./n4 ;
tpr3=k3.*tm3 ;
tpr4=k4.*tm4 ;
% délai d'acheminement en commutation des paquets
tpr=tpr3 +2.*tpr4
% délai d'acheminement en commutation de message
ttmr=(m3.*tm3)+(2.*(m4.*tm4))
ttmr Moy= sum(ttmr)./14
tpr Moy= sum(tpr)./14
% Comparaison
ratio =ttmr Moy./tpr Moy

% COMMUNICATION SOL-AIR PAR VOIE VDL
% mi : nombre des liens
m5=3 ;
m6=3 ;
% ni : nombre des paquets
n5=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2 ] ;
n6=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2 ] ;
% pi : longueur d'un paquet
p5=1304 ;
p6=1408 ;
% li : longueur de chaque message
l5= p5.* n5 ;
l6=p6.*n6 ;
% di : débit en bps
d5=31500 ;
d6=10485760 ;
tm5=l5./d5 ;
tm6=l6./d6 ;
k5=(n5+m5-1)./n5 ;
k6=(n6+m6-1)./n6 ;
tpr5=k5.*tm5 ;
tpr6=k6.*tm6 ;
% délai d'acheminement en commutation des paquets
tprv=tpr5 +2.*tpr6
% délai d'acheminement en commutation des messages
ttmv=(m5.*tm5)+(2.*(m6.*tm6))
ttmv Moy= sum(ttmv)./14
tprv Moy= sum(tprv)./14
% Comparaison
ratiov=ttmv Moy./tprv Moy
ratiosv=ttps Moy./tprv Moy
ratiosr=ttps Moy./tpr Moy

```

ratiovr=ttpvmoy./tprmoy

tps =

Columns 1 through 4

3.01086658296131 3.56557700892857 5.78415015811012 2.45669326636905

Columns 5 through 8

2.45669326636905 2.45696182105655 2.45669326636905 4.67526641555060

Columns 9 through 12

3.01140369233631 3.01140369233631 3.01140369233631 3.56557700892857

Columns 13 through 14

3.56584556361607 2.45669326636905

ttms =

Columns 1 through 4

4.67365508742560 6.89169112723214 15.76302962239583 2.45723037574405

Columns 5 through 8

2.45723037574405 2.45803603980655 2.45723037574405 11.32856887090774

Columns 9 through 12

4.67526641555060 4.67526641555060 4.67526641555060 6.89169112723214

Columns 13 through 14

6.89249679129464 2.45723037574405

ttmsmoy =

5.62527781542304

ttpsmoy =

3.24894490725978

ratios =

1.73141680637715

ttpr =

Columns 1 through 4

0.00246429443359 0.00452499389648 0.01188507080078 0.00187530517578

Columns 5 through 8

0.00187530517578 0.00233078002930 0.00187530517578 0.00894165039063

Columns 9 through 12

0.00358886718750 0.00382919311523 0.00380249023437 0.00431137084961

Columns 13 through 14

0.00503387451172 0.00187530517578

ttmr =

Columns 1 through 4

0.00562133789062 0.01180343627930 0.03388366699219 0.00385437011719

Columns 5 through 8

0.00385437011719 0.00522079467773 0.00385437011719 0.02505340576172

Columns 9 through 12

0.00899505615234 0.00971603393555 0.00963592529297 0.01116256713867

Columns 13 through 14

0.01333007812500 0.00385437011719

ttmrmoy =

0.01070284162249

tprmoy =

0.00415812901088

ratior =

2.57395612172682

```

ttpv =
Columns 1 through 4
0.20832690042163 0.33332304067460 0.79164222160218 0.16666152033730
Columns 5 through 8
0.16666152033730 0.20832690042163 0.16666152033730 0.62498070126488
Columns 9 through 12
0.29165766059028 0.29165766059028 0.29165766059028 0.33332304067460
Columns 13 through 14
0.37498842075893 0.16666152033730
ttmv =
Columns 1 through 4
0.37498842075893 0.74997684151786 2.12493438430060 0.24999228050595
Columns 5 through 8
0.24999228050595 0.37498842075893 0.24999228050595 1.62494982328869
Columns 9 through 12
0.62498070126488 0.62498070126488 0.62498070126488 0.74997684151786
Columns 13 through 14
0.87497298177083 0.24999228050595
ttvmv =
0.69640706712372
ttpvmoy =
0.31546644920989
ratiov =
2.20754716981132
ratiosv =
10.29886035550528
ratiosr =
7.813477885744743e+002
ratiovr =
75.86740295559044

```

b-Cas air-sol

```

» %COMMUNICATION AIR-SOL PAR VOIE SATELLITE
m1=4 ;
m2=3 ;
n1=[2 3 7 1 1 1 1 5 2 2 2 3 3 1] ;
n2=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2] ;
p1=5816 ;
p2=1408 ;
l1= p1.* n1 ;
l2=p2.*n2 ;
d1=10500 ;
d2=10485760 ;
tm1=l1./d1 ;
tm2=l2./d2 ;
k1=(n1+m1-1)./n1 ;
k2=(n2+m2-1)./n2 ;
ttp1=k1.*tm1 ;
ttp2=k2.*tm2 ;

```

```

% délai de propagation
dp=0.24 ;
% délai d'acheminement
ttps=(dp+ttp1) +2.*ttp2
ttms=(m1.*tm1)+(2.*(m2.*tm2))+dp
ttmsmoy=sum(ttms)./14
ttpsmoy=sum(ttps)./14
ratios=ttmsmoy./ttpsmoy
%COMMUNICATION AIR-SOL PAR VOIE RADAR(REPONSE)
m3=3 ;
m4=3 ;
n3=[40 87 252 28 28 35 28 182 62 71 70 79 96 28 ] ;
n4=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2] ;
p3=112 ;
p4=1408 ;
l3= p3.* n3 ;
l4=p4.*n4 ;
d3=1048576 ;
d4=10485760 ;
tm3=l3./d3 ;
tm4=l4./d4 ;
k3=(n3+m3-1)./n3 ;
k4=(n4+m4 -1)./n4 ;
ttp3=k3.*tm3 ;
ttp4=k4.*tm4 ;
% délai d'acheminement
tpr=ttp3 +2.*ttp4
ttmr=(m3.*tm3)+(2.*(m4.*tm4))
ttmr Moy=sum(ttmr)./14
tpr Moy=sum(tpr)./14
rator=ttmr Moy./tpr Moy

%COMMUNICATION AIR-SOL PAR VOIE VDL
m5=3 ;
m6=3 ;
n5=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2 ] ;
n6=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2] ;
p5=1304 ;
p6=1408 ;
l5= p5.* n5 ;
l6=p6.*n6 ;
d5=31500 ;
d6=10485760 ;
tm5=l5./d5 ;
tm6=l6./d6 ;
k5=(n5+m5-1)./n5 ;
k6=(n6+m6-1)./n6 ;
ttp5=k5.*tm5 ;
ttp6=k6.*tm6 ;
% délai d'acheminement

```

```

ttpv=ttp5 +2.*ttp6
ttmv=(m5.*tm5)+(2.*(m6.*tm6))
ttvmoy=sum(ttmv)./14
ttpvmoy=sum(tpv)./14
ratiov=ttvmoy./ttpvmoy
%COMMUNICATION SOL-SOL
n=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2];
p=1408 ;
m=4 ;
l=n.*p ;
d=10485760 ;
tm=l./d ;
ttmss=m.*tm ;
k=(n+m - 1)./n ;
ttpss=k.*tm
ttmssmoy=sum(ttmss)./14
ttpssmoy=sum(ttpss)./14
ratioss=ttmssmoy./ttpssmoy
ratiosv=ttpsmoy./ttpvmoy
ratiosr=ttpsmoy./tprsmoy
ratiovr=ttpvmoy./tprsmoy
ratioss=ttpsmoy./ttpssmoy
ratiosv=ttpvmoy./ttpssmoy
ratiosr=tprsmoy./ttpssmoy

ttps =
Columns 1 through 4
3.01086658296131 3.56557700892857 5.78415015811012 2.45669326636905
Columns 5 through 8
2.45669326636905 2.45696182105655 2.45669326636905 4.67526641555060
Columns 9 through 12
3.01140369233631 3.01140369233631 3.01140369233631 3.56557700892857
Columns 13 through 14
3.56584556361607 2.45669326636905
ttms =
Columns 1 through 4
4.67365508742560 6.89169112723214 15.76302962239583 2.45723037574405
Columns 5 through 8
2.45723037574405 2.45803603980655 2.45723037574405 11.32856887090774
Columns 9 through 12
4.67526641555060 4.67526641555060 4.67526641555060 6.89169112723214
Columns 13 through 14
6.89249679129464 2.45723037574405
ttmsmoy =
5.62527781542304
ttpsmoy =
3.24894490725978
ratios =
1.73141680637715
tpr =

```

Columns 1 through 4
 0.00582885742188 0.01165466308594 0.03223266601563 0.00427856445312
 Columns 5 through 8
 0.00427856445312 0.00529479980469 0.00427856445312 0.02368164062500
 Columns 9 through 12
 0.00871582031250 0.00967712402344 0.00957031250000 0.01080017089844
 Columns 13 through 14
 0.01288452148438 0.00427856445312
 ttmr =
 Columns 1 through 4
 0.01523437500000 0.03271179199219 0.09444580078125 0.01058349609375
 Columns 5 through 8
 0.01058349609375 0.01363220214844 0.01058349609375 0.06879272460937
 Columns 9 through 12
 0.02389526367188 0.02677917480469 0.02645874023438 0.03014831542969
 Columns 13 through 14
 0.03640136718750 0.01058349609375
 ttmrmoy =
 0.02934526715960
 ttpmoy =
 0.01053248814174
 ratiomoy =
 2.78616664597045
 ttpv =
 Columns 1 through 4
 0.20832690042163 0.33332304067460 0.79164222160218 0.16666152033730
 Columns 5 through 8
 0.16666152033730 0.20832690042163 0.16666152033730 0.62498070126488
 Columns 9 through 12
 0.29165766059028 0.29165766059028 0.29165766059028 0.33332304067460
 Columns 13 through 14
 0.37498842075893 0.16666152033730
 ttmv =
 Columns 1 through 4
 0.37498842075893 0.74997684151786 2.12493438430060 0.24999228050595
 Columns 5 through 8
 0.24999228050595 0.37498842075893 0.24999228050595 1.62494982328869
 Columns 9 through 12
 0.62498070126488 0.62498070126488 0.62498070126488 0.74997684151786
 Columns 13 through 14
 0.87497298177083 0.24999228050595
 ttmvmoy =
 0.69640706712372
 ttpvmoy =
 0.31546644920989
 ratiomvmoy =
 2.20754716981132
 ttpss =
 Columns 1 through 4
 0.00080566406250 0.00120849609375 0.00268554687500 0.00067138671875

Columns 5 through 8
0.00067138671875 0.00080566406250 0.00067138671875 0.00214843750000
Columns 9 through 12
0.00107421875000 0.00107421875000 0.00107421875000 0.00120849609375
Columns 13 through 14
0.00134277343750 0.00067138671875
ttmssmoy =
0.00299246651786
tpssmoy =
0.00115094866071
ratioss =
2.60000000000000
ratiosv =
10.29886035550528
ratiosr =
3.084688882187256e+002
ratiovr =
29.95174976363602
ratioss =
2.822840860028860e+003
ratiosv =
2.740925464165464e+002
ratiosr =
9.15113636363636

c-Cas sol-sol

» %COMMUNICATION SOL-SOL

% n : nombre des paquets
n=[3 6 17 2 2 3 2 13 5 5 5 6 7 2] ;

% p : longueur d'un paquet
p=1408 ;
% m : nombre des liens
m=4 ;
% l : longueur des messages
l=n.*p ;

% d : débit en bps
d=10485760 ;
tm=l./d ;

% délai d'acheminement en commutation des messages
ttmss=m.*tm ;
k=(n+m - 1)./n ;
%délai d'acheminement en commutation des paquets
tpss=k.*tm
ttmssmoy=sum(ttmss)./14
tpssmoy=sum(tpss)./14

% Comparaison

ratioss=tmssmoy./tpps moy

tpps =

Columns 1 through 4

0.00080566406250 0.00120849609375 0.00268554687500 0.00067138671875

Columns 5 through 8

0.00067138671875 0.00080566406250 0.00067138671875 0.00214843750000

Columns 9 through 12

0.00107421875000 0.00107421875000 0.00107421875000 0.00120849609375

Columns 13 through 14

0.00134277343750 0.00067138671875

tmssmoy =

0.00299246651786

tpps moy =

0.00115094866071

ratioss =

2.60000000000000

Le numero 1 mondial du memoires 

www.rapport-gratuit.com

clubmemoire@gmail.com

BIBLIOGRAPHIE

- [1]- Doc 7910/103 OACI, Indicateurs d'emplacement, 2002
- [2]-OACI, Télécommunication aéronautique : Annexe 10 à la Convention relative à l'Aviation Civile internationale, Volume II, Procédures des télécommunications, Cinquième édition, 1995
- [3]- Doc 4444 ATM/501 OACI, Gestion du trafic aérien, quatorzième édition, 2001
- [4]- Jean-Thierry LAPRESTE, Introduction à MATLAB, Edition Ellipses, 2002
- [5]- Doc 9705-AN/956 OACI, Manual of technical provisions for the Aeronautical Telecommunication Network (ATN), Second edition, 1999
- [6]-Circulaire 174-AN/110 OACI, Circulaire indicative Radar secondaire de surveillance mode S, 1983.
- [7]- Circulaire 212-AN/129 OACI, Liaison des données SSR (Radar secondaire de surveillance) mode S, 1988
- [8]- Doc 9776-AN/970 OACI, Manuel de la liaison numérique VHF (VDL) mode 2, Première édition, 2001
- [9]- Doc 9694-AN/955 OACI, Manuel des applications de la liaison de données aux services de la Circulation Aérienne (ATS), Première édition, 1999
- [10]- Doc 9718-AN/957 OACI, Manuel relatif aux besoins de l'Aviation Civile en matière de spectre radioélectrique, Première édition, 1998
- [11]- Circulaire 225-AN/134 OACI, Etude de l'amélioration du concept d'émission par satellite, 1992

[12]- OACI, Télécommunication aéronautique : Annexe 10 à la Convention relative à l'Aviation Civile internationale, Volume III, Système de télécommunications, Première édition, 1995

[13]- Stéphane LOHIER et Dominique PRESENT, Transmission et Réseaux, 1994

[14]- www.sofreavia.com

[15]- C. SERVIN, Télécoms : de la transmission à l'architecture, 1996

[16]- OACI, Télécommunication aéronautique : Annexe 10 à la Convention relative à l'Aviation Civile internationale, Volume IV, Systèmes radar de surveillance et systèmes anticollision, Deuxième édition, 1998

[17]- Mise en œuvre du concept FANS en Afrique, OACI, 1992

[18]- Doc 9741-AN/962 OACI, Manuel de la liaison de données HF, Première édition, 2000

[19]- Christian Schüller, Le Micro : Architecture matérielle et logicielle, Ellipses édition, 2000

Auteur : RAKOTOARIMANANA Nirison

**Titre : EVALUATION DE LA PERFORMANCE DU RESEAU ATN :
- CAS DE MADAGASCAR-**

Nombre de pages : 91

Nombre de figures : 24

Nombre de tableaux : 18

RESUME

Grâce aux progrès de la technologie et à la baisse de coûts de matériels électroniques, la mise en place du réseau ATN est maintenant devenue monnaie courante pour tous pays aussi bien développés que sous développés.

Le présent travail est basé sur l'Evaluation de sa performance dans le cas de Madagascar. Cette évaluation revient à déterminer les trois paramètres de performance du réseau : sa disponibilité, son efficacité et le délai d'acheminement de messages. Les résultats de simulation montrent que son implémentation résout tous les problèmes du réseau actuel à Madagascar tant sur le plan technique que opérationnel.

Mots clés : ATN, aéronefs, ATS, ATCC, AMRT, AVLC, AMRT, AMSS, CADLP, CGDLP, CSMA, CNS, disponibilité, délai d'acheminement, DLP, D8PSK, Ethernet, efficacité, interconnexion, ISO, message aéronautique, mode connecté, mode S, MATLAB, OSI, radar, VDL.

Rapporteur : Madame RABEHERIMANANA Lyliane Irène

Adresse de l'auteur : Lot IVH 115 Ankadifotsy Antananarivo 101