

Sommaire

Sommaire	1
Liste des figures	4
Liste des tableaux	5
INTRODUCTION GENERALE.....	6
Chapitre I: GENERALITES	8
I.1 Introduction.....	8
I.2 L'avionique classique contre l'avionique nouvelle.....	8
I.3 Système embarqué.....	9
I.4 Les instruments de bord.....	10
I.5 Le concept CNS	10
I.5.1 Aircraft communication addressing and reporting system (ACARS).....	11
1.5.2 Le vor (VHF omnidirectional range).....	21
1.5.3 Le DME (distance measuring equipment).....	22
1.5.4 L'ILS (instrument landing system)	22
1.5.5 Automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-b).....	22
I.6 La communication aéronautique	24
I.7 L'architecture des réseaux	24
1.7.1Le réseau linéaire.....	25
1.7.2 Topologie en anneau.....	25
1.7.3Topologies en étoile	26
1.7.4Le réseau maille.....	27
1.7.5 Le réseau en arbre.....	27
1.7.6 Réseau en bus	28
I.8 Les protocoles réseaux	29
I.9 Les bus avioniques.....	29
I.10 Les bus ARINC	30
1.10.1 Historique de l'ARINC	30
1.10.2 Catégorie des normes.....	31
Chapitre II: Bus ARINC 429	
II.1 Introduction.....	33
II.2 Description	33
II.3 Support physique	34

II.4	Description électrique	34
II.5	Principe de base	35
II.6	Transmission -Encodage des bits.....	35
II.7	Niveaux.....	36
II.8	Temps et vitesse.....	37
II.9	Format des mots.....	38
II.10	Ordre de transmission.....	39
II.11	L'étiquette « LABEL ».....	39
II.12	Source et destination SDI	41
II.12.1	Identification de la source	41
II.12.2	Identification de destination	42
II.13	La donnée	44
II.14	Le champ SSM (Sign/Status Matrix)	46
II.15	Le champ P	48
II.16	Données discrètes	48
II.17	Mot ARINC 429 d'altitude	49
II.18	Décodage du mot	50
II.19	Conclusion	52
 Chapitre III : Bus ARINC 629		
III.1	Description	53
III.2	Support physique	56
III.3	Format des mots.....	56
III.4	Niveau Liaison.....	57
 Chapitre IV : L'AFDX		
IV.1.	Introduction.....	59
IV.2	Description	59
IV.3	Choix technologiques	60
IV-4	Principe de fonctionnement.....	60
IV. 5	Support physique	62
IV.6	Architecture logique.....	64
IV.6.1	La notion de Virtual Link.....	66
IV.6.2	Le commutateur AFDX.....	67

Conclusion générale	68
ANNEXE.....	69
Glossaires	71
Références	76

Liste des figures

Figure 1 . 1: La différence entre l'avionique nouvelle et classique.....	9
Figure 1 . 2: Communication à travers un réseau ATN.....	12
Figure 1 . 3: Affichage des informations de l'ACARS.....	14
Figure 1 . 4:Affichage de la page initiale du MCDU (données fms).....	16
Figure 1 . 5: La couverture mondiale par l'ACARS.....	17
Figure 1 . 7: L'environnement de l'FMS et CDU.	19
figure 1 . 6: L'équipement CMU-900.....	19
Figure 1 . 8: Cockpit.....	20
Figure 1 . 9:L'équipement MCDU.....	20
Figure 1 . 10: Deux azimuths relatifs à une balise VOR.....	21
Figure 1 . 11: L'atterrissage d'un avion.....	22
Figure 1 . 12: Le réseau linéaire.....	25
Figure 1 . 13: Topologie en anneau.	26
Figure 1 . 14: L'architecture du réseau en étoile.....	26
Figure 1 . 15: Topologie en maille.	27
Figure 1 . 16: Topologie d'un réseau en arbre.	27
Figure 1 . 17 :Topologie d'un réseau en bus.....	28
Figure 1 . 18: Les différents bus implantés sur l'avion moderne.....	32
Figure2. 1: Architecture du bus ARINC 429.....	33
Figure2. 2 :Paire de câbles torsadés et blindés.....	34
Figure2. 3 : Encodage Bipolaire RZ.....	36
Figure2. 4 :Paramètre de l'encodage.....	37
Figure2. 5 :Format des mots ARINC 429.	38
Figure2. 6 :Ordre de transmission.....	39
Figure2. 7 :Diagramme d'identification de la source.	42
Figure2. 8 :Diagramme d'identification de destination.	43
Figure2. 9 :La Données codée en Binaire.	45
Figure2. 10 : La donnée codée en BCD (binaire codé décimale).....	45
Figure2. 11 :Exemple des différents formats de données ARINC 429.....	49
Figure2. 12 :Label d'altitude.....	50
Figure2. 13 :Exemple d'un mot d'altitude.....	50
Figure 3. 1 : La topologie de bus ARINC 629.....	54
Figure 3. 2 : Le bus ARINC 629.....	55
Figure 3. 3 : Partie Globale et locale de ARINC 629.....	55
Figure 3. 4 : Format des mots ARINC 629.....	56

Liste des tableaux

Tableau 1. 1:Fréquences des stations VHF.....	17
Tableau 1. 2: Fréquences des stations HF.	18
Tableau 2. 1 : Le binaire des étiquettes.	40
Tableau 2. 2 :Exemple de Label.....	41
Tableau 2. 3 :Tableau de vérité d'identification de la source.	42
Tableau 2. 4 :Tableau de vérité d'identification de destination.	43
Tableau 2. 5 : Exemple de ID.....	44
Tableau 2. 6 :Tableau de vérité de Signe de SSM pour BNR.	46
Tableau 2. 7 :Tableau de vérité de champ SSM pour BNR.....	47
Tableau 2. 8 :Tableau de vérité de champ SSM pour BCD.	47
Tableau 2. 9 :Interprétation du label d'un mot ARINC 429.....	51

INTRODUCTION GENERALE

Les architectures des réseaux embarqués avioniques connaissent actuellement des évolutions importantes dues essentiellement à l'augmentation de la complexité des systèmes embarqués, en terme d'accroissement du nombre de fonctions intégrées et donc des connexions entre ces fonctions. Ces problèmes de maîtrise de la complexité peuvent tirer partie des évolutions technologiques basées sur la notion d'architecture modulaire (qui vise un partage accru des ressources de traitement et de communication), mais la croissance du nombre de communications multi points est telle que la mise en œuvre de réseaux embarqués constitue un des enjeux majeurs des architectures de nouvelle génération.

Différentes propositions de bus de communication avioniques ont été faites en particulier dans le cadre de l'ARINC qui est l'organisme de normalisation pour les architectures avioniques civiles. Cependant, la plupart de ces propositions reposent sur des moyens de communications assez anciens, comme les Bus ARINC 429 qui sont des bus mono émetteurs mais de performances limitées (100 kbits/s) qui ne répondent pas aux demandes des avionneurs actuels, même s'ils sont d'une simplicité et d'une fiabilité importante. En plus de la limitation des capacités, le contexte mono-émetteur de ces bus empêche la croissance des systèmes avioniques du fait que ces systèmes intègrent des applications et des liaisons de plus en plus maillées et renforcées. Ceci conduit à une augmentation des interconnexions entre les différents équipements et par conséquent une augmentation en nombre et en volume des bus utilisés, ce qui ne répond pas convenablement aux contraintes strictes en volume et en poids des systèmes avioniques.

Une autre proposition de bus de communication avionique par Boeing consiste à embarquer des bus ARINC 629 dans le cockpit du 777, ces bus sont multi-émetteurs avec des performances bien meilleures (2 Mbps jusqu'à 120 utilisateurs). Cette amélioration des bus avioniques prend en compte les contraintes du déterminisme et du temps réel spécifiques à des applications avioniques, directement au niveau des techniques de multiplexage temporel proposées. Mais cette technologie n'est plus considérée comme solution satisfaisante au problème de l'évolution du trafic dans les réseaux avioniques civils en raison du coût global de sa mise en œuvre.

L'évolution des techniques des réseaux locaux de transmission de données (Ethernet commuté, ATM, ...) a permis d'apporter de nouvelles réponses aux avionneurs et d'envisager leur utilisation dans ce contexte, même si le caractère non-déterministe des réseaux commutés doit être compensé par des hypothèses fortes, notamment sur les trafics d'entrée du réseau. La solution retenue par Airbus pour la nouvelle génération A 380 consiste à réutiliser les bases de l'Ethernet commuté. Cette technologie permet une réutilisation d'outils de développement et de composants matériels existant pour laquelle il existe une longue expérience industrielle, ce qui permet d'avoir une bonne confiance en fiabilité du matériel et sur la facilité de sa maintenance. Cette solution est alors

standardisée avec la norme ARINC 664 en Ethernet commuté Full Duplex, l'AFDX (*Avionics Full Duplex*), pour adapter les protocoles standards au contexte aéronautique.

L'Ethernet commuté est ainsi mis en application comme architecture de communication pour les systèmes avioniques.

Cependant, cette technologie utilisée comme architecture de communication ne comporte pas de mécanismes internes permettant d'assurer que le réseau offrira bien la qualité de service requise, qui comprend entre autres une latence maîtrisée, ainsi que l'absence de perte de trames par congestion. En effet, les commutateurs prescrits par la norme ARINC 664 sont conformes à la norme IEEE 802.1D, avec laquelle il est possible de perdre des trames. En effet, le problème se situe alors au niveau des commutateurs, où les différents flux vont entrer en compétition pour l'utilisation des ressources du commutateur. En effet, les confluences de trafic sont potentiellement sources de non-déterminisme des latences de traversée du réseau et peuvent provoquer des congestions des ports de sortie de commutateurs. Afin de répondre à ce problème de non déterminisme dans le réseau AFDX, plusieurs méthodes d'analyse des propriétés temporelles des moyens de communication (latence, débit, gigue, ...) ont été employées. Ces dernières qui tentent de vérifier les contraintes temporelles dans le réseau permettent de borner les délais de traversée du réseau avec des hypothèses souvent pessimistes.

Vu l'importance de ces bus, nous l'avons choisi comme sujet de notre projet sous le thème de «Etude des différents bus avion». Nous avons divisé notre travail en quatre chapitres :

1^{er} Chapitre : Généralités sur la communication aéronautique

2^{eme} Chapitre : Bus ARINC 429

3^{eme} Chapitre : Bus ARINC 629

4^{eme} Chapitre : L'AFDX

Chapitre I

GENERALITES

I.1 Introduction

L'avionique est une traduction littérale du terme générique américain "avioncs", fusion des termes "avion et electronics", pour désigner l'ensemble des équipements embarqués sur un aéronef, dont les commandes et les contrôles sont disposées au poste du pilotage.

On définit l'avionique comme l'ensemble des équipements électroniques, électriques et informatiques qui aident au pilotage des aéronefs et des astronefs dans l'espace aérien ou extra planétaire dont les conditions de pression, température, humidité sont inhabituelles pour les systèmes électriques, électromécaniques et informatiques classiques.

En effet, l'avionique s'est énormément développée après le second conflit mondial, D'abord par l'irruption de l'électronique à la fin des années 50, l'informatique à la fin des années 70, ainsi le passage de l'avionique analogique à l'avionique numérisée. [4]

I.2 L'avionique classique contre l'avionique nouvelle

Le concept de l'avionique nouvelle, ou avionique modulaire intégrée est basé sur l'existence, dans un avion, de sous-systèmes comme le système du train d'atterrissage, le système du fuel, celui des commandes du vol...etc.

En avionique classique, les équipements sont répartis dans tout l'avion à proximité des sous systèmes qu'ils commandent. Tous ces équipements sont reliés entre eux et au cockpit d'où proviennent les commandes. L'inconvénient majeur de ce modèle est le poids du câblage très élevé et aussi les coûts des équipements (environ 40% du coût d'un avion).

Contrairement à l'avionique classique (jusqu'à l'airbus A340), l'avionique nouvelle partage les ressources de calcul et de communication. Le but principal est de réduire les ressources matérielles, de limiter les types de cartes électroniques des systèmes avioniques et de les rassembler dans différents endroits répartis dans l'avion afin aussi de réduire le poids du câblage.

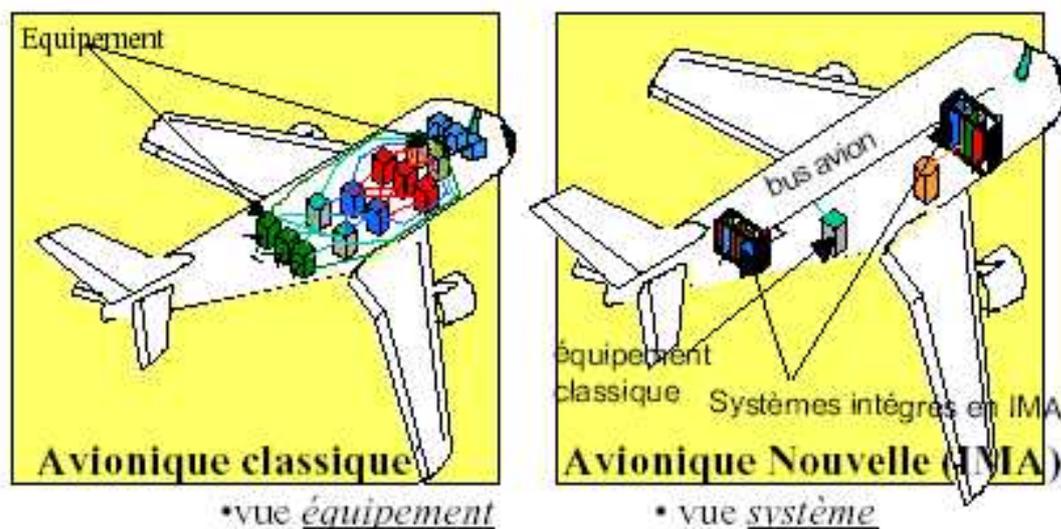


Figure 1.1: La différence entre l'avionique nouvelle et classique. [5]

I.3 Système embarqué

Un système embarqué est un système complexe qui intègre du logiciel et du matériel conçus ensemble afin de fournir des fonctionnalités données. Il contient généralement un ou plusieurs microprocesseurs destinés à exécuter un ensemble de programmes définis lors de la conception et stockés dans des mémoires. Le système matériel et l'application (logiciel) sont intimement liés et immergés dans le matériel et ne sont pas aussi facilement discernables comme dans un environnement de travail classique de type ordinateur de bureau pc (*personal computer*).

Les systèmes embarqués sont désormais utilisés dans des applications diverses tels que le transport (avionique, espace, automobile, ferroviaire), dans les appareils électriques et électroniques (appareils photo, jouets, postes de télévision, électroménager, systèmes audio, téléphones portables), dans la distribution d'énergie, dans l'automatisation, ..., etc.[30]

Les avions sont équipés d'un nombre important de systèmes embarqués, tels que les systèmes de génération et de distribution électrique, de propulsion, du train d'atterrissage, de puissance hydraulique, du contrôle environnemental, de gestion du vol, de pilotage automatique, de communication, etc.[31]

I.4 Les instruments de bord

Les instruments de bord servent à présenter à l'équipage, en particulier au pilote, toutes les informations utiles au maintien en vol de l'aéronef, à la navigation, aux communications avec les infrastructures de la gestion du trafic aérien.

Les instruments de bord sont regroupés selon leur fonction, éventuellement à proximité des commandes correspondantes :

- pilotage : horizon artificiel, anémomètre, altimètre, variomètre, etc.
- navigation : compas, ILS, VOR, GPS, etc.
- gestion des groupes motopropulseurs : tachymètre, température et pression, etc.
- gestion des télécommunications : radio, système d'intercommunication de bord, etc.
- gestion des servitudes : consommation de carburant, tension et intensité électrique, etc.
- accomplissement de la mission : instruments spécialisés. [32]

I.5 Le concept CNS

Le système de communication, de navigation et de surveillance faisant appel aux technologies numériques et aux systèmes satellitaires ainsi qu'à divers niveau d'automatisation appliqué au besoin d'un dispositif de gestion du trafic aérien mondiale homogène qui permettra d'absorber la croissance mondiale du trafic aérien, tout en :

- Rehaussant le niveau de sécurité actuel.
- Rehaussant le niveau de régularité actuel.
- Améliorant l'efficacité globale des opérations dans l'espace aérien et aux aéroports, de façon à accroître la capacité.
- Augmentant les possibilités pour les usagers de suivre les horaires et les profils de vol qu'ils préfèrent.
- Réduisant au minimum les différences d'équipements de bord nécessaires entre les régions.

Les éléments principaux des systèmes CNS sont :

 Communication :

L'élément communication des systèmes CNS permet l'échange de données et de messages aéronautiques entre les usagers et/ou les systèmes automatisés aéronautiques. Les systèmes de communication servent aussi à appuyer certaines fonctions de navigation et de surveillance.

Dans ce chapitre, on met l'accent sur le système ACARS qui est l'un des systèmes d'embarqués le plus important de la communication aéronautique.

 Navigation :

L'élément navigation des systèmes CNS/ATM a pour objet d'assurer une capacité de Détermination précise, fiable et fluide de la position des aéronefs, à l'échelle mondiale grâce à l'introduction de la navigation aéronautique par satellite.

Dans la partie ci-dessous ; on présente les systèmes embarqués les plus anciens de la navigation aérienne tel que VOR, DME et ILS.

 Surveillance :

Les systèmes de surveillance utilisés actuellement peuvent être divisés en deux types Principaux : les systèmes de surveillance dépendante et les systèmes de surveillance Indépendante. Dans les systèmes de surveillance dépendante, la position de l'aéronef est Déterminée à bord puis transmise à l'ATC. Les comptes rendus de position vocaux actuels Sont un système de surveillance dépendante dans lequel la position de l'aéronef est déterminée à partir de l'équipement de navigation de bord puis communiquée par le pilote à l'ATC sur une liaison radiotéléphonique. La surveillance indépendante est un système qui mesure la position de l'aéronef à partir du sol. La surveillance actuelle est basée sur les comptes rendus de position vocaux ou sur le radar (PSR ou SSR), qui mesure la distance et l'azimut de l'aéronef depuis la station au sol.

L'un des exemples de système de surveillance dépendante est l'ADS-b, qui sera présenté dans ce texte. [7] [6]

I.5.1 Aircraft communication addressing and reporting system (ACARS)

Aircraft communication addressing and reporting system ou ACARS est un système de communications codées (selon la norme ARINC) entre un aéronef et une station au sol. C'est un système de communication et de surveillance par radio utilisé en aviation par les exploitants d'aéronefs. Il permet le contrôle automatique de l'état de l'avion en vol, envoyé vers le centre de maintenance de la compagnie aérienne propriétaire de l'avion, mais aussi

l'acheminement de communications opérationnelles et logistique. Ainsi le service de maintenance sait bien avant l'arrivée de l'avion son état, ses pannes éventuelles et donc les interventions à effectuer.[33]

En outre, l'ACARS étant un système de communication par ordinateur qui permet l'échange direct, facile et en temps réel des données entre les avions commerciaux et un réseau de stations au sol vers la tour de contrôle a travers un lien VHF ou par satellite (système SATCOM) voire figure 1.1. [7]



Figure 1.2: Communication à travers un réseau ATN

1.5.1.1 Historique de l'ACARS

Avant l'apparition du système, toutes les communications entre l'avion (c'est à dire, l'équipage de conduite) et le personnel au sol étaient réalisées par l'utilisation des communications vocales. En 1978, la société ARINC a présenté ACARS qui est un système de liaison de données (datalink) qui permet aux stations au sol (aéroports, bases d'entretien des avions, etc...) Et les avions commerciaux de communiquer sans voix, mais en utilisent les données.

Dans de nombreux cas, l'information de communication demande une information vocale ce qui implique des opérateurs radio, et une information des messages de type numériques. Avec le développement des techniques digitales on a pu concevoir un système qui améliore l'ancien système et cela à travers un réseau ATN. Ainsi dans le souci de réduire l'effort de charge de travail de l'équipage et d'améliorer l'intégrité des données. Dans les années 80s, les compagnies aériennes utilisent de plus en plus le système ACARS qui n'a commencé à obtenir une utilisation généralisée par les grandes compagnies aériennes qu'après la fin des années 80s. Comme le montre la figure 2.1, le système ACARS établit une liaison permanente entre le personnel navigant, et le personnel sol à travers une station sol.

Cette communication utilise des postes radio de type VHF ou HF, puis au début des années 90s, elle été renforcée par la communication par satellite (SATCOM).

Enfin, ce système connu sous le nom de ACARS peut également porter un autre nom en fonction de la région du monde et on pourra entendre ainsi parler de AIRCOM en Europe.[7]

1.5.1.2 Objectif de l'ACARS

Le système ACARS est un système de transmission aéroporté permettant de dialoguer entre les services de contrôle de la navigation aérienne et l'équipage en utilisant un réseau de communication air /sol (ATN), le système assurant une transmission automatique de certains rapports pour des divers utilités. Cependant, cet instrument peut avoir d'autres utilités. En effet, il peut être employé pour :

Les opérations de maintenance: l'ACARS est surtout consacré à la maintenance par ce qu'il assure la surveillance des paramètres moteurs et prévision de la maintenance à effectuer avant que l'appareil atterrisse, et cela à partir d'un ordinateur situé au laboratoire sol, voire figure 1.1.

Les opérations de suivie de vol : notre système assure la réception des bulletins météo sur demande, de compte rendu de position, d'informations de régulation de trafic et de clairance du contrôle, et tous sa nommée les opérations de suivie de vol.

Le suivi commercial : les avertissements des passagers en cas de retard prévu, de changement de destination ou de tous autres problèmes plus précis.

Les opérations de gestion : de même il peut effectuer le contrôle et la gestion des systèmes avioniques.

Comme nous l'avons dit, ces informations sont envoyées sous forme de télégramme dont nous pouvons voir un extrait ci-dessous, voire figure 1.3.



Figure 1.3: Affichage des informations de l'ACARS

Le choix des applications de l'ACARS et la définition des programmes opérationnelles est sous la responsabilité des compagnies aériennes car il demande une forte qualification du personnel au système. La liaison utilisée ressemble à un courrier électronique des données entre l'avion et les opérateurs sol à travers les stations au sol.

Jusqu'à présent il existe dans le monde quatre types de réseaux qui permettent d'effectuer une communication entre l'avion et le personnel sol. Ces quatre réseaux sont :

- ARINC aux Etats-Unis.
- Canadien au Canada.
- Japonais au Japon.
- Sita dans les autres régions.

Ainsi tous les stations sol sont compatibles entre eux, et pouvant inter changer les données.

1.5.1.3 Principe de fonctionnement de système ACARS

Comme nous l'avons vu précédemment, cet équipement relativement récent permet d'alléger la charge de travail de l'équipage en assurant une transmission automatique de certaines informations sur la situation de l'appareil à des moments prédéterminés du vol entre l'appareil en vol et les équipes de contrôles au sol.

Ces messages prennent la forme des rapports qui jouent un rôle important dans l'aéronautique.

Ils existent deux types de liaisons dans cette communication :

-liaisons descendantes (ID).

-liaisons montantes (IM).

Liaisons descendantes :

Tous les messages envoyés par l'avion aux stations, sont appelés liaisons descendantes (ID) ou « downlink ». Si le système estime nécessaire de transmettre un message concernant un de ces systèmes, il le fera automatiquement sans passer par l'intermédiaire des pilotes et du MCDU.

Les messages « downlink » présentent généralement des :

- ✚ Rapports de départ et d'arrivée (aéroport de départ et aéroport de destination).
- ✚ Rapports de carburant /la position (niveau de carburant c.-à-d.carburant nécessaire pour effectuer le voyage, ...).
- ✚ Rapports d'incident de moteur ou d'unité de puissance auxiliaire (APU).
- ✚ Messages en temps réel d'échec et avertissements d'ECAM.
- ✚ Paramètres de vérification des systèmes avionique (données de bite).
- ✚ Rapports de résultats de surveillant en vol.
- ✚ Rapports d'entretien automatiques (ex : de système oms,...).
- ✚ Rapports de modification en vol de F-PLN au niveau du MCDU,
- ✚ Etc.

Par exemple, et d'après la figure 1.4, la page « F-PLN » est une page riche en information, car si on appuie sur le bouton correspond:  il apparaît : page INIT qui est une page qui nous renseigne sur la gestion du vol, on y trouve :

- les codes des aéroports de départ.
- les codes de l'aéroport de destination.

- les paramètres horizontaux représentent le cap.
- les paramètres verticaux correspondent à l'altitude et à la vitesse.



Figure 1.4: Affichage de la page initiale du MCDU (données FMS).

Liaisons montantes :

Tous les messages envoyés par les stations ARINC, SITA ou INMARSAT à l'avion sont appelés liaisons montantes ou « uplink ». Dans ce cas, un périphérique va réceptionner le message et le transmettre à un écran de visualisation ou d'une imprimante. Si l'équipage décide d'envoyer un message au contrôle, il pourra le faire à l'aide du clavier alphanumérique du MCDU.

Et les messages transmis en « Uplink » sont généralement:

- ✚ Rapport de temps, (le temps nécessaire pour effectuer le vol entre l'aéroport a et l'aéroport b).
- ✚ Messages opérationnels (texte libre / composé) affichés au niveau de l'MCDU.
- ✚ Rapport contient les données d'initialisation de décollage et données de vent, etc.
- ✚ Rapports des informations météorologiques. [7]

1.5.1.4 Gamme de fréquence de l'ACARS

Le système ACARS fonctionne en VHF (118, 136 mhz : modulation d'amplitude AM), donc pour surveiller les transmissions de l'ACARS, on a besoin d'un module de balayage ou du récepteur de VHF capable d'accorder les fréquences de VHF de bande 118 à 136 MHz. De l'avion, sur les fréquences de base selon la région du monde où il se trouve.

En a des exemples définis sur le tableau 1.1 :

Fréquence (MHZ)	Pays
131.725	Channel Europe
131.525	Secondaire channel Europe
136.900	Chaîne auxiliaire Europe
131.550	Chaîne Etats-Unis + canada
131.450	Channel principale japon

Tableau 1.1: Fréquences des stations VHF.

La figure suivante définit la couverture mondiale par l'ACARS.



Figure 1.5: La couverture mondiale par l'ACARS.

Tous les aéroports ont la possibilité d'opérer sur ces fréquences jusqu'à 300 km, puis passer en HF.

Les stations HF : certaines stations terriennes HF avec leurs fréquences :

Station	Pays	Fréquence (KHZ) en mode U	
S. Francisco	Californie	8.927	6.559
Raeykjavick *	Islande	8.977 6.	712 5.720
Riverhead	New york	11.315	5.523
Auckland	New zélande	13.351	10.084
Shannon e *	Irland	11.384	8.942
Johannesburg	Afrique du sud	21.949	8.834
Moscou	Russie	13.321	10.087
Muharraq	Bahreïn	21.982	17.967

Tableau 1. 2: Fréquences des stations HF.

(*) Sont les stations terriennes au pôle nord.

1.5.1.5 Amélioration du système ACARS

La dernière génération de l'avionique de l'unité du système ACARS s'appelle l'unité de gestion de communication (CMU) et offre des possibilités additionnelles par rapport au mu.

1.5.1.5.1 Présentation du CMU

Pour l'environnement de demain, la société rockwell collins a développé le dernier cri de l'unité de gestion de communication pour les opérations du système ACARS. En tant que plus nouveau membre de la ligne de la série 900 de collins de l'avionique, le CMU-900 est le système le plus sophistiqué de système de transmission de données dans l'industrie. Sa nouvelle technologie numérique offre la gestion la plus rapidement intégrée de communication et la flexibilité et la croissance sans précédent.

La CMU-900 est la version d'ARINC 758 du couteau de système de transmission de données. Conforme avec ARINC 758, il à une entrée-sortie: ARINC 429, fonction avec la fréquence VHF (mode audio: MSK).



Figure 1 . 6: L'équipement CMU-900

1.5.1.5.2 Le système de gestion de vol FMS

Le système de gestion de vol FMS (flight management system) est un ordinateur de bord. Il permet grâce notamment à une centrale inertielle couplée à un calculateur d'assister le pilote pendant le vol. Il lui fournit des renseignements sur le pilotage, la navigation, les estimées de, la consommation, etc.

Donc on peut dire qu'il permet de gérer un vol, on y rentre les aéroports de départ et d'arrivée, les pistes, les routes de vol, ainsi que les compagnies aériennes.

Le FMC (flight management computer) est le principal composant du FMS, il traite les données captées par l'avion et celles entrées par le pilote.

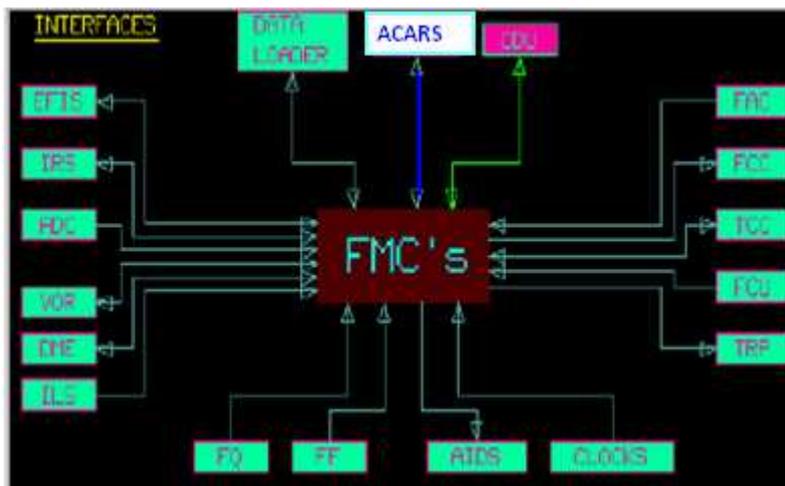


Figure 1.7: L'environnement de l'FMS et CDU.



Figure 1.8: Cockpit

Et d'après cette figure 1.8, on voit l'interfaçage du FMC avec l'ACARS et les différents systèmes avionique; ainsi que le positionnement de l'écran CDU qui est nommé aussi le MCDU (figure 1.9).



Figure 1.9: L'équipement MCDU.

1.5.1.6 Interface de l'ACARS avec le système de gestion de vol (FMS)

Au début des années 90s, une interface de données entre les mus et les systèmes de gestion de vol (FMS) a été mise en place (figure 1.10).

Cette interface a permis à améliorer les plans de vol en liant les renseignements météorologiques a envoyé à partir du sol à la mu. Cette caractéristique de compagnie aérienne a donné la capacité de mettre à jour le FMS en vol, et a permis à l'équipage d'évaluer de nouvelles conditions météorologiques, ou d'autres plans de vol. [7]

1.5.2 Le vor (VHF omnidirectional range)

Le vor est un système de positionnement radioélectrique utilisé en navigation aérienne et fonctionnant avec les fréquences VHF (ou uhf pour les militaires).

Un récepteur vor permet de déterminer un relèvement magnétique par rapport à une station au sol (balise émetteur vor dont la position est connue), et donc le radial sur lequel le récepteur (donc l'avion) est situé. Par déduction il permet de suivre n'importe quelle route passant par la station (en rapprochement ou en éloignement de celle-ci), ou même de déterminer la position exacte de l'avion en utilisant deux balises vor.

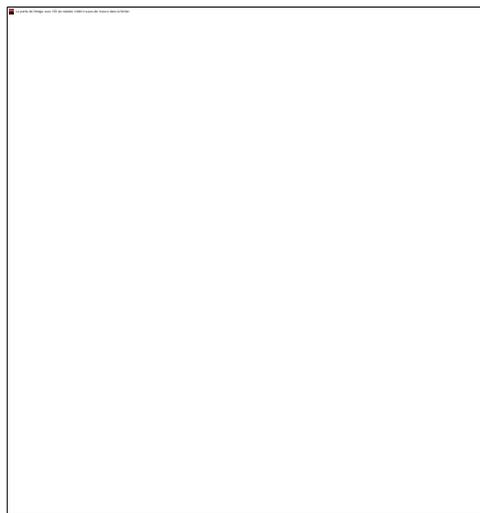


Figure 1.10: Deux azimuths relatifs à une balise VOR

Rappelons que la route magnétique est l'angle orienté du nord magnétique vers la trajectoire que suit l'avion. Par exemple, la route d'un avion se déplaçant vers l'est est égale à 90° .

1.5.3 Le DME (distance measuring equipment)

Le DME est un radio-transpondeur qui permet de connaître la distance qui sépare un avion d'une station au sol en mesurant le temps que met une impulsion radioélectrique UHF (ultra haute fréquence) pour faire un aller-retour.

1.5.4 L'ILS (instrument landing system)

L'ILS est un système d'aide à l'atterrissage qui permet aux aéronefs d'arriver à proximité de la piste. c est le moyen de radio-navigation le plus précis utilisé pour l'atterrissage IFR. L'ILS est aussi un type d'approche (approche dite de précision).

Il comprend deux éléments :

- un localizer (LOC) qui fournit l'écart de l'avion par rapport à l'axe de la piste ;
- un glide path qui fournit l'écart de l'avion par rapport à la pente nominale d'approche (le plus souvent 3 degrés).

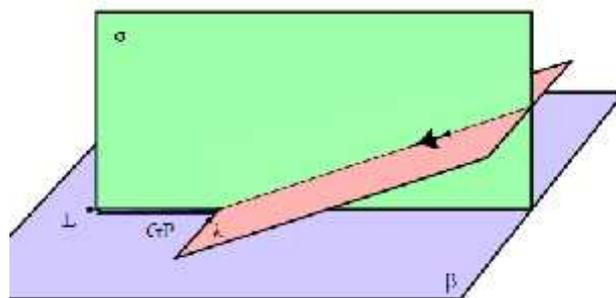


Figure 1.11: L'atterrissage d'un avion [34]

1.5.5 Automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-b)

L'automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-b) est un système de surveillance qui permet de transmettre des paramètres (comme la position et l'identification) par liaison de données en mode diffusion aux utilisateurs au sol ou en vol qui en ont besoin. Un avion équipé de l'ADS-b détermine sa position par un système de positionnement par satellite (GNSS) et envoie périodiquement cette position et d'autres informations aux stations sol et aux autres appareils équipés de l'ADS-b évoluant dans la zone.

- Automatic: sans intervention humaine;
- Dependant : la surveillance dépend des données de navigation fournit à bords par l'avionique;
- Surveillance : fournir au contrôleur une situation du trafic sous sa responsabilité.

-Broadcast : diffusion par l'aéronef des données à tout autre utilisateur au sol ou en vol.

1.5.5.1 Principe de l'ADS-b

L'ADS-b est tout d'abord un moyen de surveillance, c'est-à-dire un moyen pour le contrôle aérien de connaître la position des avions. Il est né de la constatation que les avions modernes, grâce aux systèmes de positionnement par satellite (tels que GPS, GLONASS et bientôt GALILEO), connaissent leur position de manière beaucoup plus précise que le contrôle au sol, car les radars ont une précision limitée. L'idée est donc que l'avion calcule sa propre position, et l'envoie régulièrement par radio. C'est le principe de la surveillance dépendante, ainsi appelée parce qu'elle dépend des moyens installés dans les avions.

L'avion envoie régulièrement sa position et d'autres informations par une diffusion radio dite "ADS-b out" à tous les utilisateurs intéressés, typiquement le contrôle au sol, mais aussi les autres avions s'ils sont équipés d'un récepteur (dit ADS-b "in"). La cadence d'émission de la position dépend de la phase du vol, par exemple toutes les dix secondes en route et toutes les secondes en approche.

En outre, les messages ADS-b ne contiennent pas uniquement la position (3d), mais aussi d'autres informations (qui dépendent de l'implémentation) comme son identification, sa vitesse, son cap, et ses intentions (listes des prochains points de sa route prévue).

Un des avantages de l'ADS-b est que, puisque les avions émettent régulièrement leur position de manière omnidirectionnelle, il n'y a plus besoin de radar : une antenne radio au sol peut recevoir ces messages (station mode S), bien moins coûteuse qu'un radar. Pour cette raison, le déploiement de l'ADS-b est une alternative très intéressante dans les régions non équipées de radar. Dans ce cas bien sûr, pour que le contrôle au sol puisse connaître tous les avions, il doit y avoir une obligation d'emport d'un équipement ads-b dans les espaces contrôlés.

Une seconde application de l'ADS-b, utilisant la liaison "in", est l'ATSAW (airbone traffic situation awareness), permettant aux pilotes d'avoir une image précise (bien plus qu'avec le TCAS) du trafic aérien qui les entoure. Les Etats-Unis sont les principaux promoteurs de cette application qui permettrait théoriquement un pas vers free flight

Comme l'ADS-b véhicule des informations plus précises que le TCAS, l'ADS-b pourrait également être utilisé pour améliorer ce dernier, et même pour concevoir un nouveau système anticollision embarqué.[35]

I.6 La communication aéronautique

D'après le développement de la technologie, la communication entre deux machines via un réseau, est devenu une étape de importante dans le développement, le même ceci à diminuer la charge de l'homme et assurer un bon échange de données.

En peut dire que le réseau est l'ensemble des équipements informatiques reliés physiquement entre eux par un support de transmission (en générale des câbles) et qui peuvent communiquer. Ces relations informatiques sont appelées des nœuds ou des stations (ordinateurs).

Si on parle sur la classification des réseaux on trouve que en à plusieurs types des réseaux :

- 1) Réseaux local (LAN) : ceux sont les réseaux de taille réduite (certaines machines qui ne dépassent pas quelques kilomètres), ils assurent généralement les services suivants :
 - Transfert des fichiers.
 - Utilisation d'un serveur d'applications (tableau, texte...).
 - Communication micro – mainframe.
 - Utilisation d'un serveur de base de données.
- 2) Réseaux à grande distance (WAN): qui demandent la participation de sociétés nationales de télécommunication.
- 3) Réseaux d'entreprise (RLE) : ceux sont des réseaux de département auxquels s'ajoutent des services informatiques ou de télécommunication :
 - Transaction distribué.
 - Passage de la parole.
 - Applications multimédia et télématiques.
 - Accès à des serveurs d'archivage.
 - Etc.

I.7 L'architecture des réseaux

Après avoir la nécessité des réseaux, on passe a la propagation des informations dans un réseau qui est sous le nom de l'architecture du réseau. Elle donne une certaine disposition des différents postes dans un réseau et une échelle de ces postes. Aussi les différentes manières de faire partager le même supporte de transmission à plusieurs machines sont appelées les topologies du réseau.

Les topologies des réseaux logiques les plus fréquemment rencontrées sont :

- Le linéaire
- L'anneau.
- L'étoile.
- La maille.
- En arbre.
- Le bus.

1.7.1 Le réseau linéaire

Le réseau linéaire représenté sur la figure 1.12, utilisé pour son avantage de faible coût de déploiement, mais la défaillance d'un nœud (ordinateur) peut scinder le réseau en deux sous-réseaux.



Figure 1.12: Le réseau linéaire

1.7.2 Topologie en anneau

Sur un réseau en anneau « à jeton » comme le montre la figure 1.13, les équipements sont reliés en boucle par un même support, sur lequel circule un terme particulière, le jeton

Si une station désire transmettre des données à un autre équipement, elle attend de recevoir le jeton, puis au lieu de le régénérer, envoi alors son message. Ce dernier parcourt ensuite l'anneau jusqu'à la station de destination qui l'accepte, tout en le renvoyant vers la station suivante. Lorsque le message revient enfin à la station émettrice, celui-ci est supprimé et le jeton renouvelé.

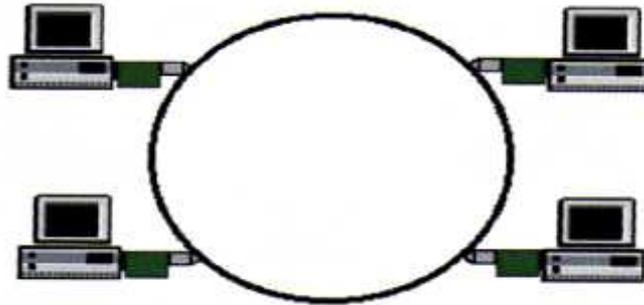


Figure 1.13: Topologie en anneau.

Ainsi que la défaillance d'un nœud casse la structure de l'anneau si la communication est unidirectionnelle.

1.7.3 Topologies en étoile

D'après la figure 1.14, on voit que le réseau en étoile à un nœud central, ainsi que tous les équipements (imprimante, station de travail, pc personnels, etc.) Sont reliés au nœud, il est utilisé comme unité principale qui joue le rôle de moteur. On appelle l'unité principale le serveur ou concentrateur, par lequel passent tous les informations. Si un nœud tombe en panne, il n'affecte pas les autres nœuds du réseau. Pour cela ce type de topologie est le plus courant actuellement.

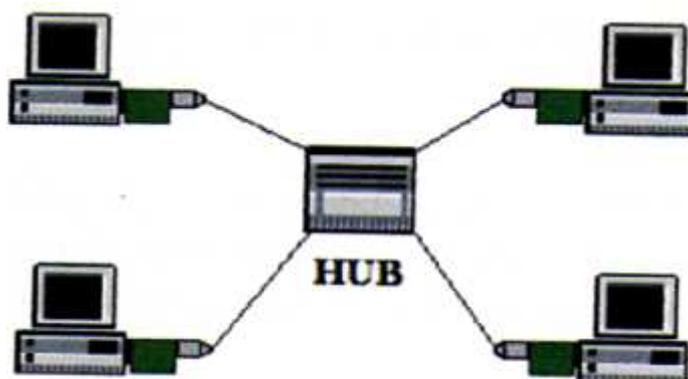


Figure 1.14: L'architecture du réseau en étoile.

1.7.4 Le réseau maille

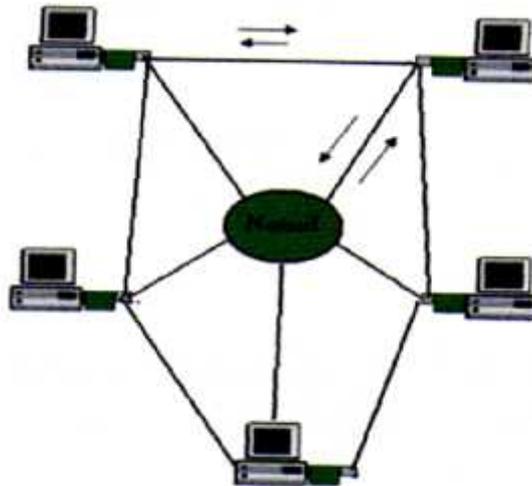


Figure 1.15: Topologie en maille.

Une topologie maille correspond à plusieurs liaisons point à point. (une unité réseau peut avoir (1, n) connexions point à point vers plusieurs autres unités). chaque terminal est relié à tous les autres, voir figure 1.15.

1.7.5 Le réseau en arbre

Aussi connu sous le nom de hiérarchique, elle est divisée en niveaux. Le nœud central de haut niveau est connecté à plusieurs nœuds de niveaux inférieurs, appelés branches, dans la hiérarchie. Ces nœuds peuvent être eux-mêmes être connectés à plusieurs nœuds de niveaux inférieurs, le tout dessine un arbre, comme le montre sur la figure 1.16.

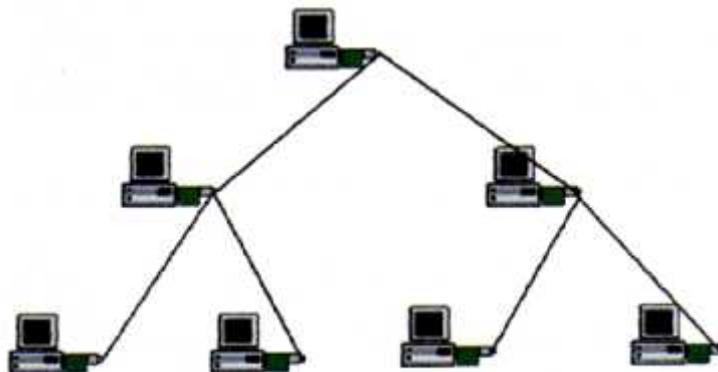


Figure 1.16: Topologie d'un réseau en arbre.

1.7.6 Réseau en bus

Un réseau en bus est une architecture réseau où la connexion des clients est assurée par un câble partagé.

Les réseaux en bus permettent de relier simplement de multiples clients, ils ont également un faible coût de déploiement. Mais posent des problèmes quand deux clients veulent transmettre des données au même moment sur le même bus. Les systèmes qui utilisent une topologie en bus, ont normalement un gestionnaire de collision qui gère l'accès au bus, et la défaillance d'un nœud (ordinateur, unité ou un calculateur) ne divise pas le réseau en deux sous-réseaux.

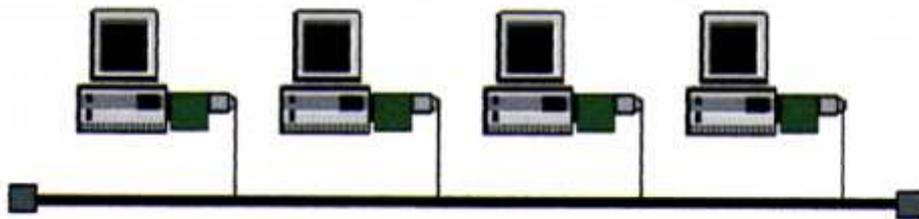


Figure 1.17 : Topologie d'un réseau en bus

D'après la figure 1.17, la propagation est représentée par un câblage unique des unités réseaux. Ces unités sont reliées de façon passive par dérivation électrique ou optique. Pour cela en aéronautique ce réseau est utilisé sous le nom de bus avionique.

Les caractéristiques de cette topologie sont les suivantes :

- Lorsqu'une station est défectueuse et ne transmet plus sur le réseau, elle ne perturbe pas le réseau.
- Le signal émis par une station se propage dans un seul sens ou dans les deux sens.
- Si la transmission est bidirectionnelle : toutes les stations connectées reçoivent les signaux émis sur le bus en même temps (au délai de propagation près).
- Le bus est terminé à ses extrémités par des bouchons pour éliminer les réflexions possibles du signal.

Pour que des ordinateurs puissent communiquer entre eux, il est nécessaire qu'ils observent des règles communes de communications (en bref qu'ils parlent de même langage). Ces règles de communications sont appelés des protocoles.

I.8 Les protocoles réseau

Un protocole est une série d'étapes à suivre pour permettre une communication harmonieuse entre plusieurs ordinateurs, ou c'est l'ensemble des règles et des procédures de communication utilisées de part et d'autre par toutes les stations qui échangent des données sur le réseau.

Il existe de nombreux protocoles réseaux, mais ils n'ont pas tous le même rôle, ou la même façon de procéder. Certains protocoles réseaux fonctionnent au niveau de plusieurs applications, d'autres peuvent être spécialisés dans des tâches correspondantes.

Si on parle du réseau internet, on trouve un ensemble de protocoles regroupés sous le terme « TCP/IP » (transmission control protocol/internet protocol). Une liste non exhaustive des différents protocoles qui peuvent être utilisés sont :

- Http (hyper texte transfert protocol) : c'est celui que l'on utilise pour consulter les pages web.
- Ftp (simple file transfert protocol): c'est le protocole utilisé pour envoyer des mails.
- Pop : c'est le protocole utilisé pour recevoir des mails.
- Telnet : utilisé surtout pour commander des applications cotées serveur en lignes de commande.
- IP (internet protocol) : l'adresse ip vous attribue une adresse lors de votre connexion à un serveur.

Les protocoles sont classés en deux catégories :

- Les protocoles où les machines s'envoient des accusés de réception (pour permettre une gestion des erreurs). Ce sont les protocoles « orientés connexion ».
- Les autres protocoles qui n'avertissent pas la machine qui vont recevoir les données sont des protocoles « non orientés connexion ».

I.9 Les bus avioniques

Le sujet de ce mémoire est une étude des bus avioniques actuellement utilisés dans l'aéronautique.

Dans les années 1950 et 1960, les systèmes électroniques utilisés dans les avions étaient simples. Les connexions entre les systèmes étaient réduites au minimum car elles étaient en général complexes et coûteuses à mettre en œuvre. La majorité des gestions de commandes était donc mécanique. Depuis les années 70, les applications informatiques dans l'avionique

se sont multipliées, d'où la nécessité de développer des bus avioniques capables de relier les différents systèmes et de gérer les transmissions. L'accroissement rapide des fonctions, de la taille et de la complexité des systèmes avioniques a conduit à la standardisation des bus afin d'en réduire le coût et le temps de développement.

Ces bus peuvent se différencier par leur nature physique ou leurs protocoles d'arbitrage ou encore par le débit supporté par celui-ci. Parmi ces bus en va détailler le bus ARINC qui joue un rôle important dans l'aéronautique.

Tout d'abord l'utilisation des bus les plus anciens comme ARINC 429, ARINC 629 qui sont éprouvés. Mais comme nous le verrons lors de leur étude, leurs débits au regard des technologies actuelles sont faibles.

Ensuite la nouvelle tendance : l'avionique modulaire intégrée (ami) qui tente de mettre en œuvre de nouvelles spécifications notamment sur fibre optique pour accroître le débit.

I.10 Les bus ARINC

ARINC (aeronautical radio, incorporated) est une organisation composée des compagnies aériennes principales et des fabricants des avions, elles s'occupent de l'étalonnage dans les équipements d'avion. Pour faciliter cette fonction, ARINC met en service des autobus de communications avec certains types de systèmes avionique.

ARINC a été établi en 1929, il est le principal fournisseur des communications de transport et solutions de technicien de systèmes pour les industries principales: (aviation, aéroports, défense, gouvernement, réseaux, sécurité et transport). Maintenant ARINC à plus de 3200 employés à plus de 120 endroits dans le monde entier.

Les spécifications d'ARINC définissent non seulement la nature physique et caractéristique électriques, mais aussi le format de données envoyées en utilisant l'autobus.

1.10.1 Historique de l'ARINC

Comme nous avons vus, ARINC a été incorporé en 1929, il a été accordé à une charte par la commission fédérale par radio afin de servir l'exploitant simple de l'industrie de compagnie aérienne et coordonnateur de communication par radio en dehors du gouvernement. Par la majeure partie de son histoire, elle a été créée par des compagnies aériennes. Dans les années 50, ARINC a développé la science de l'analyse de fiabilité.

ARINC a également développé des normes pour les plateaux et les lignes des unités remplaçables-standards dans l'avion. Ceux-ci à permis aux équipements électroniques d'être

rapidement remplacée sans attaches ou équipement d'essais complexes et de renvoyer l'avion au service en peu de temps.

En 1978 ARINC a présenté ACARS qui est un système de liaison de données (datalink) qui permet aux stations sol (aéroports, bases d'entretien des avions, etc...) Et les avions commerciales à communiquer sans voix, mais en utilisent les données.

Les compagnies aériennes essayent de faire les recherches pour améliorer ces normes. Le siège de la société ARINC est à Annapolis, dans le Maryland et elle possède deux bureaux locaux, l'un à Londres (établi depuis 1999) pour gérer l'Europe, et l'Afrique, l'autre à Singapour (établi en 2003) pour l'Asie et le Pacifique.

1.10.2 Catégorie des normes

Il existe plusieurs normes ARINC, elles sont classées dans des séries selon leurs références, par exemple : les ARINC de références 404, 429, ... sont classés sur la série 400 et de même pour les autres.

- 🚦 **La série 400** : sont consacrées pour fournir les éléments de conception pour les équipements définis par les standards ARINC 500 et 700, notamment les recommandations pour l'installation, le câblage, les bus de données et les bases de données.
- 🚦 **La série 500** : sont consacrées pour définir les équipements d'avionique analogiques (utilisés sur les B-727, DC-9 et DC-10 aussi bien que sur les nouveaux modèles du Boeing B-737, B-747 et A300).
- 🚦 **La série 600** : les normes de cette série identifient les techniques de base des équipements spécifiés par les recommandations de la série 700. Sur l'avionique numérique dont les liaisons de données.
- 🚦 **La série 700** : les normes de cette série définissent les équipements et les systèmes numériques installés sur les avions en production actuellement, dont les interfaces mécaniques, électriques et logiques des unités interchangeables (Line Replaceable Units - LRUS).
- 🚦 **La série 800** : sont consacrées pour identifier les techniques de base recommandées pour les réseaux de bord des avions: fibre optique, réseaux locaux rapides.
- 🚦 **La série 900** : les normes de cette série consacrées pour définir les systèmes d'avionique modulaire, leurs fonctions et interfaces.

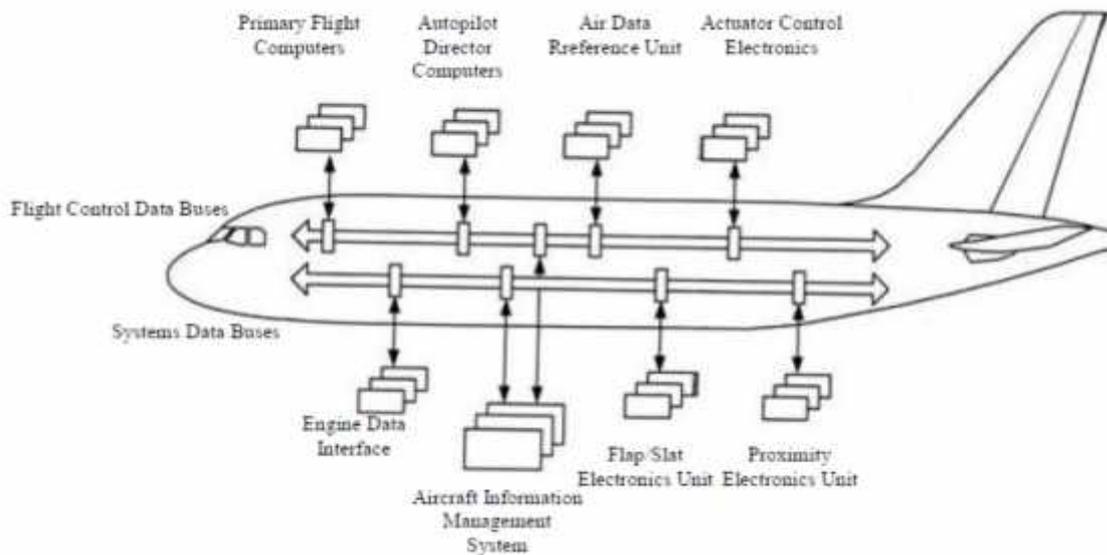


Figure 1.18 : Les différents bus implantés sur l'avion moderne

Après avoir défini la notion ARINC, nous allons étudier plus particulièrement les bus ARINC 429, ARINC 629 et AFDX .ensuite, nous ferons une synthèse des renseignements donnés dans un tableau récapitulatif.

CHAPITRE II L'ARINC 429

II.1 Introduction

L'ARINC 429 est le standard le plus courant. Il fournit la description des fonctions des interfaces du support physique et électrique du système de transmission de données numériques. L'ARINC 429 est un des plus anciens bus avionique. Développé par l'Aeronautical Radio INCorporation en 1977, il est encore utilisé aujourd'hui sur des nouvelles plates-formes même si d'autres bus plus récents sont plus fréquemment retenus.

II.2 Description

Ce bus est un bus de données simple utilisant un seul émetteur et de 1 à 20 récepteurs par bus, comme elle montre la figure 2.1.

On le retrouve dans des avions tels que les Airbus A310/A320 et A330/A340, dans les Boeing du 727 au 767 et dans de nombreux autres systèmes avioniques tels que les hélicoptères Bell. [5], [7], [8], [9].

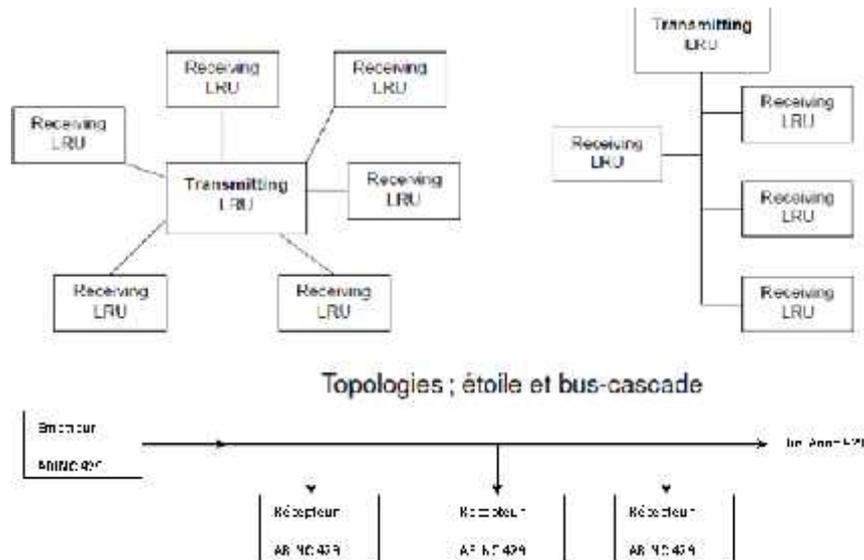


Figure 2. 1: Architecture du bus ARINC 429

II.3 Support physique

[5], [7], [8],[9]

Il s'agit d'une structure point à point. La communication est unidirectionnelle et pour une communication bidirectionnelle entre les systèmes, on utilise deux bus, un dans chaque direction. Un bus ARINC 429 utilise deux fils (A,B) pour transmettre un encodage bipolaire avec retour à zéro (RZ).

Ce bus a un format de données bien spécifique qui inclue la description de base des fonctions et des interfaces électriques pour les systèmes d'information numérique, pour cela est le bus prédominant dans l'avionique.

Les mots de 32 bits sont séparés par 4 bits-time NULL, il n'y a donc pas besoin d'un 3ème fil pour le signal d'horloge. Le bus unidirectionnel utilisé s'appelle DITS ce qui signifie : Mark33 Digital Information Transfert System. C'est une paire torsadée.

Le bus ARINC 429 supporte deux types de débit : un haut débit de 100Kbps pour les 'hautes' données (1% des données) et un faible débit variant entre 12Kbps et 14,5Kbps pour les 'basses' données.

II.4 Description électrique

Le moyen de transmission spéciale par l'ARINC 429 doit être une paire de câbles torsadés et blindés, avec une impédance de 78 Ω . Voir la figure 2.2.

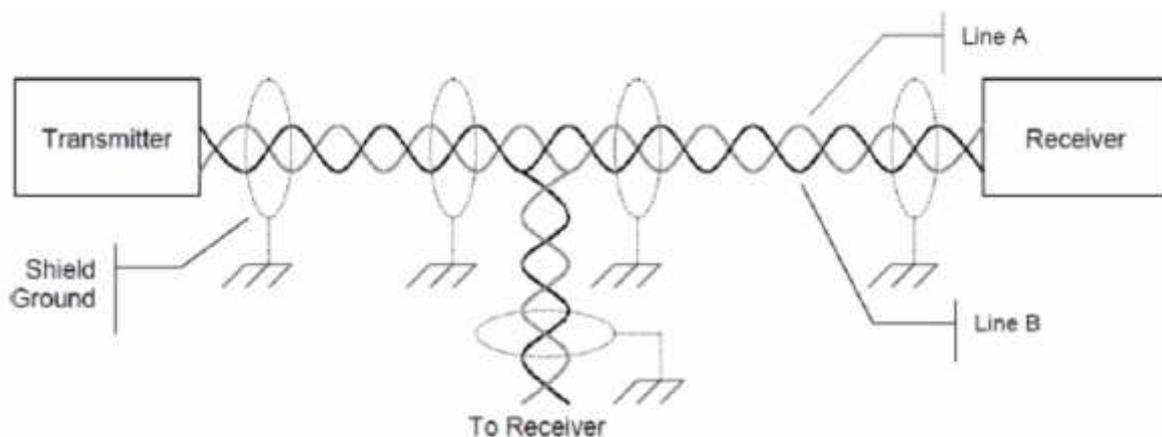


Figure2. 2 : Paire de câbles torsadés et blindés

II.5 Principe de base [5], [7], [8]

Les données sont transférées sur les bus séries ARINC 429 par des mots de 32 bits. Chaque mot est séparé par un ‘trou inter-mots’ de 4 bits (bit-time).

Nous sommes ici dans le cas d’une liaison point à point, donc le système de contrôle est aussi point à point. Trois protocoles sont définis dans ARINC 429 pour les données numériques, discrètes ou fichiers.

Les transferts de données numériques ou discrètes sont effectués en utilisant un champ SAL (System Address Label) unique pour identifier la donnée contenue dans chaque mot.

Les transferts de fichiers de données sont effectués par le protocole Bit-Oriented ou Williamsburg. Dans ce protocole, la source initialise les communications en envoyant des codes pré-définis. Si un transfert Bit-Oriented est désiré, la source enverra le mot code ‘ALO’. Si le récepteur peut recevoir les données, il répond avec ‘ALR’. Dans la plupart des cas, un message consiste en un mot de donnée. Le label définit le type de donnée du mot. Le Bit de parité permet de vérifier la validité de la transmission (en vérifiant qu’un bit ne s’est pas perdu).

De par la simplicité de sa topologie et des protocoles utilisés, ce bus est d’une très grande fiabilité. Et comme il n’y a qu’un seul émetteur par paire de fils, l’ARINC 429 est bien évidemment déterministe. Mais comme la transmission et la réception se font sur des ports séparés, le nombre de fils entre les différents systèmes de l’avion est très élevé.

II.6 Transmission -Encodage des bits

L’émetteur transfère un signal différentiel entre les lignes A et B. Il y a deux débits spécifiés : 12-14.5 Kbps et 100 Kbps $\pm 1\%$. La vitesse la plus utilisée est la lente.

On fait servir un encodage Bipolaire Retour à Zéro (RZ). Comme ça, on a trois états : HIGH, NULL et LOW.

Dans un codage Bipolaire RZ, la transmission d’un 1 logique on le fait en changer l’état NULL au HIGH dans la première moitié de la période, dans la deuxième moitié on retour à l’état NULL. Pour la transmission d’un 0 logique, on le fait comme l’on a expliqué avant, mais à la place de l’état HIGH on met un état LOW. Les mots de 32 bits doivent être séparés par 4 bits-time NULL, et que le récepteur les utilise comme synchronisation entre les différents mots.

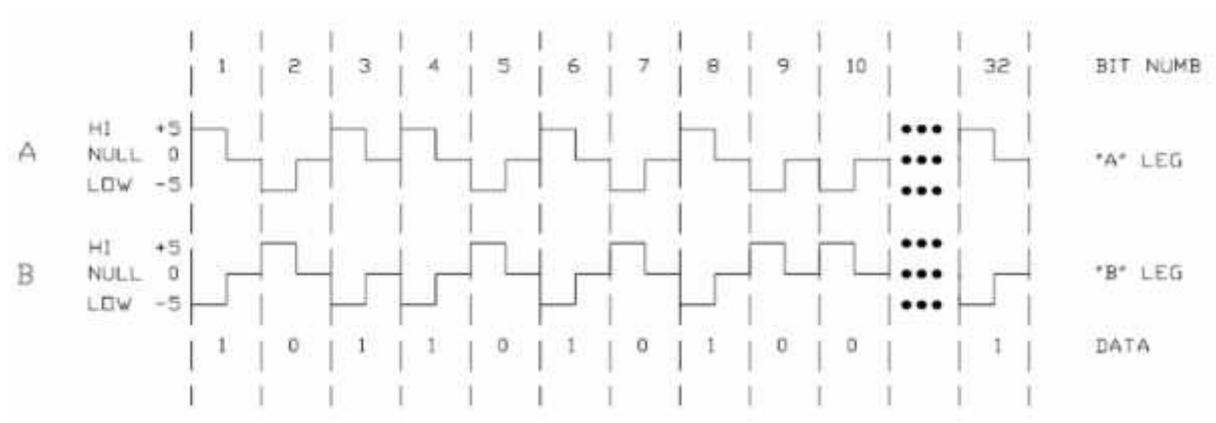


Figure 2.3 : Encodage Bipolaire RZ

II.7 Les niveaux logiques

Les trois niveaux utilisés pour l'encodage entre les 2 brins (A et B) de la paire blindée sont:

Niveau	Ligne A -- Ligne B Côté émetteur	Ligne A -- Ligne B Côté récepteur
HIGH	+10.0 V ± 1.0 V	de +6.5 à +13 V
NULL	0 V ± 0.5V	de +2.5 à -2.5 V
LOW	-10.0 V ± 1.0 V	de -6.5 à -13 V

Côté émetteur, les niveaux entre chaque brin et la masse doivent aussi être maintenus :

Niveau	Ligne A -- Masse Côté émetteur	Ligne B -- Masse Côté émetteur
HIGH	+5.0 V ± 0.5 V	-5.0 V ± 0.5 V
NULL	0 V ± 0.25V	0 V ± 0.25V
LOW	-5.0 V ± 0.5 V	+5.0 V ± 0.5 V

Lorsque l'émetteur ne transmet rien, il place le bus à l'état NULL.

II.8 Les temps et vitesses

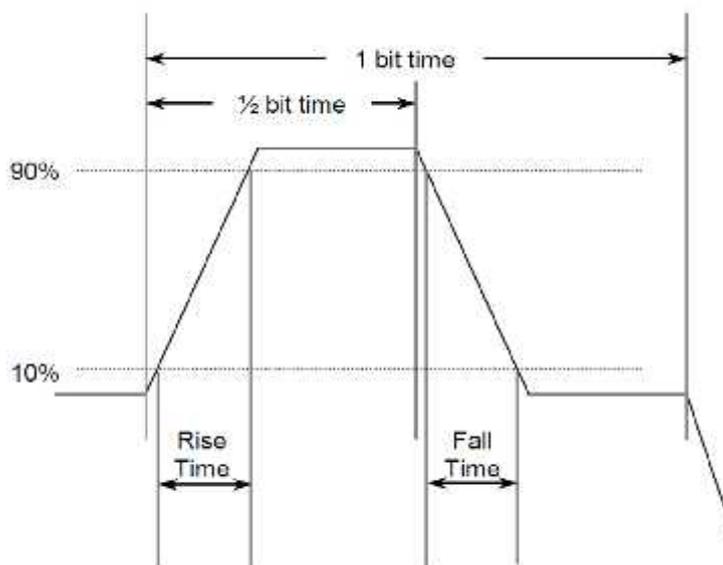


Figure 2. 4 : Paramètre de l'encodage

Il existe 2 vitesses de transmission 12,5 kbit/s et 100 kbit/s. Pour chacune de ces vitesses, la norme impose des temps caractéristiques :

- le taux de transfert (Bit rate),
- la durée d'un bit (1bit time),
- la durée d'un demi-bit (1/2bit time),
- le temps de montée (Rise time),
- le temps de descente (Fall time).

Bit rate	1bit time	1/2bit time	Rise time	Fall time
100kbits/s \pm 1 %	10 μ s \pm 0,25 μ s	5 μ s \pm 0,25 μ s	1,5 μ s \pm 0,5 μ s	1,5 μ s \pm 0,5 μ s
12,5kbits/s \pm 1 %	80 μ s \pm 2 μ s	40 μ s \pm 2 μ s	10 μ s \pm 5 μ s	10 μ s \pm 5 μ s

II.9 Format des mots

Chaque mot qui contient des données ARINC contient 32 bits numérotés de 1 LSB (Le Bit de Poids Faible) à 32 (Le Bit de Poids Fort) MSB, qui contient cinq champs sous forme binaire. D'après la figure 2.5, les cinq champs sont:

- Le champ P : qui est le bit de parité (impaire).
- Le champ SSM : Sign/Status Matrix.
- Le champ des Données.
- Le champ SDI : Source/Destination Identifier.
- Le champ LABEL : ou l'étiquette qui identifie les données.

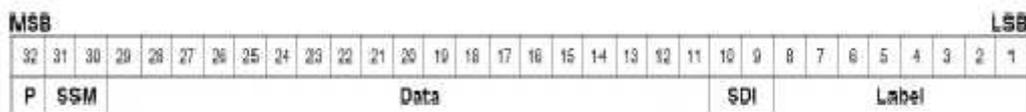


Figure 2. 5 : Format des mots ARINC 429.

Dans la plupart des cas, un message consiste en un mot de donnée. Le label définit le type de donnée du mot.

Le champ P : contient le Bit 32 qui est le bit de parité, il est employé pour vérifier que le mot n'a pas été endommagé ou n'a pas été déformé pendant la transmission.

Le champ SSM : contient les Bits (30 à 31) qui est la Matrice De Signe / Statut, il indique souvent si les données dans le mot sont valides.

On a des codes qui représentent la validation des données du mot qui sont :

OP (opérationnel) : indique que les données dans ce mot sont considérées comme des données correctes.

TEST : indique que les données sont fournies par une source d'essai.

FAIL : indique un échec de matériel qui produit la défaillance des données.

NCD (No Computed Data) : indique que les données sont absentes ou imprécises pour quelque raison autre que l'échec de matériel. Par exemple, les commandes de pilote automatique montreront comme NCD quand le pilote automatique n'est pas mis en marche.

Le SSM peut également indiquer que le signe (+/-) des données ou de l'information liée à lui aiment une orientation (North/South/East/West).

Le champ des Données : les bits (11 à 29) contiennent les données de Bit-domaine (ou Bit-field), le binaire codé en décimale (BCD), et codage de deux compléments binaire (BNR) et qui sont les formats de données communs d'ARINC 429. Des formats de données peuvent également être mélangés.

Le champ SDI: les bits 9 et 10 sont des marques de source/destination SDI et indiquent pour quel récepteur les données sont prévu ou plus habituellement quelle sous-ensemble a transmis les données.

Le champ LABEL: les bits (1 à 8) contiennent une étiquette ou mots d'étiquette (label words), exprimé en octal identifiant le type de données.

II.10 Ordre de transmission [10]

Le bit de poids faible du mot LSB (Least Significant Bit) est transmis en premier temps, voir la figure 2.6. Lors de transfert de mot de bus ARINC, label est transmit de façon que le MSB soit en premier lieu comme elle indique la figure, suivi par l'information de manière que LSB soit le premier.

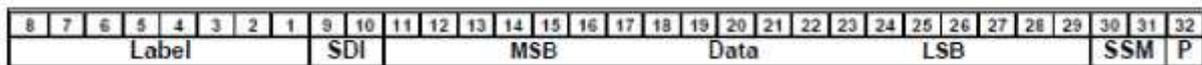


Figure 2. 6 : Ordre de transmission

II.11 L'étiquette « LABEL »

Les étiquettes directives fournissent une partie des spécifications d'ARINC 429 pour les différents types d'équipement. Chaque avion contiendra un certain nombre de systèmes, comme les calculateurs de gestion de vol (FMC), Centrales aérodynamiques, Radios, GPS et d'autres équipements. Chaque type d'équipements est défini suivant des paramètres standards, ce qui est commun à travers tous les fabricants.

Comme nous avons vus, l'étiquette est une partie importante du message, elle identifie l'information contenue dans le mot ARINC 429, elle occupe les huit premiers bits de chaque mot, voir figure 2.5.

À partir de l'équation de base de l'électronique numérique, on peut avoir $2^8 = 256$ combinaisons possibles d'étiquette. Elle est codée en octal dans l'ordre (2 1), (4 2 1), (4 2 1) et elle se lit à partir du LSB (c.à.d. de droite vers la gauche). Et beaucoup de mots peuvent être transmis sur un AutoBus ARINC 429, et le receveur du message décode les étiquettes et choisit les mots nécessaires. Le tableau 2.1, représente des exemples d'étiquette.

2	1	4	2	1	4	2	1	Etiquette	Nom du paramètre
2^1	2^0	2^2	2^1	2^0	2^2	2^1	2^0		
0	0	0	1	0	1	0	1	025	Altitude
0	0	0	1	1	0	0	0	030	Fréquence VHF
0	0	0	1	1	0	1	0	032	Fréquence ADF
0	0	0	1	1	0	1	1	033	Fréquence ILS
0	0	0	1	1	1	0	0	034	Fréquence VOR
0	0	0	1	1	1	0	1	035	Fréquence DME
1	0	0	0	0	1	0	0	204	Altitude barométrique

Tableau 2. 1 : Le binaire des étiquettes.

<i>Label (octal)</i>	<i>Transmitted code (binary)</i>	<i>Equip. ID (hex)</i>	<i>Parameter transmitted</i>	<i>Data format</i>
140	01 100 000	001	Flight Director – Roll	BNR
		025	Flight Director – Roll	BNR
		029	Pre-cooler Output Temperature	BNR
		05A	Actual Fuel Quantity Display	BCD
141	01 100 001	001	Flight Director – Pitch	BNR
		025	Flight Director – Pitch	BNR
		029	Pre-cooler Input Temperature	BNR
		05A	Pre-selected Fuel Quantity Display	BCD
142	01 100 010	002	Flight Director – Fast/Slow	BNR
		003	Flight Director – Fast/Slow	BNR
		025	Flight Director – Fast/Slow	BNR
		05A	Left Wing Fuel Quantity Display	BCD

Tableau 2. 2 : Exemple de Label [13]

Par exemple, pour l'étiquette 204, toutes centrales aérodynamiques fourniront l'altitude barométrique de l'avion, comme le montre le tableau 2.2. Ceci permet un certain degré d'interchangeabilité des données dans les systèmes.

Parce qu'il existe seulement un nombre limité d'étiquettes, beaucoup de paramètres très nécessaires de l'avion utilisent la même étiquette de sources indépendantes. L'étiquette 204 peut avoir une certaine signification complètement différente si elle est envoyée par exemple par le GPS.

II.12 Source et destination SDI

Le SDI sert à identifier la source ou la destination de l'information.

II.12.1 Identification de la source

Les bites 9 et 10 peuvent être employées pour identifier la source du mot, quand des mots de même étiquette sont envoyés de deux installations ou plus, la source de chaque mot est identifiée par le SDI, comme le montre le diagramme de la figure 2.7.

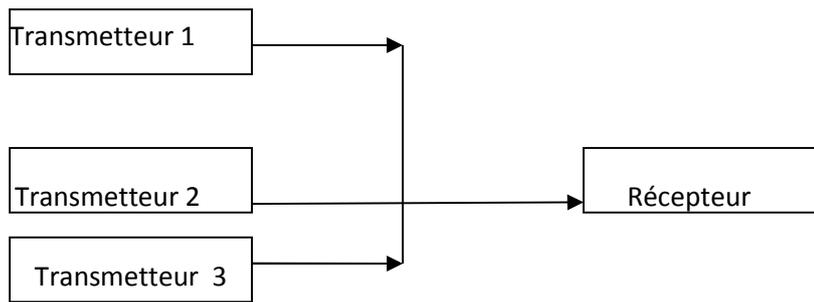


Figure 2. 7 : Diagramme d'identification de la source.

Bit N°		Installation
10	9	
0	0	ALL Call
0	1	Transmetteur 1
1	0	Transmetteur 2
1	1	Transmetteur 3

Tableau 2. 3 : Tableau de vérité d'identification de la source.

II.12.2 Identification de destination

Quant un mot doit être transmis vers une ou plusieurs installations la destination du mot est identifiée par le SDI. Les bits 9 et 10 identifient 1, 2 ou (n) receveurs comme le montre le diagramme de la figure 2.8.

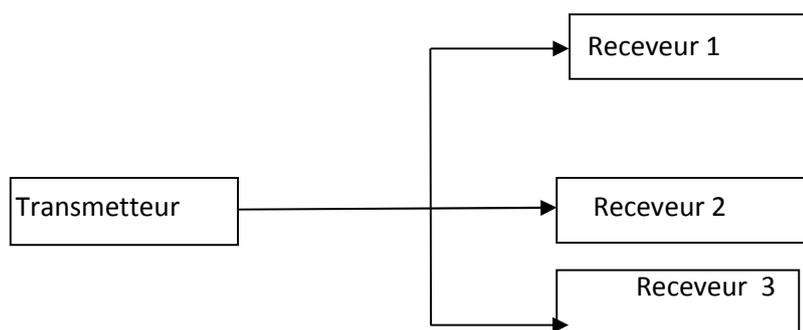


Figure 2. 8 : Diagramme d'identification de destination.

Bit N°		Installation
10	9	
0	0	ALL Call
0	1	Receveur 1
1	0	Receveur 2
1	1	Receveur 3

Tableau 2. 4 : Tableau de vérité d'identification de destination.

<i>Equipment ID (hex)</i>	<i>Equipment type</i>
001	Flight Control Computer
002	Flight Management Computer
003	Thrust Control Computer
004	Inertial Reference System
005	Attitude and Heading System
006	Air Data System
007	Radio Altimeter
025	Electronic Flight Instruments
026	Flight Warning Computer
027	Microwave Landing System
029	ADDCS and EICAS
02A	Thrust Management Computer

Tableau 2. 5 : Exemple de ID [13]

II.13 La donnée

La donnée est transmise en série des impulsions de voyant dans des bus digitaux. L'élément d'information de base est une donnée digitale de 32 bits, ce dernier est codé de deux façons :

En code binaire.

En code BCD.

La donnée codée en binaire occupe le champ de bits (11 à 28) comme le montre la figure 2.9, la bite 28 étant le plus fort.

Le bit 29 est utilisé pour exprimer le « signe » car le SSM est utilisé pour la validité (voir tableau 2.5).

Le bit de poids faible est lui déterminé par le nombre de bits utilisés. Par exemple, si la donnée est encodée sur 16 bits, le bit de poids faible est le bit 14, et les bits 13 à 11 sont inutilisés.

La donnée binaire étant encodée en complément à deux .

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P	SSM		MSB					Data					LSB					SDI		Label											

Figure 2. 9 : La Données codée en Binaire.

La donnée codée en BCD, occupe le champ des bits de 11 à 29, le bit moins signifiant LSB et le bit le plus signifiant MSB de la donnée ; en d'autre terme, les bits 11/14 représentant le poids faible.

Pour la donnée BCD, le champ est divisé en cinq groupes appelés (digits) et chaque digit représente un caractère (CH). Les bits sont regroupés par 4 (bits 11/14, 15/18, 19/22, 23/26) ou par 3 pour les derniers (27/29).

Chaque groupe représente alors un chiffre décimal compris entre 0 et 9 (sauf pour le dernier groupe 0 à 7).

Chaque chiffre possède un poids croissant différent selon une numération de position en base 10 pour former un nombre.

MSB

LSB

P	SSM	BCD CH #1	BCD CH #2	BCD CH #3	BCD CH #4	BCD CH #5	SDI	8	7	6	5	4	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Example		2	5	7	8	6		DME DISTANCE							

Figure 2. 10 : La donnée codée en BCD (binaire codé décimale).

Chaque chiffre possède un poids croissant différent selon une numération de position en base 10 pour former un nombre.

Bits	Poids
11/14	10^{n-4}
15/18	10^{n-3}
19/22	10^{n-2}

23/26 10^{n-1}

27/29 10^n

On peut ainsi représenter des nombres dans les plages suivantes :

- entre 0,0000 et 7,9999 → pour $n = 0$
- entre 00,000 et 79,999 → pour $n = 1$
- entre 000,00 et 799,99 → pour $n = 2$
- entre 0000,0 et 7999,9 → pour $n = 3$
- entre 00000 et 79999 → pour $n = 4$

II.14 Le champ SSM (Sign/Status Matrix)

Le SSM se compose des bits 30 et 31.

Ce champ indique la plupart du temps la validité de la donnée, mais il peut avoir des significations différentes, comme le signe ou l'orientation, en fonction du type de la donnée. Il peut aussi indiquer l'état d'équipement du matériel, le mode opérationnel, comme il peut aussi avoir une signification particulière choisie par l'équipementier.

- ✓ Sign : le SSM d'une donnée numérique identifie le caractère du mot tel que la direction (nord, sud...).
- ✓ Status : le SSM identifie l'état matériel, la validité de la donnée ou bien le teste, comme montré sur les tableaux ci-dessous.

Bit N° 29	Destination
0	Plus, nord, est, droite, vers, au dessus.
1	Moins, sud, ouest, gauche, Au-dessous, venant de.

Tableau 2. 6 : Tableau de vérité de Signe de SSM pour BNR.

Bit N°		Installation
31	30	
0	0	Failure warning
0	1	No computed data
1	0	Functional test
1	1	Normal operation

Tableau 2. 7 : Tableau de vérité de champ SSM pour BNR

FW (Failure warning): quand l'équipement détecte des pannes.

NCD (No Computed Data): donnée non calculée.

FT (Fonctional Test) : permet de tester l'état de l'équipement.

NO (Normal Operation) : fonctionnement correct de l'équipement.

Bit N°		Installation
31	30	
0	0	Plus, nord, est, droite, vers, au dessus.
0	1	No computed data
1	0	Functional test
1	1	Moins, sud, ouest, gauche, Au-dessous, venant de.

Tableau 2. 8 : Tableau de vérité de champ SSM pour BCD.

II.15 Le champ P

Le MSB du mot est toujours le Bit de parité (P) pour ARINC429. Afin d'éviter tout erreur dans une transmission en informatique, on ajoute des bits de vérification aux données à transférer, la technique la plus simple consiste à ajouter un bit (P) à chaque donnée, le bit qui permet d'indiquer si la somme des bits du paquet est nombre pair ou impaire.

Ce bit de (P) permet ainsi de détecter facilement si l'un des bits a été mal transmis, le type de parité devant être défini avant le début de toute transmission.

Dans la plupart des cas, elle est impaire, ce qui signifie que le bit est positionné, lors de l'émission, de telle manière que le nombre des bits à « 1 » dans le mot est impair. Dans ce cas précis, si le nombre de bits à « 1 » est pair, à la réception, c'est qu'un des bits du mot a été altéré pendant la transmission.

II.16 Données discrètes [9]

Dans ce format chaque bit du mot es relie à un paramètre d'un système concert, et selon S'il y a un 1 ou un 0 le significat sera différent. Par exemple, dans un mot avec label 005 (Donnes du moteur) peut avoir un bit associe à un paramètre qui indique si il y a un erreur sur le microprocesseur, si on envoie un 0, il y a un erreur (fail), si on envoie un 1 est correcte (pass). Dans la figure 2.11 on prie voir un exemple.

En plus, dans le mot de 32 bits on peut envoyer aussi données discrètes mélangées soit en format BNR ou BCD. On utilise les bits de remplissage (PAD) en débutant du bit 11

Jusqu' à le data pour envoyer ces données discrètes. Si non, on envoie ces bits fixés à 0(PAD).

	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1					
BNR	P	SSM	Sign	DATA																LSB	SDI	LABEL															
	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	2	1
		Normal	+	256						8	4																										

	P	SSM	DIGIT 1			DIGIT 2			DIGIT 3			DIGIT 4			DIGIT 5			SDI	LABEL																	
BCD	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
			+		2			5				7				8					6															

DISCRETE (exemple)																																
Parity																																
SSM																																
Bit activated																																
Erase activated																																
Interrogate activated																																
Not Used																																
Not Used																																
Not Used																																
NV RAM corrupt																																
Battery low																																
Microprocessor fail																																
RTC fail																																
NV RAM bit fail																																
NV RAM address fail																																
User RAM Fail																																
PRM/Checksum Fail																																
Airinc Received Fail																																
Fail. to clear serial data input																																
PAD																																
PAD																																
SDI																																
	005 (Engine Data)																															

Figure 2. 11 : Exemple des différents formats de données ARINC 429

II.17 Mot ARINC 429 d'altitude

Les données d'altitude sont encodées en BNR. Le label qui correspond à l'altitude, selon la Spécification ARINC 429 Partie 1, Attachment 1-1, est la 203, voir figure 2.12. On peut observer qu'il y a d'autres systèmes associés à ce label, comme la température du réservoir de combustible ou la pression statique, entre d'autres. Cela est parce que dans un aéronef il y a plus de 255 paramètres à échanger entre plus de 255 systèmes, et avec 8 bits de label n'est pas possible couvrir cette demande. La solution est ajouter un identificateur d'équipement et que chacun sait le sien. Mais, normalement, ces identificateurs ne sont pas exploités par les fabricants car ils ne branchent que les équipes qui traitent les mêmes types de données entre eux. Il n'y aura pas une connexion entre un émetteur du système de combustible et un récepteur du système d'altitude.

Code No. (Octal)	Eqpt. ID (Hex)	Transmission Order Bit Position						Parameter	Data				Notes & Cross Ref. to Tables in Att. 6		
		1	2	3	4	5	6		7	8	BOB	BCD		DISC	SAL
2 0 2	0 0 1	1	0	0	0	0	0	1	0	Energy Management (cont)	X				6-7-6-27
	0 0 9	1	0	0	0	0	0	1	0	DME Distance	X				
	0 2 0	1	0	0	0	0	0	1	0	Cabin Compartment Temperature (Group #1)	X				
	0 5 A	1	0	0	0	0	0	1	0	Fuel Temperature - Set to Zero	X				
	1 1 4	1	0	0	0	0	0	1	0	Trim Tank #4 Fuel Temp & Advisory Warning	X				
	1 4 0	1	0	0	0	0	0	1	0	Mach Elev	X				
2 0 3	0 0 1	1	0	0	0	0	1	1	1	Energy Management Speed Brakes	N				6-24-6-27
	0 0 4	1	0	0	0	0	0	1	1	Altitude (1013.25mB)	N				
	0 1 8	1	0	0	0	0	0	1	1	Altitude	N				
	0 2 9	1	0	0	0	0	0	1	1	Cabin Compartment Temperature (Group #2)	N				
	0 3 3	1	0	0	0	0	0	1	1	OWA/C Altitude	N				
	0 3 8	1	0	0	0	0	0	1	1	Altitude (1013.25mB)	N				
	0 5 A	1	0	0	0	0	0	1	1	Fuel Tank #6 Temperature	N				
	1 0 A	1	0	0	0	0	0	1	1	Ambient Static Pressure	N				
	1 0 B	1	0	0	0	0	0	1	1	Ambient Static Pressure	N				
	1 1 4	1	0	0	0	0	0	1	1	Trim Tank Fuel Temp & Advisory Warning	N				
1 4 0	1	0	0	0	0	0	1	1	Altitude	N					
2 0 4	0 0 4	1	0	0	0	0	1	0	0	Bare Connected Altitude #1	X				
	0 2 0	1	0	0	0	0	1	0	0	Cabin Door Temperature (Group #1)	X				
	0 3 1	1	0	0	0	0	1	0	0	Bare Connected Altitude #1	X				
	0 5 6	1	0	0	0	0	1	0	0	Bare Altitude	X				
	0 5 A	1	0	0	0	0	1	0	0	Fuel Tank #7 Temperature	X				
	0 6 0	1	0	0	0	0	1	0	0	Bare Altitude	X				
	1 1 4	1	0	0	0	0	1	0	0	Right Outer Tank Fuel Temp & Advisory Warning	X				
1 4 0	1	0	0	0	0	1	0	0	Bare Connected Altitude	X					

Figure 2. 12 : Label d'altitude

II.18 Décodage du mot

On va décoder 'a mode d'exemple un mot d'altitude extrait de la Spécification ARINC 429 Partie 1, Attachement 6 :

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
P	SSM [2]		S	ALTITUDE																	ALT [1]	PAD	LABEL (203)									
0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
				MSB																			LSB									
				21059																	1		3			0			2			

Figure 2. 13 : Exemple d'un mot d'altitude

Label : 8 premiers bits. L'ordre de réception est : 8, 7, 6, : : : , 1. On les regroupe de trois en trois en ordre de réception et on fait la conversion en format octal, voir la table 1.6.

Bit							
1	2		3	4	5		6 7 8
Valeur binaire							
1	0		0	0	0		0 1 1
Binaire \implies Octal							
2			0				3

Tableau 2. 9 : Interprétation du label d'un mot ARINC 429

- Bits 9 et 10 : Normalement correspondent au champ SDI. Dans cet exemple ils l'ont mis comme bits de remplissage (PAD en Anglais).
- Bit 11 : On l'utilise pour définir la résolution d'altitude (ratio indiqué par chaque bit successif). Un 1 indique une résolution de 100ft et un 0 de 1 f t. Dans ce cas, on a une résolution de 1 f t.
- Bits 12-28 : Dans ces bits il y a les données (encodage BNR). Pour les décoder il faut suivre le processus suivant :
 1. Dans un premier temps il faut obtenir le facteur d'échelle, qui est déterminé par le type de donnée associée au label. Dans ce cas serait $2^{17} = 131072$ f t.
 2. Le bit 28 est le MSB et est la moitié de du facteur d'échelle et les bits successifs décrémentent son poids en puissance de 2 jusqu'à le bit 12 qui est le LSB. On peut faire la conversion comme suit :

$$\text{Altitude} = \text{Échelle}_{\max} \left(\frac{1}{2^1} \text{Bit}^{28} + \frac{1}{2^2} \text{Bit}^{27} + \frac{1}{2^3} \text{Bit}^{26} + \dots + \frac{1}{2^{17}} \text{Bit}^{12} \right)$$

Si on substitue les valeurs :

$$\text{Altitude} = 131072 \left(\frac{1}{2^3} + \frac{1}{2^5} + \frac{1}{2^8} + \frac{1}{2^{11}} + \frac{1}{2^{16}} + \frac{1}{2^{17}} \right) = 21059 \text{ ft}$$

On obtient une altitude décode de 21059 f t.

- Bit 29 : Bit de signe. Dans ce cas indique une valeur positive.
- Bits 30 et 31 : SSM. Dans ce cas (11) il indique une opération normale.
- Bit 32 : Le bit de parité. Dans ce cas est rempli avec un 0, puisque le nombre de 1 dans le mot es déjà impair, concrètement il y a 11 bits fixés à 1.

Le récepteur doit être préparé pour mener à bien tout ce processus et décoder les données du mot ARINC 429. En plus, il est le responsable de décoder dans le bon sens le label.

Avantages

La topologie est simple (facile d'approche, fiable,...),

Il est déterministe puisque n'ayant qu'un seul émetteur par bus, il n'y a aucun risque de collision.

Inconvénients

Le nombre et donc le poids des nombreuses paires de fils à installer est important,

Dans l'avionique moderne, il est plus que limité par son faible débit et ses possibilités d'adressage (labels),

Il n'y a pas de somme de contrôle (hormis la parité) permettant de vérifier l'intégrité de données,

Le récepteur ne peut pas acquitter la bonne réception des données, hormis si on met en place un second bus en retour.

II.19 Conclusion

De par la simplicité de sa topologie et des protocoles utilisés, ce bus est d'une très grande fiabilité. Et comme il n'y a qu'un seul émetteur par paire de fils, l'ARINC 429 est bien évidemment déterministe.

Mais comme la transmission et la réception se font sur des ports séparés, le nombre de fils entre les différents systèmes de l'avion est très élevé.

CHAPITRE III

L'ARINC 629

III.1 Description [6],[11],[12]

L'ARINC 629 a été développé au départ pour le Boeing 777 et adopté en 1989, puis utilisé pour Airbus A330 et A340.

Ce bus est un bus de données bidirectionnel pouvant accepter jusqu'à 120 terminaux et il supporte les multi-émetteurs. Chaque terminal peut transmettre des données à et recevoir des données depuis, tous les autres terminaux sur le bus de données. Ceci permet beaucoup plus liberté dans l'échange de données entre les unités dans le système avionique.

Aussi ce bus n'utilise pas de contrôleur de bus, chaque terminal gère de manière autonome son accès au bus.

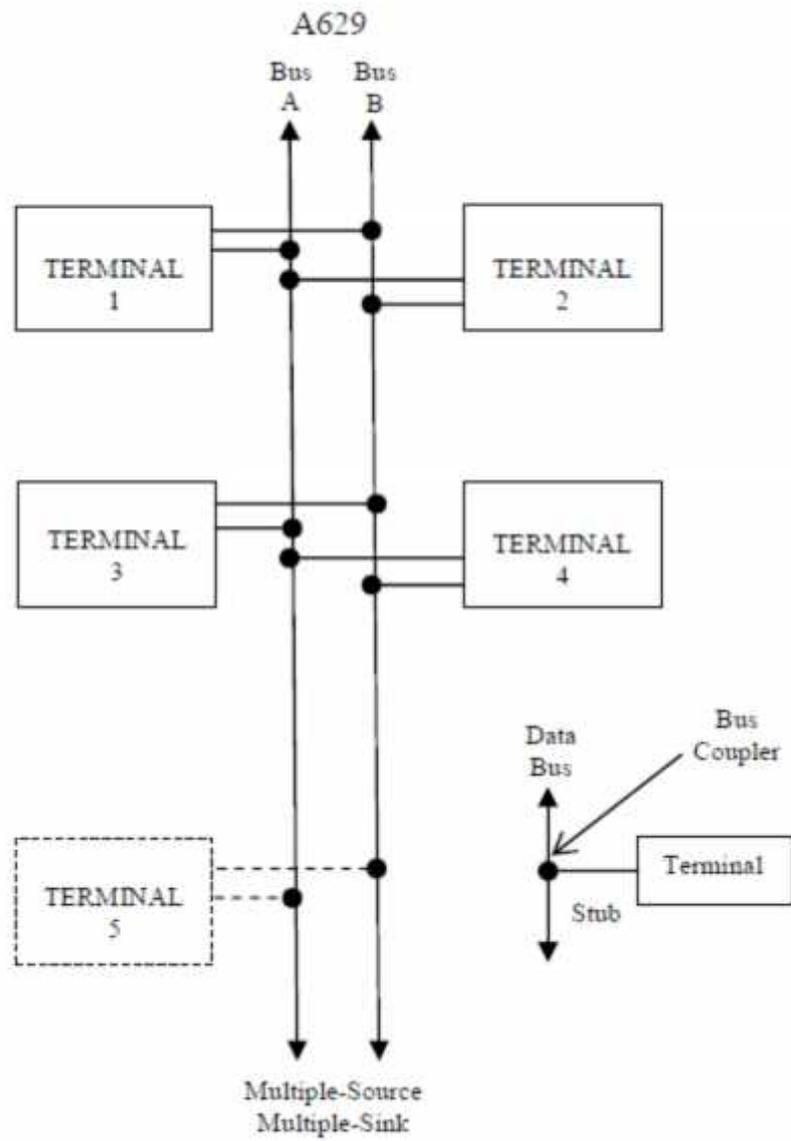


Figure 3.1 : La topologie de bus ARINC 629

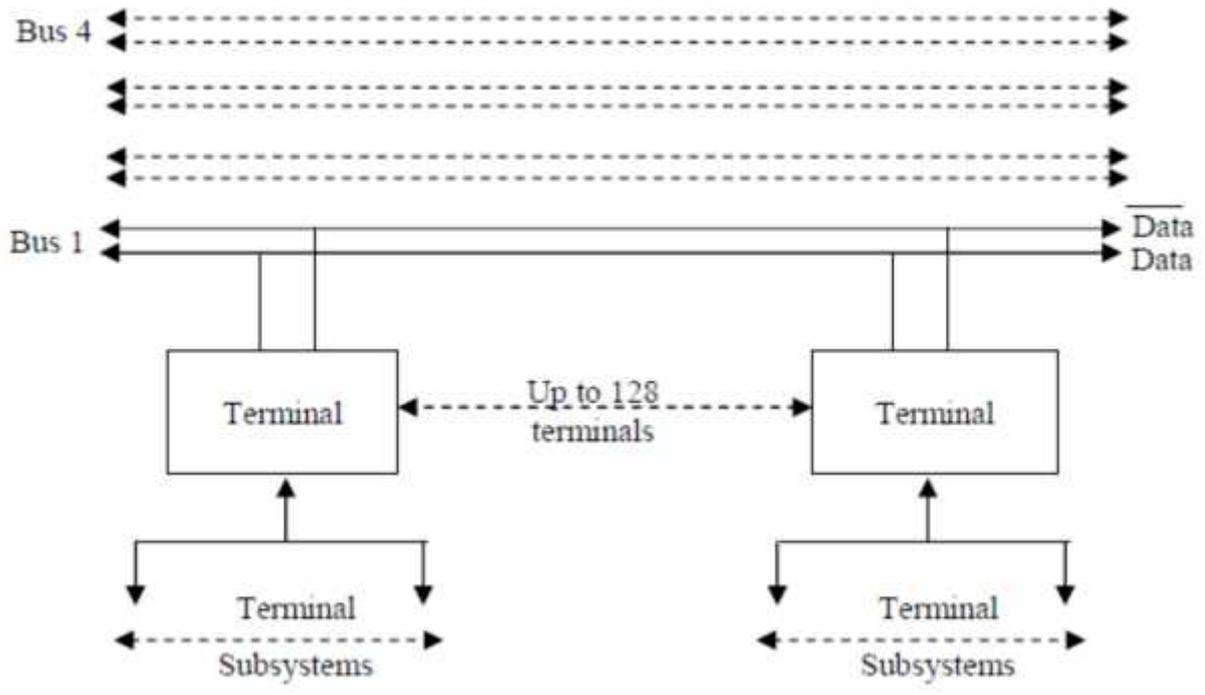


Figure 3. 2 : Le bus ARINC 629

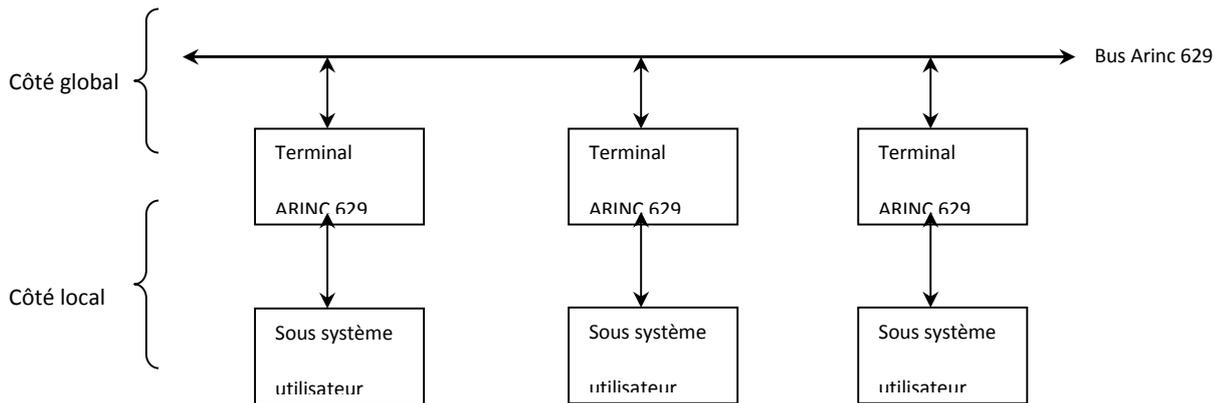


Figure 3. 3 : Partie Globale et locale de ARINC 629

III.2 Support physique

Chaque couplage au bus ARINC 629 est fait via un terminal ARINC 629 émetteur ou récepteur. Chaque terminal a un côté local et un côté global. Les utilisateurs se connectent du côté local et la connexion au bus se fait du côté global. Les données du côté global sont transmises en série dans un format Manchester 2 Doublet qui gère sa propre horloge. Chaque terminal a son propre temps local et la synchronisation se fait par l'encodage Manchester.

La transmission des données se fait sur deux paires torsadées non blindée de fils et peut être jusqu'à 100 mètres de long, et une transmission sur fibre optique est à l'étude. Les informations sur le bus sont transférées à un taux de 2Mbps.

ARINC 629 peut être mis en œuvre dans trois médias: fil, couplage inductif ou de tension, et fibre optique [11]

III.3 Format des mots

Sync	Data (depending upon word type)	Parity
1 2 3	4 5 6 19	20
X	X	

Figure 3. 4 : Format des mots ARINC 629

ARINC 629 a un mot d'étiquette unique, et chaque message a un code d'identification de canal source (CID) qui identifie la source des messages.[12]

Les trois premiers bits comme montre la figure 3.4 sont liés à la synchronisation du temps de parole. Les 16 bit suivants sont les contenus de données, et le bit final est un bit de parité.

Les groupes de données transmises par ARINC 629 sont appelés messages. Les messages sont composés de chaînes de mots, jusqu'à 31 chaînes de mots peuvent être dans un message. Donc, maximum 620 bits sont possibles dans une chaîne de texte.

III.4 Niveau Liaison

L'accès au bus est coordonné à deux niveaux :

Décomposition au niveau système du temps du bus en cycles mineurs ou majeurs qui peut être de durée fixe : Protocole TDMA.

La résolution de la contention de l'accès au médium par plusieurs terminaux dans chaque cycle mineur se fait par une combinaison de prédiction et d'observation de la porteuse dans les temps d'attente pré-assignés et les périodes d'inactivité.

Ce niveau de contrôle est géré comme CSMA/CA.

Deux protocoles : Basic Protocol (BP) et Combined Protocol (CP) sont définis pour les applications ARINC 629. Ces deux protocoles ne peuvent cohabiter sur le même bus du fait de leur stratégie de contrôle d'accès au bus différente. BP et CP supportent les transmissions périodiques et apériodiques. Les transmissions périodiques sont gérées automatiquement au niveau du terminal 629 selon une table de messages pré-définie et des paramètres de contrôle de transmission. C'est dans la gestion des transmissions sporadiques qu'est la principale différence entre BP et CP.

Basic Protocol :

Chaque terminal a un accès égal pour transmettre sur le bus.

Quand l'accès au bus n'est pas dans des conditions de surcharge, chaque station transmet ses données en mode périodique dans un temps multiple de TI (timer qui définit la périodicité d'un cycle).

Quand l'utilisation atteint les 100%, le trafic de données est mis automatiquement en mode apériodique sans perte de données. Dans le mode apériodique, les messages peuvent être desservis par une station en ajoutant du temps à la période d'accès courante pour ce terminal.

Ce mode peut être momentané ou continu.

Combined Protocol :

Ce protocole est un protocole basé sur le fonctionnement de cinq temporisations.

Il utilise trois niveaux de priorité de transmission de données.

niveau 1 (périodique) : les transmissions de données sont effectuées sans perte de données jusqu'à ce que toutes les transmissions de niveau 1 soient finies.

Niveaux 2 et 3 (apériodiques) : le temps libre entre les transmissions périodiques est utilisé pour les transmissions de données apériodiques où un schéma de priorité s'assure que toutes les données de niveau 2 en attente soient transmises avant celles de niveau 3. Le temps total

de transmission pour les données périodiques doit être plus court (relatif à leur priorité) pour laisser du temps utile pour les niveaux 2 et 3.

C'est lors de l'initialisation du bus que peuvent arriver des collisions. Pour éviter cela, l'élection d'un leader se fait selon cinq temporisations. Mais à cause du déphasage lors de la mise sous tension de différentes stations, plusieurs stations peuvent se déclarer leader simultanément (collisions). Il survient alors un signal BC qui remonte du niveau physique vers la couche MAC (Medium Access Control, technique d'écoute CSMA/CA).

En résumé, ARINC 629 définit un protocole multi-niveaux pour des accès multi-émetteurs à un bus commun. Il y a des similitudes entre les mécanismes de contrôle du bus ARINC 629 au niveau liaison et l'approche TDMA, comme la division du temps du bus en cycles. Mais il y a aussi des similitudes avec l'approche CSMA/CA comme la détection des périodes d'inactivité du bus pour les transmissions dans un cycle mineur.

Comme ce bus utilise principalement une approche TDMA comme système de contrôle et que ce protocole est déterministe, ARINC 629 l'est donc aussi.

Et comme ARINC 629 admet plusieurs émetteurs par bus, le poids des fils est considérablement réduit par rapport à l'ARINC 429.

Chapitre IV

AFDX

IV.1. Introduction

L'IMA (Integrated Modular Avionics) est un concept apparu dans les années 1990 chez les avionneurs militaires, puis développé et standardisé dans les années 2000 par les industriels du secteur aéronautique afin de modulariser la conception et le développement de leurs avions. L'IMA est censée répondre à deux problématiques majeures :

(1) la réduction des coûts de conception, de développement et de maintenance des différents composants des systèmes avioniques.

(2) l'augmentation de leur modularité et réutilisabilité. Pour cela, l'accent est mis sur le développement de calculateurs génériques, constitués de composants standards et capables d'héberger simultanément toutes sortes d'applications différentes afin de pouvoir réutiliser ces calculateurs dans différents modèles d'appareils, sans nouveaux coûts de développement (ou peu). Un effort est également porté sur le réseau de communications afin d'alléger les appareils et d'accroître la modularité des calculateurs, en leur permettant d'être déplacés plus facilement dans l'appareil, lors d'une nouvelle conception par exemple. Ce nouveau réseau est décrit par le standard aéronautique ARINC 664 ; l'AFDX n'en est qu'une implémentation particulière, décrite dans la partie 7 du standard.

IV.2 Description

Avionics Full Duplex (AFDX): est un réseau Ethernet redondant et fiabilisé, développé et standardisé par les industriels européens de l'avionique pour équiper l'Airbus A380. Il s'agit d'un système destiné à servir de support aux communications internes à l'avion, et non aux communications avec l'extérieur. Les communications internes sont essentiellement les données échangées entre les divers composants de l'avionique.

L'évolution du marché aéronautique conduit à réduire les coûts, à utiliser des notions de modularité, de réutilisation et de partage des ressources, comme savent le faire les systèmes d'exploitation modernes.

L'AFDX apporte une solution aux trois inconvénients majeurs de l'ARINC 429 :

- 1- la charge utile passe de 19 bits à environ 1500 octets (1 octet est égal à 8 bits).
- 2- le débit passe de 100 kb/s à 100 Mb/s (on évoque même le Gb/s aujourd'hui).

3- enfin, le nombre de câbles utilisés pour relier les différents calculateurs est grandement réduit grâce à une architecture en étoile et au partage des ressources par l'utilisation de techniques de multiplexage.

IV.3 Choix technologiques

Lorsqu'en 1999 il a fallu faire les premiers choix pour définir le nouveau standard, les deux technologies concurrentes pour engendrer l'AFDX étaient, d'une part la combinaison Ethernet-TCP/IP venue du monde de l'informatique, et d'autre part la technologie ATM du monde des télécommunications. Quand le principe de la commutation (utilisé par ATM) est arrivé sur Ethernet, cela en a fait un standard performant et mature, soutenu par un marché bien plus vaste que celui des télécommunications.

Dans le réseau Ethernet commuté, les seules collisions possibles se situent au niveau des liens point à point. Pour éviter de telles collisions, la solution qui a été développée consiste à utiliser des liens bidirectionnels, qui opèrent selon le mode Full Duplex prévu dans la norme IEEE 802.3 [2].

IV-4 Principe de fonctionnement

L'AFDX est basé sur le principe d'un réseau commuté, c'est-à-dire que les équipements terminaux chargés de l'émission ou de la réception. Des données s'organisent autour des commutateurs chargés du transport de ces données.

Afin de répondre au besoin de disponibilité du réseau, un réseau AFDX est physiquement redondant : chaque équipement terminal émet les messages sur deux canaux différents vers des ensembles indépendants de commutateurs assurant tous deux la même transmission. Cela permet de réduire les échecs de transmissions, et les problèmes liés à des pannes matérielles.

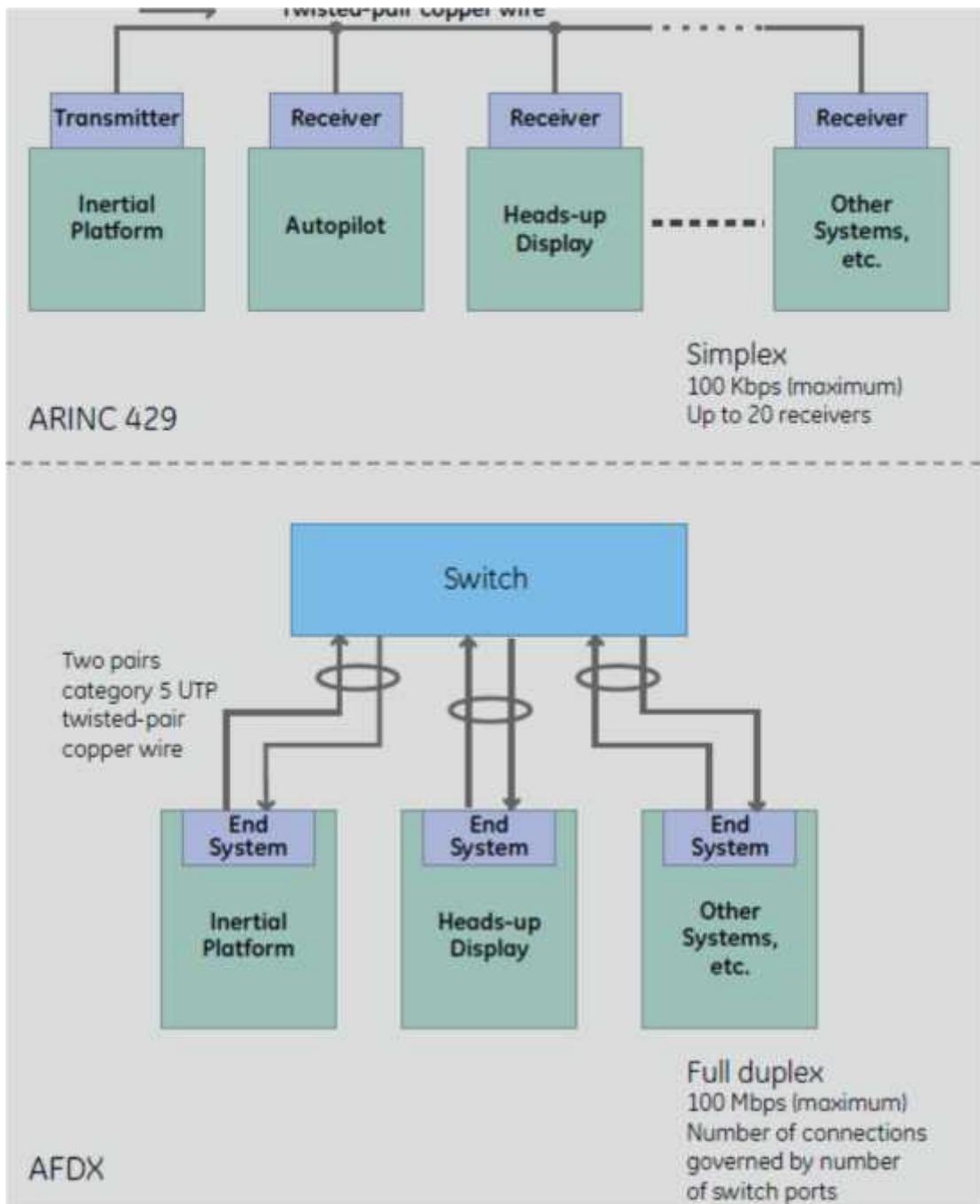


Figure 4. 1 : Architecture AFDX et ARINC 429.[24]

IV. 5 Support physique

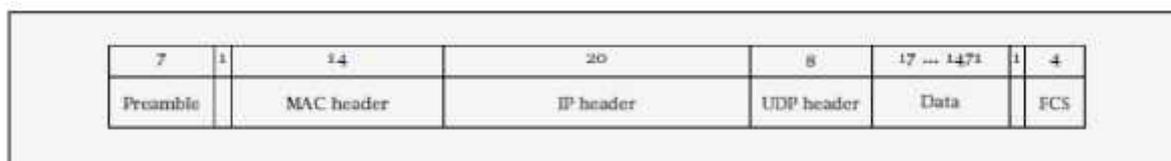


Figure 4. 2 : Structure d'une trame AFDX (en octets).

La figure ci-dessus illustre la structure d'une trame. La technologie retenue pour l'AFDX repose sur les protocoles Ethernet full-duplex com- muté, IP et UDP, et sur l'utilisation de contrats de trafic afin d'assurer une qualité de service aux flux du réseau, appelés liens virtuels ou VL. Le protocole Ethernet est défini par l'Institute for Electrical and Electronics Engineers dans le standard IEEE 802.3 ; il est largement répandu et permet des coûts de développement relativement faibles. Ce protocole est utilisé partout aujourd'hui : entreprises comme particuliers. Les débits théoriques vont jusqu'à 100 Mb/s pour la solution retenue ; il est envisagé 1 Gb/s pour une prochaine évolution.

L'utilisation de commutateurs et de câbles full-duplex permet de supprimer les collisions de trames inhérentes à la technologie Ethernet. Ainsi, l'indéterminisme lié à la réémissions de trames suite à une collision n'existe plus. Néanmoins, il reste l'indéterminisme lié à la gestion des trames au niveau des commutateurs.

Le protocole User Datagram Protocol permet une gestion des envois et des réceptions des données par les différentes applications de manière ségréguée, par l'intermédiaire de ports de communication qui peuvent être partagés en lecture ou en écriture sous certaines conditions. Le protocole Internet Protocol permet quant à lui de procéder à l'échange de messages plus grands que la taille maximale autorisée par le contrat de trafic d'un VL. Les messages sont fragmentés en plusieurs trames qui seront réassemblées à l'arrivée, puis transmis aux applications via les ports UDP.

Enfin, comme le montre la suite, si les architectures matérielles sont différentes, d'un point de vue purement logique, l'ARINC 429 et l'AFDX sont très proches (la taille des données mise à part). Cela garantit une transition plus souple d'une technologie à l'autre, notamment

pour les applications qui peuvent continuer à fonctionner sur les mêmes principes qu'auparavant.

Un réseau AFDX est constitué d'équipements reliés entre eux par des commutateurs en une structure plus ou moins étoilée (voir la figure 4.2). Ces équipements sont connectés au réseau par le biais des end-system. On dit qu'un réseau AFDX est localement synchrone (au niveau des équipements) et globalement asynchrone (entre les équipement et les commutateurs).

Ces équipements accèdent au réseau via leurs interfaces nommées end-system et dont le rôle est de gérer l'accès au réseau, de réguler le trafic en sortie de l'équipement en accord avec les contrats de trafic établis statiquement et enfin de récupérer les données pour les applications de son équipement. Les end-systems sont connectés à deux commutateurs duaux (qui sont les symétriques l'un de l'autre) et constituent les nœuds d'entrée du réseau.

Les nœuds intérieurs du réseau sont les commutateurs et ils ont la charge d'assurer le routage statique (défini à l'avance) des trames AFDX au sein du réseau. Ils sont constitués d'un ensemble de ports d'entrée/sortie qui les relient à des end-systems ou d'autres commutateurs et d'une mémoire (aussi appelée buffer). Chaque port est composé de deux files d'attente de priorités différentes, destinées à stocker des pointeurs vers les trames stockées en mémoire.

Dans certaines implémentations, une « tête de lecture » scanne régulièrement chaque port d'entrée en séquence ; lorsqu'une trame arrive dans l'un des ports d'entrée, elle est écrite en mémoire et son adresse est stockée dans les ports de sortie et les files d'attente correspondant à ses destinations et sa priorité respectivement. Le fait qu'une trame arrivée puisse ne pas être prise en compte immédiatement par le commutateur en raison d'une lecture séquentielle est le point de départ de ces travaux.

Les câbles utilisés sont full-duplex et composés de deux paires torsadées blindées, ce qui garantit un signal clair et une bonne immunité aux perturbations électromagnétiques.

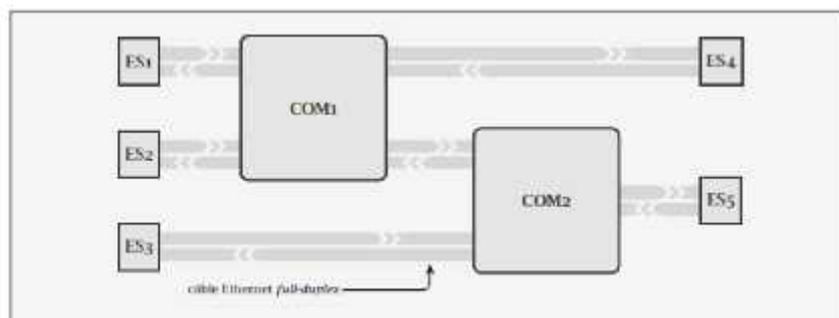


Figure 4. 3 : Vue physique d'un réseau AFDX.

Ils offrent également une certaine souplesse dans le choix du placement des équipements à l'intérieur des avions, contrairement au bus ARINC 429 qui nécessite de nombreux câbles qu'il faut tirer dans tout l'appareil. Bien-sûr, l'utilisation des commutateurs alourdit un appareil, mais les gains de câblage compensent largement. En pratique, il existe des passerelles vers différents bus, ARINC 429 et ARINC 825 (CAN) pour n'en citer que deux.

La figure 4.2 est une représentation d'un réseau AFDX simple : quatre équipements représentés par leurs end-systems, deux commutateurs, et six câbles full-duplex, représentés par deux traits épais entre l'équipement et son commutateur avec un chevron pour indiquer le sens de circulation sur le câble.

IV.6 Architecture logique

Afin d'assurer la compatibilité et la transition du bus ARINC 429 vers les réseaux AFDX, le niveau logique de ces derniers mime le comportement du premier. Une utilisation conjointe des deux technologies simultanément est possible grâce à des passerelles ; c'est le cas à bord de l'A380 par exemple. D'autre part, ce niveau logique permet d'abstraire complètement la couche réseau des applications qui n'ont pas connaissance du médium utilisé.

Cette abstraction du réseau physique est réalisée à l'aide de liens virtuels multicast appelés VL (pour Virtual Link en anglais). Il s'agit de canaux de communication qui relient une source émettrice à plusieurs récepteurs. Plusieurs données issues d'une même source peuvent être acheminées par un même VL (cela est même recommandé pour assurer une bonne utilisation de ces derniers). Contrairement à l'ARINC 429, les récepteurs ne sont pas limités en nombre. Les « chemins » empruntés par les VL sont définis comme un équipement source — la même que le VL —, une suite de commutateurs, et un équipement faisant partie des destinations du VL. Un VL peut avoir plusieurs chemins, mais toujours sous la forme d'un arbre (voir les VL 1 et 3 sur la figure 4.2).

Le rôle d'un end-system est de réguler le trafic des VL en fonction de leurs contrats de trafic. Ces contrats définissent la taille maximale des trames, S_{max} , que peut envoyer un VL. Ils définissent également l'intervalle de temps minimal qui doit séparer deux trames consécutives, il est nommé BAG (Bandwidth Allocation Gap). De cette manière, même si une application « s'emballe » et se met à envoyer ses données trop rapidement, le end-system régule son trafic afin de ne pas saturer le reste du réseau et risquer de léser les autres utilisateurs du réseau, les abonnés ou VL.

Ensuite, les commutateurs sont chargés du routage des trames vers leurs destinations en fonction du VL qui les transporte. À leur(s) arrivée(s), les trames sont placées dans des files d'attente dans les ports qui les enverront vers les commutateurs suivants ou leurs équipements de destination. Il y a deux files d'attente qui représentent les deux niveaux de priorités que peuvent avoir les VL : H (priorité haute) et L (priorité basse).

La figure 4.3 reprend l'exemple de réseau AFDX simple vue à la figure 4.2 et y ajoute quatre VL. Le VL 1 a pour source le end-system 1 et pour destinations les end-systems 4 et 5.

Pour cela, son chemin transite respectivement par les commutateurs 1 puis 2. Le VL 2 suit le chemin end-system 4, commutateur 1 et end-system 2 ; le VL 3 suit les chemins end-system 3, commutateurs 2 et 1 et end-system 2 et end-system 3, commutateur 2 et end-system 5 ; enfin le VL 4 suit les chemins end-system 4, commutateur 1 et end-system 1 et 4 de nouveau.

Sur le tronçon qui relie le commutateur 2 au end-system 5, les VL 1 et 3 sont multiplexés. Le multiplexage consiste à combiner les flux de données de telle sorte que plusieurs VL utilisent le même câble physique. Concrètement, il est réalisé en envoyant les trames lorsqu'aucune autre trame n'est en train d'être envoyée, sinon, elles sont mise en attente (chacun son tour).

Sur le tronçon qui relie le commutateur 1 au end-system 4, les trames des VL 1 et 4 d'une part et 2 et 4 d'autre part se croisent sans collisions grâce à l'utilisation des câbles full-duplex.

Le multiplexage des VL dans un réseau AFDX et des débits plus importants permettent de réduire grandement le nombre de câbles nécessaires par comparaison à un réseau ARINC 429 équivalent. De fait, l'AFDX contribue à réduire le poids des avions. Mais le multiplexage est également le principal responsable de l'indéterminisme de ces réseaux. En effet, puisque les trames sont parfois mises en attente, il est difficile de prévoir le temps que met une trame particulière pour aller d'un équipement à un autre.

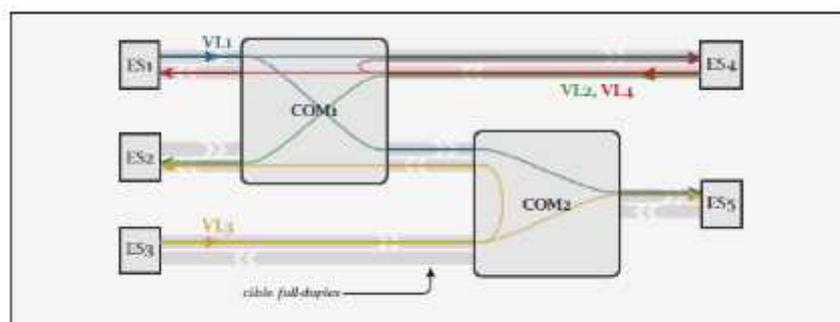


Figure 4. 4 : Vue logique d'un réseau AFDX.

IV.6.1 La notion de Virtual Link

Le réseau AFDX définit, conformément à l'ARINC 664, une notion de canaux de communication virtuels. Le principal moyen de ségrégation robuste des flux est ainsi fourni par la réservation de bandes passantes au niveau d'un canal de communication ou VL (*virtual link*). L'avantage de cette notion est de contrôler l'ensemble des flux qui pénètrent dans le réseau.

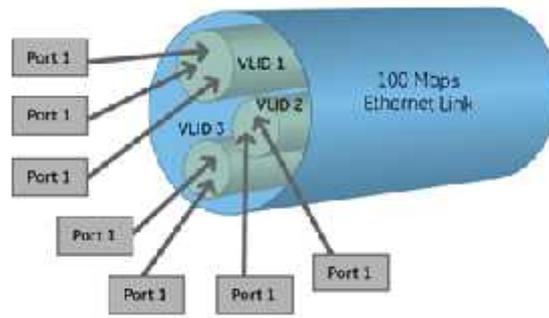


Figure 4. 5 : Représentation de trois VLs couverts

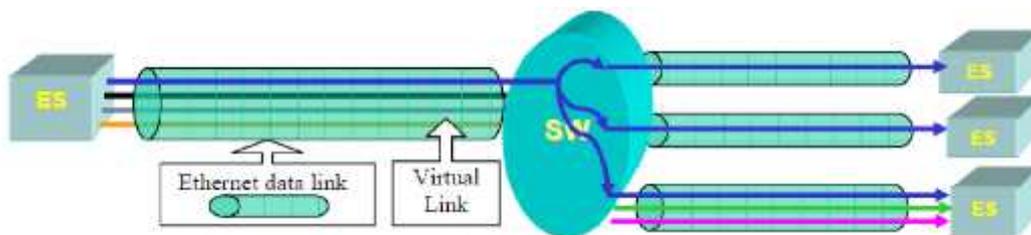


Figure 4. 6 : Flux de VLs multicasts

Afin de permettre la gestion des contraintes temps réel sur la transmission des données (pour les systèmes de contrôle), les VLs introduits par l'AFDX sont associés à des spécifications de bande passante (ou « contrats »). Ces spécifications incluent la taille maximale des trames transmises et le temps minimum entre chaque trame.

En résumé, un lien virtuel est donc caractérisé par :

- un sens de transfert, le lien virtuel étant mono-directionnel,
- un équipement source unique,
- un identifiant unique (numéro et nom de VL),

- une ou plusieurs adresses de destination,
- une route empruntée pour rallier ces destinations, un chemin figé sur le réseau,
- une taille maximale et minimale d'une trame (en bits, notées S_{max} et S_{min}).

un temps minimum d'émission entre deux trames consécutives, appelé BAG

(Bandwidth Allocation Gap). Le BAG est donné par la formule :

$$BAG = 1 \text{ ms} \times 2^k, \text{ avec } k$$

entier de 0 à 7; soit 1 ms, 2 ms, 4 ms, 8 ms, 16 ms, 32 ms, 64 ms, et 128 ms.

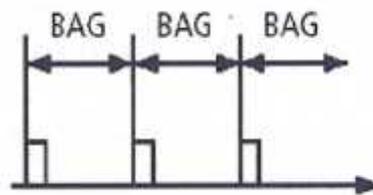


Figure 4. 7 : Illustration du Bag

Enfin, un flux de données dans le réseau AFDX est identifié avec un ensemble d'adresses de ports UDP/TCP de destination, les adresses IP de destination, les adresses MAC de destination et les connexions Ethernet physiques des *End Systems* de réception. Cela forme une connexion de bout en bout.

IV.6.2 Le commutateur AFDX

Le commutateur est l'équipement le plus important dans le réseau Ethernet commuté. On y apprend qu'un commutateur a trois rôles précis:

- relier et filtrer des trames,
- tenir à jour les informations permettant de remplir le rôle précédent,
- gérer ces informations et surveiller son fonctionnement interne.

Conclusion générale

Différents paramètres tels que la vitesse de l'air, la pression atmosphérique, l'altitude, le régime moteur, le statut de navigation, la position de surface de commande etc sont mesurés dans le domaine analogique et transmis à bord des transformateurs, des affichages et les commandes dans le domaine électrique (ARINC 429 et 629). Au fil des ans complexité des systèmes avioniques a augmenté et est donc l'exigence de bande passante de données à haute vitesse et de réseau de bord de l'avionique. En conséquence développements sont sur le marché pour l'adoption de normes pour les réseaux optiques avioniques. Ainsi, ARINC 629 est adopté rapidement pour les réseaux optiques dans les avions. Ce mémoire donne un aperçu comparatif des trois bus de données avionique (voir ANNEXE). De l'évaluation de leurs principales caractéristiques, on peut conclure qu'ARINC 429 est un protocole simple et peu coûteuse à mettre en œuvre dont la fiabilité a été suffisant pour la plupart des applications dans les premiers âges. Mais, pour des débits élevés, ARINC 629 a été avantageuse, également en cas de licenciement ainsi et donc, progressivement avionique embarquée à base de fibre optique sont émergents pour les applications de l'aviation commerciale.

ANNEXE

Nous venons de voir trois bus avioniques différents. Nous pouvons remarquer que ces bus sont différents dans leur conception et dans leur fonctionnement, mais ils répondent tous à un besoin commun qui est la fiabilité. Nous allons récapituler les différents aspects traités dans un tableau.

Nous retrouvons ici résumées sous forme de tableau, de façon à mettre en avant les différences tant au niveau physique qu'au niveau liaison de ces bus.

	ARINC 429	ARINC 629	AFDX
GENERAL			
date	1977	1989	1997
utilisation	Airbus A310/320 A330/340 Boeing 727-767 Hélicoptères Bell	Boeing 777	Airbus A380
PHYSIQUE			
topologie	point à point	Multiplex Time Division multiple transmetteurs	bus simple ou en étoile
encodage	Bipolaire RZ	Manchester II Doublet	Manchester
support	paires torsadées unidirectionnelles	paires torsadées bidirectionnelles	2 paires torsadées
Débit	100Kbps 12,5Kbps	2Mbps	100Mbps
LIAISON			
longueur des mots	32 bits	20 bits	de 46 à 1500 octets
système de contrôle	point à point	CSMA/CA et TDMA	point à point
format des messages	En général 1 mot	Jusqu'à 256 mots	1 mot
Contrôle d'erreur	1 bit de parité	1 bit de parité	CRC

Nous pouvons aussi comparer les bus avioniques par rapport à leur fiabilité et leurs performances en fonction du trafic sur le réseau. Ces données sont surtout déduites des protocoles d'arbitrage qu'ils utilisent et de la manière dont sont gérées la détection et la correction d'erreur.

	ARINC 429	ARINC 629	AFDX
fiabilité	++	++	+
poids des fils	-	+	++
débit	-	+	++
performances			
faible trafic		+	
fort trafic		+	
déterministe	oui	oui	oui

-La fiabilité de l'ARINC 429 vient de sa simplicité : comme il n'y a qu'un seul émetteur par bus, il n'y a pas de collision et la validité des messages est en plus vérifiée grâce au bit de parité.

-L'ARINC 629 tire sa fiabilité de l'évitement de collision et grâce à l'utilisation d'un CRC pour vérifier la validité des données transmises.

Les performances des bus sont en fait les performances des protocoles d'arbitrage qu'ils utilisent.

Glossaires

A

AAC : Airline Administrative Control (Compagnie aérienne de gestion et de contrôle).

ACARS : Aircraft Communication Addressing & reporting System (Système d'échange des données Air/Sol en temps réel).

ACMS : Aircraft Condition Monitoring System (Système de surveillance de l'état des équipements de bord).

ACP : Audio Control Panels (Panneaux de Commande Audio).

ADF : Automatic direction finder (Radiocompas automatique)

ADR : Air Data Reference (Les références des données en vol).

ADS : Automatic Dependent Surveillance (Surveillance pendant l'automatique)

AFDX : Avionics Full Duplex

AMU : Audio Management Unit (Unité de Gestion audio).

AOC : Aeronautical Operational Control (Contrôle d'exploitation aéronautique)

ARINC : Aeronautical Radio Incorporated (société de fabrication avionique aussi peut prendre le nom des bus avionique)

ATC : Air Traffic Control (Contrôle de la circulation aérienne).

ATIS : Automatic Terminal Information Service (Service d'information Terminal Automatique)

ATN : Aeronautical Telecommunication Network (Réseau de Télécommunication Aéronautique)

ASP : (Aircom Service Processeur).

APU : **Auxiliary** Power Unit (Source auxiliaire d'énergie)

B

BCD : (binaire code decimal) codage de binaire en décimale.

BDI : Downlink Block Identifier (identifie de message en liaison descendant)

BITE Built In Test Equipment (Système de surveillance et de test intégré)

BRT : Bright (alarme par signale)

BP : Basic Protocol

C

CFDS Centralized Fault Display System (Système de visualisation centralisée des pannes).

CDU Control Display Unit (Boîte de commande et d'affichage).

CMC : Central Maintenance Computer (calculateur de maintenance centralisée).

CMU : communication Management Unit (unité de gestion de communication)

CNS (Communication Navigation System) système de communication et navigation.

CRP : Counter-rotation propeller (Propfan contrarotatif).

CVR : (Cockpit Voice Recorder) Enregistreur de Voix de poste pilotage.

CP : Combined Protocol

D

DFDR Digital Flight Data Recorder (appareil d'enregistrement sur bande magnétique).

DMU : Data Management Unit (Unité de gestion des données de vol).

DME: Distance measuring equipment (Dispositif de mesure de distance)

DITS : Digital Information Transfert System (bus unidirectionnel).

E

ECAM : Electronic Centralised Aircraft Monitor (Système électronique de surveillance centralisée)

F

FANS : Future air navigation system (Projet de système de navigation aérienne par satellites).

FDR appareils d'enregistrement sur bande magnétique (Flight Data Recorder).

FM : Flight Management: (Gestionnaire de vol).

FMS Fly Management System (Système de gestion du vol)

FMC: Flight management computer (Ordinateur de gestion de vol).

FMGEC: Flight Management And Guidance Envelope computer (Ordinateur d'enveloppe du guidage et de gestion en vol).

FWC: Flight Warning Computers (Calculateur de vol).

FT: Fonctional Test (permet de tester l'état de l'équipement).

FTP (Simple Mile Transfert Protocol):

G

GDLP: Ground Data Link Processor.

GES: Ground Earth Station (station sole de satellite).

H

HF: High Frequency (Fréquence haute)

HTTP : Hyper Texte Transfert Protocol (Protocole de transfert les textes hyper)

I

IND: Independent

ILS : Instrument Landing System (Antenne de guidage en descente).

IP: Internetwork Protocol.

ISO: International Standardization Office.

ISS : station spatiale internationale.

L

LAN : Réseaux informatique local.

LD : downlink (Liaisons Descendantes).

LM : uplink (Liaisons Montantes).

1 LSB, 32 MSB : le bit le moine signifie (1) et le bit le plus signifie (32).

LSK : line selected key (clés sélectives de ligne).

M

1.10.3 MAC : Medium Acces Control

MCDU: Multipurpose Control and Display Units (Unité d'affichage et control à multifonction).

MDDU: Multipurpose Disk Drive Unit (Unité du disque Universelle)

MSN (Message Sequence Number) représentent le temps en minutes et secondes après que le message a été transmis

M.U : (Management Unit) unité de gestion de l'ACARS.

N

NCD: No Computed Data (donnée non calculée)

NO : Normal Operation (fonctionnement correct de l'équipement).

NSAP: (Network Service Access Point)

O

OMS: Onboard Maintenance System (Système de maintenance aérienne embarqué)

OOOI: Out of the gate, Off the ground, On the ground and Into the Gate (Événements pour définir la phases de vol).

OP: opérationnel

R

RDY : Ready (alarme de préparation)

RLE : Réseaux d'entreprise

RMP : Radio Management Panel (boite de commande radio).

RGS : Remote Ground Station (stations à distance au sol)

S

SATCOM : Satellite Communication (Système de communication par satellite)

SICASP : Automatic direction finder (système de détection de direction automatiquement)

SITA : Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques.

SDU : Satellite Data Unit (unité de données satellite).

SDAC : System Data Analog Computer (concentrateur de données).

SAL : (System Address Label) système identifier la donnée contenue dans chaque mot.

SSM : Sign/Status Matrix (identification de l'état et le signe de donnée).

SDI : Source/Destination Identifier (identification de source et destination de donnée)..

SID'S: sudden inospheric distrubance.

SNPA: Sub Network Point of Attachment

T

TCAS Traffic alert and Collision Advoidance System (Système d'alerte anticollision)

T1 : Timer qui define la periodicite d un cycle

V

1.10.4 VL : Virtual Link

VOR: Visual Omni Range.

VHF: Very High Frequency (Fréquence très haute)

U

UA : User Applications

WAN : Réseaux à grande distance

URL : Uniform Resource Locator

Références

- [1] Trafic aérien /de nouvelles techniques pour le Contrôle aérien
- [2] Cédric mauclair, "une approche statistique des réseaux temps réel embarqués", these de doctorat, juin 2013.
- [3] Hussein charara," évaluation des performances temps reel de Reseaux embarques avioniques",thede de doctorat, novembre 2007.
- [4] Rapport de stage, 2014 [5] solen cochard," étude des bus avioniques ", juin 2002
- [6] Avionics summary.pdf
- [7] Gouri sidahmed,"systeme acars equipant lairbus (a340-600)",2010
- [8] Josselin cauchois , " étude de la stratégie d'essais iom en vue de l'établissement de la stratégie d'essais crdc", 2009
- [9] Ivan prados camargo, "projet stage erasmus",2012
- [10] Omaha office and ohio office, avionics interface technologies," arinc 429 protocol tutorial", aeronautical radio, inc,doc no. 40100001
- [11] WG cdr nikhil verma iaf and md easir arafat papon," aviation data transmission-moving from electronic to optical domain: review of arinc 429 & 629 standards",proceedings of the global engineering, science and technology conference,december 2012, dhaka, bangladesh
- [12] Yasemin isik," arinc 629 data bus standard on aircrafts", civil aviation school, 26470, eskisehir turkey, isbn: 978-960-474-262-2
- [13] Mike tooley," aircraft digital electronic and computer systems",2007
- [14] Tlidjane ali, "etude descriptive du réseau afdx dans l'a 380",2007
- [15] Chairat sirikangwankul. Systèmes embarqués, 8 août 2013
- [16] Daniel a. Martinec," arinc 429"©, 2001 by crc press llc
- [17] Condor engineering, inc," arinc protocol tutorial (1500-029)",2004
- [18] Actel," arinc 429 bus interface",2006
- [19] Condor engineering, inc., " arinc protocol tutorial (1600100-0027)",2000
- [20] AIM gmbh," specification tutorial",2010
- [21] Corac aero environnement recherché," avionique modulaire etendue",2010
- [22] SKY control.net," L'embarqué dans l'avionique",karen.godary@lirmm.fr ,2009.2010

- [23] "L'histoire de l'avionique", <http://www.lilienthal-museum>
- [23] *Pascal berthou*, "le protocole fdx/arinc 664"
- [24] GE fanuc Embedded, "afdx/arinc 664 protocol tutorial"
- [25] Sam buckwalter Amc executive secretary, " amc-developed arinc standards"
- [26] Jean-philippe babau, " interfaces de communication Pour systèmes embarqués"
- [27] ENAC/f.garcia, " introduction aux réseaux embarqués"
- [28] Cédric mauclair, " une approche statistique des réseaux temps réel embarqués",2013
these
- [29] Hussein charara, " évaluation des performances temps reel de Reseaux embarques
avioniques",2007
- [30] Solen cochard, " étude des bus avioniques",2002
- [31] Laurent rouchouse, " étude de la stratégie d'essais iom en vue de l'établissement de la
stratégie d'essais crdc",2009
- [32] Copyright © 2005 condor engineering, inc." afdx / arinc 664 tutorial (1500-049)",2005
- [33] [Http://www.technologuepro.com/cours-systemes-embarques/cours-systemes-embarques-introduction.htm](http://www.technologuepro.com/cours-systemes-embarques/cours-systemes-embarques-introduction.htm)
- [34] [Http://www.camaq.org/_fichiers/111_588.pdf](http://www.camaq.org/_fichiers/111_588.pdf)
- [35] [Http://fr.wikipedia.org/wiki/instrument_de_bord_\(a%C3%A9ronautique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/instrument_de_bord_(a%C3%A9ronautique))
- [36] [Http://fr.wikipedia.org/wiki/aircraft_communication_addressing_and_reporting_system](http://fr.wikipedia.org/wiki/aircraft_communication_addressing_and_reporting_system)
- [37] [Http://fr.wikipedia.org/wiki/infrastructures_\(a%C3%A9ronautique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/infrastructures_(a%C3%A9ronautique))
- [38] [Http://fr.wikipedia.org/wiki/automatic_dependent_surveillance-broadcast](http://fr.wikipedia.org/wiki/automatic_dependent_surveillance-broadcast)