

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad DAHLEB - BLIDA
Institut d'aéronautique et des études spatiales

Projet de fin du cycle
Pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité: CNS/ATM
Communication, Navigation et Surveillance / Air Traffic Management

THÈME :

**Décodage et visualisation des
données sous format ASTERIX
en image radar**

Présenté par :

BOUMEZIOUD Aymen et **ZOUAI Abderrahmane**

Promoteur : M^rA. BENOUAERD
Co-promoteur : M^{me} F. BRAHIMI

Promotion : 2017 - 2018

Introduction général

Chaque jour des centaines de milliers d'avions décollent et atterrissent à travers le monde et des millions de passagers espèrent arriver rapidement à leur destination en toute sécurité et sans retard.

Les contrôleurs aériens ont pour mission la surveillance des vols, offrant à la fois sécurité et efficacité et cela quel que soit l'environnement, le trafic et le budget.

Notre travail consiste de créer une application qui peut fournir la solution de surveillance la plus adaptée à nos besoins, et une unique solution de surveillance globale de l'espace aérien avec des mains algériens.

Dans ce projet nous avons effectué une étude approfondie de l'ASTERIX qui est un standard sous lequel sont formatées les données de surveillance fournis par le système RADAR.

Cette étude nous a permis de créer une application de décodage automatique et d'interprétation des messages ASTERIX de la catégorie 001 (PSR et SSR), et les faire visualiser sur une image RADAR.

Cette application contribuera dans l'échange efficace harmonisé des données entre la station radar et l'ATC et facilitera la tâche de traitement de donnée et les vols sur les plans filtrage image radar.

A cet effet mon travail s'articulera autour de quatre chapitres :

Le premier s'attachera sur des généralités sur les radars.

Dans le second chapitre on donnera un bref aperçu sur la communication réseau afin de comprendre la nature et les origines de system ASTERIX dans transmission des données radar.

Dans le troisième chapitre on détaillera le format ASTERIX avec une étude approfondie sur la catégorie 001.

Le dernier s'attachera au décodage et l'affichage d'un message ASTERIX en une image radar. Et on terminera par une conclusion.

Résumé

Dans cette thèse on a essayé de développer un module de système de traitement donnéesradar pour le décodage automatique et l'affichage des données radar sous la norme **ASTERIX** sous la forme d'une image radar

Abstract

In this thesis we will try to create a radar data processing system module for automatic decoding and radar data display on a radar image under the **ASTERIX** standard.

المخلص

في هذه الرسالة سوف نحاول انشاء وحدة نظام معالجة بيانات الرادار لفك بيانات الرادار و إظهارها على شاشة الرادار تحت معيار أستريكس.

Abbreviations

ACARS: Aircraft Communications Addressing and Reporting System

ADS-B: Automatic Dependent Surveillance -Broadcast

ADS-C : Automatic Dependent Surveillance - Contract

AIG : Audit Interne de Gestion.

ASTERIX : All Purposes STructured Eurocontrol SuRveillance Information Echange

CQRENA : Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne.

DDNA : Direction du Développement de la Navigation Aérienne.

DENA : Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne.

DJRH : Direction Juridique et des Ressources Humaines.

DL : Direction de la Logistique.

DRFC : Direction des Ressources, des Finances et de la Comptabilité.

DTNA : Direction Technique de la Navigation Aérienne.

ENEMA : Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique

ENESA : Entreprise Nationale de l'Exploitation et de la Sécurité Aéronautique

FSPEC: Field Specification

IFF: Identification Friend or Foe

IGT : Inspection Générale Technique.

LAN : Réseau local

MAN : Réseau métropolitain

PAN : Réseau personnel

PSR : Primark Surveillance Radar

RAN : Réseau régional

RDP: Radar Data Processor

RHP: Radar Head Processor

SDLC: Synchrones Data Link Control

SIE : Sûreté Interne de l'Etablissement.

SSR : Secondary Surveillance Radar

UAP : Profil d'application utilisateur

WAN : Réseau étendu

WLAN : Réseaux locaux sans fil

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 2.1 : Rôles des couches..... | 21 |
| Tableau 3.1 : Types des données standard..... | 40 |
| Tableau 3.2 : l'octet N° 1 du champ FSPEC de la catégorie 1 version 5.1 | 41 |
| Tableau 3.3 : Information de l'octet 2 du champ FSPEC..... | 41 |
| Tableau 3.4 : Information de l'octet 3 du champ FSPEC..... | 42 |
| Tableau 3.5 : Information de l'octet 4 du champ FSPEC..... | 42 |
| Tableau 3.6 : Les deux octets de l'identification | 43 |
| Tableau 3.7 : L'octet 1 de Descripteur de type | 43 |
| Tableau 3.8 : l'octet 2 de Descripteur de type | 44 |
| Tableau 3.9 : l'octet de Numéro de piste | 44 |
| Tableau 3.10: Les octets de la Position mesurée en coordonnées polaires | 44 |
| Tableau 3.11 : L'octet de la Vitesse sol..... | 45 |
| Tableau 3.12 : L'octet1 de la vitesse doppler | 45 |
| Tableau 3.13 : L'octet 2 et 3 de la vitesse doppler..... | 46 |
| Tableau 3.14 : L'octet 4 et 5 de la vitesse doppler..... | 46 |
| Tableau 3.15 : L'octet 1 de l'état de la piste..... | 47 |
| Tableau 3.16 : L'octet 2 de l'état de la piste..... | 47 |
| Tableau 3.17 : L'octet 1 de la Qualité de la piste..... | 48 |
| Tableau 3.18 : L'octet 1 de l'avertissement/Situation d'erreur | 48 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1.1 : Organigramme de l'E.N.N.A..... | 2 |
| Figure 1.2 : Radar primaire (PSR)..... | 4 |
| Figure 1.3: Bande de fréquence | 5 |
| Figure 1.4: Résolution en Distance et en Azimut..... | 6 |
| Figure 1.5: Principe Du Radar Secondaire | 7 |
| Figure 1.6 : Interrogation Radar Secondaire..... | 8 |
| Figure 1.7 : Différence entre affichage-A et affichage J | 12 |
| Figure 1.8 : Affichages De « Type E » A Gauche Et De « Type B » A Droite..... | 13 |
| Figure 1.9 : Affichage de type C | 14 |
| Figure 1.10 : Affichage Hauteur-Distance (RHI)..... | 14 |
| Figure 1.11 : Afficheur Plan Position Indicator (PPI) | 15 |
| Figure 2.1 : Les Couches Du Modelé OSI..... | 19 |
| Figure 2.2 : Accès par réseau à commutation de circuits | 22 |
| Figure 2.3 : Niveau trame ; liaison unique..... | 22 |
| Figure 2.4 : Circuit virtuel | 23 |
| Figure 2.5 : modèle TCP/IP s'inspire du modèle OSI | 23 |
| Figure 2.6 : Processus d'encapsulation..... | 24 |
| Figure 2.7 : différentes topologies des réseaux..... | 28 |
| Figure 2.8 : Format De Trame HDLC | 30 |
| Figure 2.9 : Schéma bloc de transmission des données radar..... | 31 |
| Figure 3.1 : Leformat d'un champ fixe..... | 38 |
| Figure 3.2 : le format d'un champ étendu..... | 38 |
| Figure 3.3 : le format d'un champ répétitif 1.3 | 39 |
| Figure 3.4 : Exemple de Forme du message ASTERIX..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Figure 4.1 : trajet des données radar vers l'image..... | 50 |
| Figure 4.2 : Décomposition et identification des bits de champ FSPEC..... | 51 |
| Figure 4.3 : Données retenu après l'examen de FSPEC..... | 52 |
| Figure 4.4 : Organigramme de décodage du message ASTERIX Catégorie 01 | 55 |
| Figure 4.5 : Image pour création nouveau projet | 56 |
| Figure 4.6 : Création de Form1.cs Designer | 56 |
| Figure 4.7 : Affichage des propriétés de form1.cs designer | 57 |
| Figure 4.9 : Affichage de 1 ^{er} plot | 60 |
| Figure 4.10 : Affichage des plots | 61 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| CHAPITRE I : Généralité Radar | 1 |
| 1. Introduction | 2 |
| Présentation de l'établissement (ENNA) | 2 |
| Organisation | 2 |
| 1.2. Généralités sur les Radars | 3 |
| 1.3 Radar primaire | 3 |
| 1.4 RADAR SECONDAIRE | 6 |
| 1.5. Le type de radar secondaire | 9 |
| 1.6 L'ADS (Automatic Dependent Surveillance) | 10 |
| 1.6.1 L'ADS-C (Automatic Dependent Surveillance -Contract) | 10 |
| 1.6.2 L'ADS-B (Automatic Dependent Surveillance -Broadcast) | 10 |
| 1.7 La différence entre le radar et l'ADS | 11 |
| 1.8 Affichage radar | 11 |
| 1.8.1 Affichage A et J | 12 |
| 1.8.2 Affichage B et E | 13 |
| 1.8.3 Affichage C | 14 |
| 1.8.4 Affichage Hauteur-Distance | 15 |
| 1.8.5 Plan Position Indicator | 15 |
| 1.9 .Conclusion | 16 |
| CHAPITRE 2 : Communication Réseau | 17 |
| 2. Introduction | 18 |
| 2.1. Définition du réseau: | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.1. Le modèle OSI | 18 |
| 2.2. Le parcours des données dans le modèle OSI | 19 |
| 2.3. Description du modèle | 19 |
| 2.4 Rôles des couches | 21 |
| 2.5 Le protocole X.25 | 21 |
| 2.6. Le modèle TCP/IP | 23 |
| 2.7 L'encapsulation | 24 |
| 2.7.1 Description | 24 |
| 2.7.2 Processus de désencapsulations | 25 |
| 2.9. Les réseaux informatiques | 26 |
| 2.9.1 LAN..... | 26 |
| 2.9.2 La topologie des réseaux | 27 |
| 2.10. UneTrame..... | 28 |
| 2.11. HighLevel Data Link Control | 28 |
| 2.11.1 Les différents modes de HDLC | 29 |
| 2.11.2 Format des Trames HDLC | 29 |
| 2.12. Synoptique de la transmission des données Radar | 31 |
| 2.12.1. Le système Radar Head Processor | 31 |
| 2.13. Conclusion | 33 |
| CHAPITRE 3: ASTERIX All Purposes STructured Eurocontrol SuRveillance Information | |
| Exchang | 34 |
| 3.1. Introduction | 35 |
| 3.2 Le format ASTERIX | 36 |
| 3.2.1 Les catégories de l'ASTERIX | 36 |
| 3.2.2 Description des catégories de données radar | 37 |
| 3.3 CAT001 Transmission des Rapports Monoradar des Cibles | 38 |
| 1. Définitions | 38 |
| 1.1 Le message ASTERIX | 39 |
| 1.2 Définitions de type de champ | 39 |
| 1.2.1 Champ fixe | 39 |
| 1.2.2 Champ étendu | 39 |
| 1.2.3 Champ répétitif | 39 |
| 1.3 Définition d'un bloc | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 1.4 Définition d'un enregistrement | 39 |
| 1.5 Le champ FSPEC ou (champ spécifique)..... | 41 |
| 1.6 La spécification de chaque octet de FSPEC | 43 |
| 3.4 Conclusion..... | 48 |
| CHAPITRE 4 : Simulations et tests | 49 |
| 4.1 INTRODUCTION..... | 50 |
| 4.2. Étape de décodage de message ASTERIX..... | 51 |
| 4.2.1 Procédure | 51 |
| 4.2.2 Identification des champs | 52 |
| 4.2.3 Organigramme de décodage de message ASTERIX..... | 53 |
| 4.3. Affichage des données radar (plots)..... | 55 |
| 4.3.1. Création de classe..... | 55 |
| 4.3.2 Sous program d'extraction des données | 58 |
| 4.3.3. Sous program d'affichage :..... | 59 |
| 4.3.4. Simulation de 1 ^{er} enregistrement: | 59 |
| 4.3.5. Simulation de cas de plusieurs enregistrements :..... | 60 |
| 4.4 Conclusion..... | 61 |
| Conclusion général | 62 |
| Bibliographie | 63 |

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Alenia Marconi systems : "SIR-M 3 IISLS", Document équipement Radar secondaire appartenant à l'ENNA, 1996
- [2] : EUROCONTROL STANDARD DOCUMENT FOR RADAR DATA EXCHANGE Part 2a : Transmission of Monoradar Data Target Reports. (Category 001)
- [3] : EUROCONTROL STANDARD DOCUMENT FOR SURVEILLANCE DATA EXCHANGE Part 4 : Category 048 Transmission of Monoradar Target Reports.(Category 048)
- [4] : EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange - Part 1 "All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange (ASTERIX)" (Pour définir c'est quoi l'ASTERIX + sa forme)
- [5] : ICAO (Doc 9871): Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter.(BDS codes (BDS4.0; BDS5.0; BDS6.0))
- [6] : ICAO Annex 10 - Volume 4 "Surveillance And Collision Avoidance Systems". (Comment l'identification des avions est encodée, La table)
- [7] : M.Lagha : "cours Radar", Institut d'aéronautique et d'étude spatial
- [8] : http://www.airlineupdate.com/content_public/codes/airlinecodes/icaocodes/icao_a.htm "20-08-2017"
- [9] : <http://www.commentcamarche.net/contents/512-topologie-des-reseaux> "19-09-2017"
- [10] : <http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/spr05/cos126/cmd-prompt.html>"25-08-2017"
- [11] : <https://www.enna.dz/historique.htm>"06-04-2017" "15-07-2017"
- [12] : <https://www.enna.dz/organisation.htm>"06-04-2017" "15-07-2017"

[13] : www.icao.int "01-08-2017"

[14] <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd492132.aspx>

[15] : <http://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr04.fr.html> "20-07-2017"

[16] : <http://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr20.fr.html> "21-07-2017"

[17] <http://robert.cireddu.free.fr/SIN/La%20topologie%20des%20reseaux.pdf> "20-09-2017"

[18]: <http://www.crocontrol.hr> « 20-09-2017 »

CHAPITRE : 1

Généralité Sur Les Radar

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons voir les deux types de radar qui sont le radar primaire et le radar secondaire, ainsi que la nouvelle technologie de surveillance qui est l'ADS, ainsi que la présentation de lieu de stage avec quelques définitions.

Présentation de l'établissement (ENNA)

L'établissement National de la Navigation Aérienne « ENNA » assure les services de la circulation aérienne au départ, à l'arrivée et en route des vols sur les aéroports algériens et dans l'espace aérien national ainsi qu'en méditerranée, d'une façon générale dans les zones que lui a confiées l'Organisation de l'Aviation Civile International « OACI ». En outre, il prend en charge les opérations de renouvellement et de mise en conformité des instruments de la radionavigation. Au nom de l'état est placée sous la tutelle de ministère des transports. Ses actions prioritaires : la sécurité des vols, la régularité des vols avec un coût maîtrisé de ses services.

La qualité du service public de sécurité rendu à ses clients, usagers et partenaires, en Algérie comme à l'international, repose et continuera à reposer essentiellement sur la compétence personnelle et sur le sens de l'engagement collectif des agents opérationnels, managers, ingénieurs, agents administratifs ^[1].

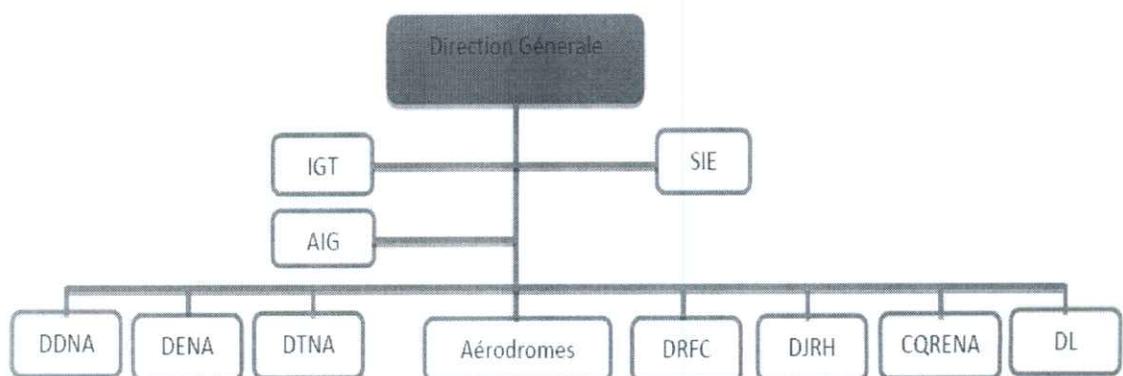


Figure 1.1 : Organigramme de l'E.N.N. A

Présentation de la direction technique de la navigation Aérienne (DTNA)

La direction technique s'occupe des moyens techniques utilisés dans le domaine de la sécurité aéronautique. Le matériel et les équipements de tous les sites répartis dans l'ensemble du territoire national sont sous sa responsabilité.

1.1. La classification de la surveillance :

Il y a deux types d'exploitations fonctionnellement de la surveillance très différentes : la surveillance non coopérative et coopérative.

- ✓ **La surveillance non coopérative** : elle est assurée sans intervention de la cible à sa détection. C'est la propriété de la réflexion d'une onde électromagnétique sur la surface physique de la cible qui est utilisée. La détection se fait par reconnaissance de la présence d'un signal réfléchi, la mesure de distance par mesure du temps de propagation radar – cible – radar. La mesure d'azimut par utilisation d'une antenne directive tournante. Les équipements correspondants sont caractérisés comme « **radars primaires** ».
- ✓ **La surveillance coopérative** : elle est assurée grâce à la participation active de la cible à sa détection. La cible est équipée d'un répondeur (ou transpondeur). Ce transpondeur reçoit des interrogations du radar et répond. Les mesures de distance et d'azimut utilisent les mêmes principes qu'en radar primaire. L'originalité de l'exploitation coopérative est que le signal reçu est renseigné en identification ou altitude en fonction de l'interrogation du radar. Les équipements correspondants sont caractérisés comme « **radars secondaires** ».

1.2. Généralité sur les radars

Le Radar est un acronyme pour Radio Détection And Ranging. Le système de radar utilise des ondes électromagnétiques pour déterminer la portée, l'altitude et la vitesse d'une cible fixe ou mobile. En raison de la propriété des ondes radio qui leur permet d'être réfléchis par des objets solides, le radar peut être utilisé pour détecter n'importe quelle cible qui possède une grande surface suffisante pour que les ondes « rebondissent » sur elle et se retournent.

Le radar est également utilisé pour cartographier des surfaces qui ne sont pas facilement accessibles ou pour la fabrication des cartes de grandes régions. Pendant la seconde guerre mondiale, le radar a été utilisé pour détecter les avions ennemis et a été utilisé comme un système d'alerte précoce. Après la fin de la seconde guerre mondiale le radar a trouvé l'utilisation dans l'arène commerciale pour la gestion du trafic aérien, ainsi que pour l'étude et la prévision des conditions météorologiques.

Le radar est aussi utilisé en astronomie, les systèmes marins, les systèmes de surveillance océanique, la surveillance de l'espace extra-atmosphérique, surveillance des précipitations météorologiques, altimétrie, systèmes de contrôle de vol et pénétrant dans le sol. Avec l'avènement des processeurs DSP à grande vitesse, le radar est également utilisé pour créer une haute définition des cartes du sol sur de vastes zones.

1.3. Radar primaire (PSR)

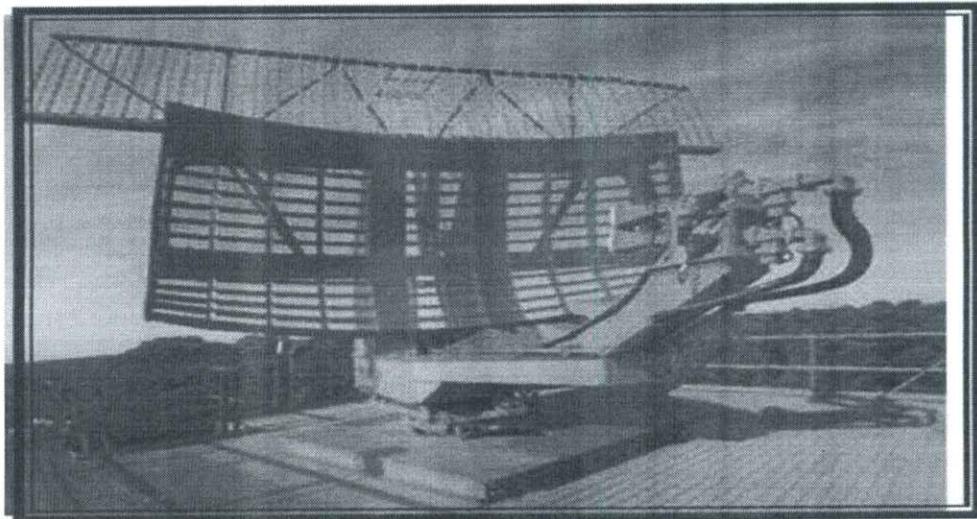


Figure 1.2 : Radar primaire (PSR)

Un radar primaire (*Primary Surveillance Radar* ou PSR en anglais) est un capteur radar classique qui illumine une large portion d'espace avec une onde électromagnétique et qui reçoit en retour les ondes réfléchies par les cibles se trouvant dans cet espace.

On peut considérer le radar primaire comme un système non coopératif, les cibles passives où la fonction réfléchie dépend de la surface équivalente radar, aussi les cibles sont des avions mais aussi peuvent être des bâtiments, des nuages, ...

1.3.1. Fonctionnement

Le radar primaire possède deux propriétés fondamentales :

- Celle de détecter une cible,
- Celle de localiser cette cible,

Nous dirons simplement que le radar primaire permet de répondre aux questions suivantes :

- Existe-t-il une cible ?

D- Pouvoir séparation angulaire :

Nous avons défini, précédemment le pouvoir séparateur axial en fonction de la durée τ du signal émis ; l'angle d'ouverture en azimut du faisceau (θ) nous permet d'évaluer la séparation latérale minimale de 2 cibles en fonction de la distance R. La séparation latérale est : $S = \theta R$ (θ étant exprimé en radians). Pratiquement θ s'exprime en degré ; nous écrivons donc : $S = 2\pi/360 \theta^\circ R$. Exemple: Pour un diagramme azimut ayant une ouverture de 3° à 180NM, la distance de séparation latérale serait: $S = 2\pi/360 \cdot 3 \cdot 180 = 10\text{NM}$ la directivité et le pouvoir séparative militent donc en faveur d'une faible valeur de θ .une ouverture de 1° , par exemple, réduirait la séparation latérale a 3.15NM environ.

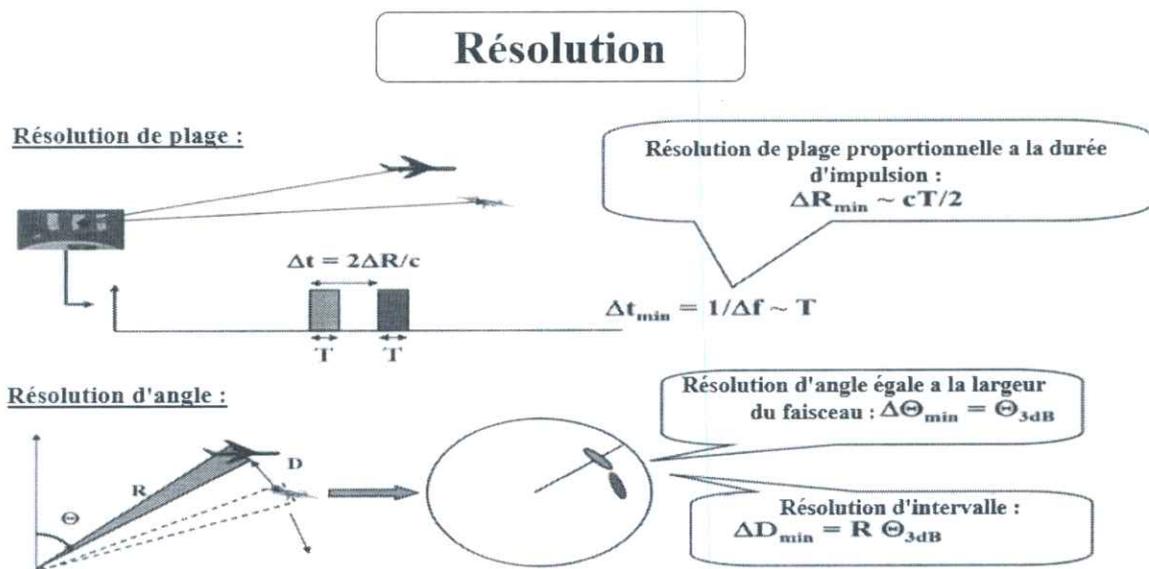


Figure 1.4: Résolution en Distance et en Azimut

1.4. Radar Secondaire (SSR) :

Un radar secondaire ou SSR (Secondary Surveillance RADAR) est un dispositif radar de contrôle aérien qui "interroge" le ciel. Le sigle IFF, (Identification Friend or Foe), désigne un dispositif électronique embarqué développé par les Alliés pendant la Seconde Guerre mondiale permettant, par interrogation radar, d'identifier les aéronefs "amis" ou "ennemis".

Ce type de radar permet de déterminer, comme tous les radars, la position de l'avion à l'aide d'un gisement et d'une distance relatifs à l'antenne.

Ce dispositif a été amélioré depuis, du moins pour un usage civil, et a donné naissance aux transpondeurs (*interrogation par radar secondaire en mode A, B ou C*). Suivant le mode utilisé, l'opérateur radar au sol peut identifier un appareil par un code attribué à l'avance (*squawk*) et ainsi obtenir sa position, son niveau de vol (référence altimétrique 1 013 hPa) : *mode C*. Sa route et sa vitesse sont calculées par le radar. Les transpondeurs des avions qui sont à sa portée lui répondent. Les réponses des avions sont capturées par l'antenne du radar secondaire, sont analysées et traitées électroniquement, et par la suite visualisées sur les écrans des contrôleurs aériens.

1.4.1 LE FONCTIONNEMENT :

Le schéma ci-dessous représente un radar secondaire interrogeant un avion et traduisant les informations reçues sur un écran.

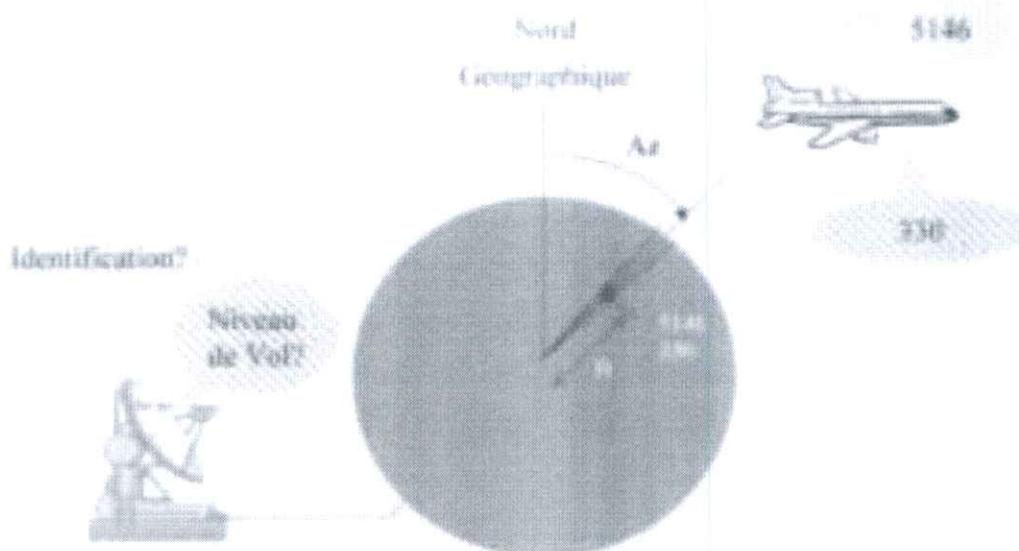


Figure 1.5: principe du radar secondaire

Le radar secondaire pose deux questions :

Quel est ton code ?

Chaque avion se voit affecter par la réglementation un code qui devra être positionné par le pilote sur le transpondeur.

Quel est ton niveau de vol ?

Le transpondeur est relié à l'altimètre de l'avion. Le niveau de vol ou Flight Level sera renvoyé au radar.

1.4.2 Mesure de la distance :

En radar la distance était fonction du temps en utilisant la relation $D = \Delta T / 2$. La réponse d'un transpondeur qui doit interpréter la question posée ne peut techniquement pas être instantanée. Tous les transpondeurs de toutes les marques se sont vu imposer un temps de réponse fixe r_t de $3 \mu s$ qui sera soustrait par le radar.

1.4.3 Mesure de l'azimut :

En radar secondaire classique (non monopulse) SSR, l'azimut de la cible est l'azimut de l'antenne. Ces types de radars sont en cours de disparitions.

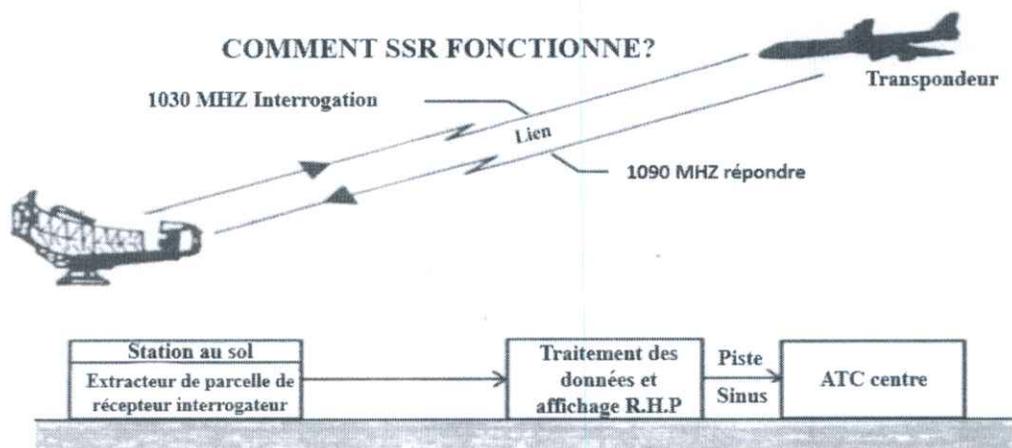
1.4.4. L'INTERROGATION

Le signal émis :

Fréquence de l'interrogation radar : 1030 Mhz

Fréquence de la réponse transpondeur : 1090

Mhz Le délai entre P1 et P3 représente Mode.



- Le radar secondaire terrestre transmet un signal a 1030 mhz.
- L'Avion radar reçoit sur 1030 mhz et retransmet 1090 mhz.
- Le réponse du transpondeur est plus puissante que le signal radar réfléchi permettant une portée beaucoup plus grande de 250 nm.

Figure 1.6 : interrogation radar secondaire

1.4.5 Le Transpondeur

Un Code transpondeur s'exprime sous la forme de 4 mots de 3 bits :

Mode A Ces mots s'exprimeront par ABC D

- Mode C Codage du FL (Fly Level) : - 10 au FL 1267 par pas de 100 Pieds.
- Inutilisée Binaire Codé Réfléchi (Code de Gray)
- X, E, G ne doivent jamais exister
- SPI (Spécial Pulse Identification) est positionnée par le pilote pour les besoins du Contrôleur (Identifiez Vous). La piste apparaît avec un mode de visualisation remarquable à l'écran. L'alerte renvoyée avec le mode Appendant une durée de 15 à 30s
- La puissance émise devra être comprise entre 125 et 500Watts
- Après une réponse le transpondeur doit rester bloqué pendant μ s25

1.5 Les types de radar secondaire :

Le radar secondaire émet deux ou trois impulsions pour interroger les aéronefs volant dans le secteur de contrôle aérien. La séparation temporelle entre deux impulsions détermine le mode utilisé, on distingue donc deux types de radar secondaire :

a- Le radar secondaire mode (A/C) :

Avec le mode A l'information transmise est un code SSR composé de quatre chiffres entre 0 et 7 inclus. Ce code sera affiché sur l'écran radar du contrôleur. Chaque avion a un code unique qui permet d'établir une relation entre un plot et un avion, d'identifier avec certitude que ce plot correspond à cet avion. On appelle cela l'identification radar. Donc avec le mode A, le contrôleur dispose de la position de l'avion et d'un moyen d'identification radar, et avec le mode C en ajoutant une information d'altitude. Cette donnée est mesurée dans l'avion, transmise au radar, puis visualisée sur l'écran du contrôleur. Souvent désigné par "Alt" sur les transpondeurs actuels.

b- Le radar secondaire mode S (Sélectif) :

Le radar secondaire mode S est une évolution du radar secondaire classique. Comme nous l'avons déjà vu les aéronefs sont identifiés par le mode A d'interrogation. Le code est assigné dynamiquement à un appareil par le contrôleur et est entré dans le transpondeur par le pilote.

Ce code peut être changé durant le vol selon les besoins du trafic aérien, et un même appareil peut être identifié par plusieurs codes par différents services au sol.

Comme il n'y a que 4096 codes seulement (**4 chiffres de 0 à 7 soit $8^4 = 4096$ codes possibles**) dans le mode A et que le trafic aérien est en constante augmentation, il devient de plus en plus difficile d'assigner un code unique dans une région de contrôle de vol. Cela amène à une confusion potentielle entre l'appareil et les services au sol qui peut engendrer des accidents si deux avions ont le même numéro d'identification.

1.6 L'ADS (Automatico Dépendent Surveillance) :

L'ADS est une application spécifique au-dessus de ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System). Il donne des rapports de position, que ce soit automatique ou sur demande donc il existe deux types de surveillance dépendante :

1.6.1 L'ADS-C (Automatico Dépendent Surveillance -Contracta):

L'ADS-C fonctionne en mode connecté donc il faut établir une connexion entre l'avion et la station intéressée par les informations qu'il va envoyer (en générale une station de contrôle aérien au sol). Ensuite, selon le « contrat » ainsi négocié automatiquement, l'avion va envoyer une seule fois, ou périodiquement, sa position. L'ADS-C est généralement utilisé dans les zones océaniques, en utilisant des liaisons par satellite et comme ces liaisons sont coûteuses, la cadence d'émission des informations est faible.

1.6.2 L'ADS-B (Automatico Dépendent Surveillance -Broadcast) :

ADS-B (la surveillance automatique dépendante par diffusion) est une nouvelle technologie de surveillance dont laquelle l'avion transmet des données à partir des systèmes embarqués en mode de diffusion, ce qui permet de partager ces informations avec d'autres avions.

Les données d'intérêt sont principalement : la position, la vitesse et l'identification. L'ADS-B permet de faire voler les avions avec plus de sécurité et peut permettre une utilisation plus efficace de notre espace aérien.

A : il est « automatique » car aucun système externe d'activation n'est nécessaire.

D : il est « dépendant » car il utilise les données des systèmes embarqués.

S : c'est un système de « surveillance ».

B : mode de « diffusion ».

1.7 La différence entre le radar et l'ADS :

1- L'ADS a un faible coût d'infrastructure par rapport au RADAR classique. En effet, la station réceptrice a besoin seulement d'une antenne permettant de recevoir les signaux ADS, le reste des traitements étant faits à bord des appareils.

2-Dans le système ADS la position est déterminée par les instruments de bord, comme le récepteur GPS donc elle est beaucoup plus précise que le radar.

3-Le radar primaire est un système indépendant et moyen non coopératif. Il ne fournit pas l'altitude, l'identification... Le radar secondaire est indépendant (à l'exception de l'altitude) et coopératif, mais ne détecte pas les avions non équipés de transpondeur. Mais l'ADS est dépendante et coopératif.

4-Avec l'ADS on peut surveiller et suivre les avions dans les régions où on ne peut pas installer de radar.

5-La couverture radar est limitée par la distance, le terrain et les conditions atmosphériques par contre l'ADS dépend de GPS.

1.8 Affichage radar

Un affichage radar est un système électronique servant à présenter les données obtenues par un système radar à un opérateur. En effet, le faisceau émis est en partie retourné par des cibles. L'intensité la position et la vitesse de ces dernières sont analysés par le programme de réception qui les convertit en signal vidéo.

Différents systèmes d'affichage ont été imaginés dès le début du radar pour permettre l'affichage analogique des données sur des écrans cathodiques. Chaque affichage avait une configuration particulière qui dépendait de l'utilisation désirée. Les radars modernes utilisent

maintenant une conversion numérique des données et divers types d'images matricielles pour afficher des cartes similaires.

1.8.1 Affichage A et J

Le premier affichage radar était l'*affichage A* (en anglais « A-scope ») qui donnait la distance de la cible sur une échelle. Ces afficheurs, également appelés « R-scopes » pour *Range Scopes* (afficheurs de distance), opérait en une seule dimension (1D). Pour obtenir un *affichage de type A* on relie l'axe des X à un générateur de signal en dents de scie ce qui a pour effet de déplacer le spot lumineux le long d'une ligne à une vitesse donnée. Le début d'un balayage est couplé à l'envoi d'une pulsation du radar vers l'antenne et la vitesse du balayage est réglée de telle sorte que le temps pour le spot d'arriver du côté opposé de l'afficheur (généralement à droite) corresponde au temps le plus long de retour de l'écho. Le signal reçu était amplifié puis envoyé sur la bobine qui commande l'axe des Y, ainsi le spot faisait un saut vertical détectable par l'opérateur (« bip » ou « pipe »).

Une autre version de l'*affichage A* était utilisée sur les premiers radars américains et allemands, le « J-scope ». Le concept était le même mais au lieu de lire la distance sur une échelle linéaire, on faisait tourner un rayon sur l'afficheur et on lisait le *blip* sur une échelle circulaire. Ce système permettait une meilleure précision car l'échelle complète avait la longueur de toute la circonférence de l'afficheur au lieu d'être limitée à un diamètre ; elle était donc π fois plus longue. Une version électromécanique du J-scope a survécu jusqu'à récemment sur les sondeurs de fond utilisés par la navigation de plaisance.

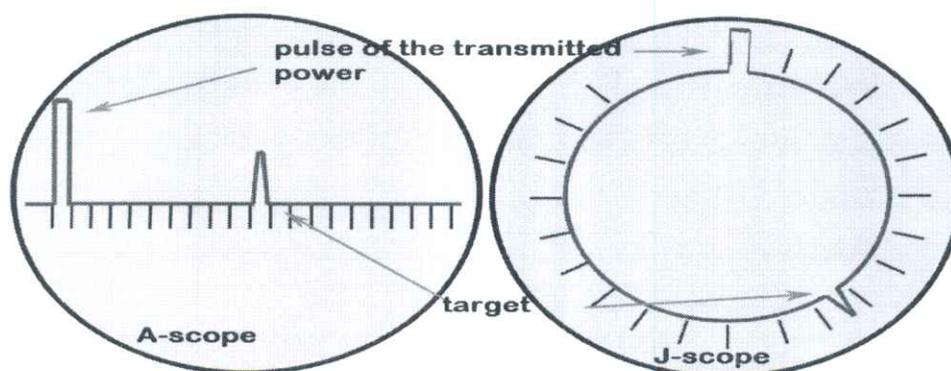
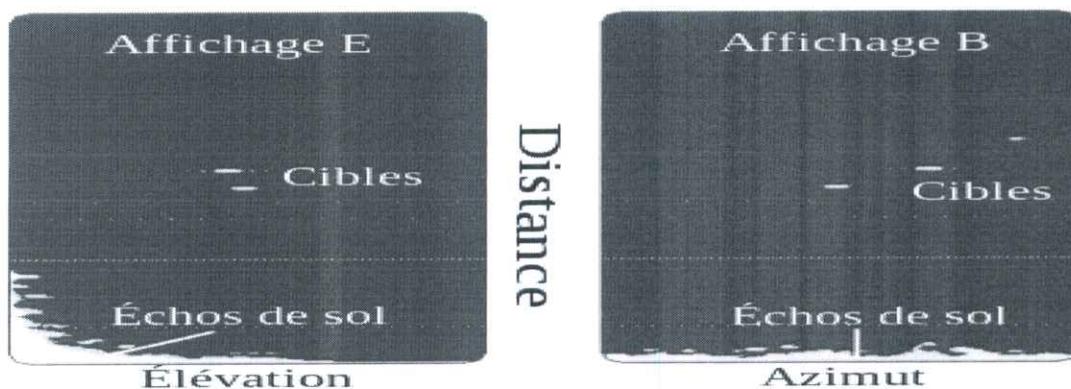


Figure 1.7 : Différence entre affichage-A et affichage J

1.8.2 Affichage B et E

Un *affichage de type B* (en anglais « *Biscope* ») donne une représentation de l'espace en deux dimensions (2D) dont, généralement, l'axe vertical représente la distance et l'axe horizontal l'azimut. Ce type d'affichage était courant sur les radars aéronautiques embarqués dans les années 1950 et 1960. Les radars étaient alors déplacés horizontalement, et parfois verticalement, de façon mécanique. L'*afficheur du type B* donnait donc une « tranche » de l'espace de part et d'autre de l'avion suivant le balayage du radar.

Un *affichage de type E* (en anglais « *Escope* ») est un type B qui affiche la distance et l'angle d'élévation au lieu de la distance et de l'azimut. Le mode opératoire est le même que pour le type B. Le « E » de *Escope* vient de l'initiale de « élévation ». Ils sont généralement utilisés sur les radars de site qui sont semblables aux radars embarqués mais qui balayent verticalement et non horizontalement. Le plus souvent, le tube cathodique est tourné de 90 degrés pour que l'élévation soit lue sur une échelle verticale et soit en meilleure adéquation avec la réalité.



1.8.3 Affichage C

L'*affichage C* (en anglais « *C-scope* ») donne une vue circulaire de l'élévation par rapport à l'azimut. Le *bip* s'affiche en indiquant la direction de la cible par rapport à l'axe central du radar ou, plus généralement, de l'avion ou de l'arme auquel il est couplé. La distance est généralement affichée séparément, souvent sous forme d'un chiffre sur le côté de l'afficheur.

Ce système d'affichage recrée un dispositif optique couramment utilisé dans les viseurs où le pilote devait se diriger vers les ailes visibles de la cible et faire feu quand les ailes remplissaient un cercle dessiné dans le viseur. Le système permettait au pilote d'estimer

sa distance par rapport à la cible. Cependant, dans ce cas, la distance était mesurée directement par le radar et l'affichage ne faisait qu'imiter le système optique pour garder un air de famille entre les deux dispositifs.

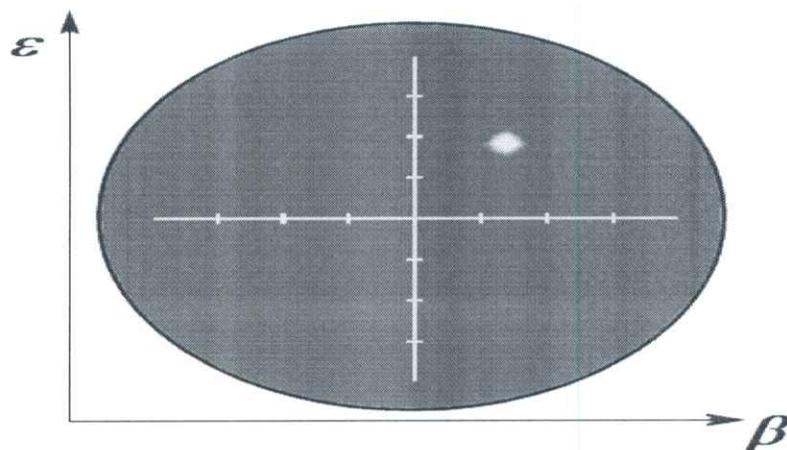


Figure 1.9 : Affichage de type C

1.8.4 Affichage Hauteur-Distance

L'*affichage de hauteur et de distance*, souvent connu par son sigle anglais de « RHI » (Range Height Indicator), est utilisé par les radars de site pour afficher la hauteur et la distance des cibles. Ce type d'affichage est parfois appelé « B-scopes » ce qui prête à confusion.

L'image RHI comporte un axe horizontal donnant la distance au radar et un axe vertical donnant la hauteur par rapport au sol, avec le radar se trouvant dans le coin inférieur gauche. Le balayage de l'écran est synchronisé avec le déplacement du faisceau radar qui débute à la verticale et descend vers l'horizon. Sur l'affichage, la ligne qui représente le faisceau apparaît donc comme une ligne balayant de l'axe vertical à gauche vers l'axe horizontal en utilisant comme point d'ancrage le coin inférieur gauche.

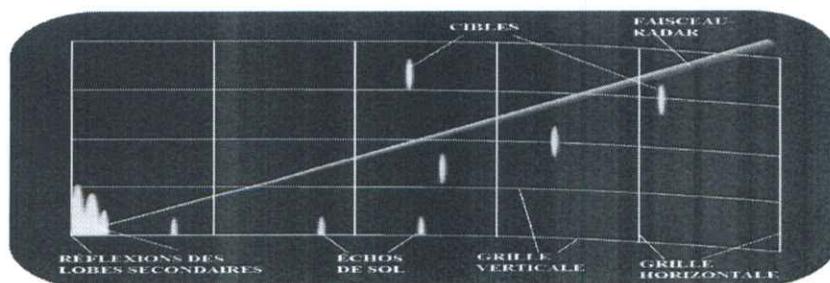


Figure 1.10 : Affichage Hauteur-Distance (RHI)

1.8.5 Plan Position Indicator

La *vue panoramique à angle d'élévation constant*, plus connu par son nom anglophone de **Plan Position Indicator** ou *PPI*, restitue une vue en deux dimensions de l'espace à 360 degrés autour du radar. La distance du spot à partir du centre de l'afficheur donne une indication de la distance et l'angle correspond à l'azimut de la cible. La position de l'antenne est représentée par une ligne qui part du centre et va jusqu'à la circonférence de l'écran (rayon) et qui tourne à la même vitesse que l'antenne. C'est, en fait, un *affichage de type B* permettant un affichage sur 360 degrés. Les échos se retrouvent de plus en plus en latitude avec la distance au radar. Le PPI est l'idée qu'on se fait généralement de l'affichage d'un radar et il a été largement utilisé pour le contrôle du trafic aérien jusqu'à l'apparition de l'affichage par image matricielle dans les années 1990.

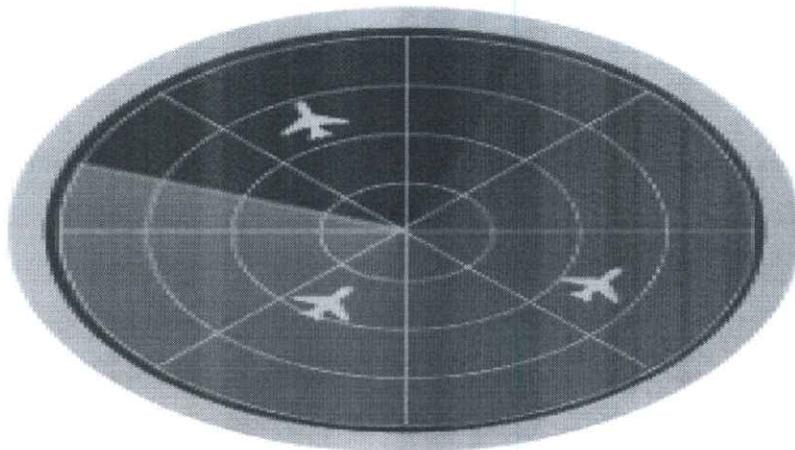


Figure 1.11 : Afficheur Plan Position Indicator(PPI)

1.9 .Conclusion

La surveillance est une technique de détection instantanée des cibles et la détermination de leur position (si possible l'acquisition de l'information supplémentaire reliée à ces cibles) et la transmission de ces informations dans le but d'un contrôle de trafic aérien sécurisé.

CHAPITRE 2 :

Réseau et

Communication

2. Introduction

La transmission des données radar se passe par des moyens de communication réseaux sous formes des trames qui ressemble au format OSI qui s'appelle format ASTERIX.

Dans ce chapitre nous allons voir comment la transmission de données se fait ainsi que les moyens de communication entre les différentes machines du réseau.

2.1. Définition du réseau:

Un réseau de communication peut être défini comme l'ensemble des ressources matériels et logiciels liées à la transmission et l'échange d'information entre différentes entités. Suivant leur organisation, ou architecture, les distances, les vitesses de transmission et la nature des informations transmises, les réseaux font l'objet d'un certain nombre de spécifications et de normes. Généralement les constructeurs se sont mis l'accord pour que le transfert des données soit compatible avec le modèle OSI.

2.1. Le modèle OSI

Pour établir une communication entre deux ordinateurs il faut tenir compte des différences entre le matériel et le logiciel de chaque machine. Ces difficultés pour établir une communication se multiplient lorsqu'il s'agit d'interconnecter des machines mettant en jeu des matériels et des systèmes informatiques très différents. Pour créer un réseau il faut utiliser un grand nombre de composants matériels et logiciels souvent conçus par des fabricants différents. Pour que le réseau fonctionne, il faut que tous ses appareils soient capables de communiquer entre eux. D'où le développement du modèle OSI pour mettre fin à ces problèmes.

Le modèle OSI (Open Systems Interconnexion) définit de quelle manière les ordinateurs et les périphériques en réseau doivent procéder pour communiquer :

- il spécifie le comportement d'un système dit ouvert ;
- les règles de communication constituent les protocoles normalisés ;
- le modèle OSI est normalisé par l'ISO.

2.2. Le parcours des données dans le modèle OSI :

Lorsque les données sont transférées au sein d'un réseau :

- Elles parcourent chacune des couches du modèle OSI de l'émetteur, de la couche application à travers la couche physique. Chaque fois qu'elles traversent une couche, elles sont enrichies de nouvelles informations : les informations délivrées par le protocole de la couche sont ajoutées (on parle d'encapsulation).
- Elles sont transmises sur le support.
- Elles parcourent chacune des couches du modèle OSI du récepteur, de la couche physique à la couche application. Chaque fois qu'elles traversent une couche, les informations ajoutées par le protocole de même niveau de l'émetteur sont enlevées et exploitées (on parle de dés encapsulassions).

2.3. Description du modèle :

Le modèle OSI, créé dans les années 80, se décompose en 7 parties appelées couches et suit les préceptes suivants comme le montre la figure 2.1:

- Chaque couche est responsable de l'un des aspects de la communication.
- Une couche de niveau N communique avec les couches N+1 et N-1 par le biais d'une interface.
- Une couche inférieure transporte les données delà couche supérieure sans en connaître la signification.
- Les couches N de 2 systèmes communiquent à l'aide de protocoles de communication commune.

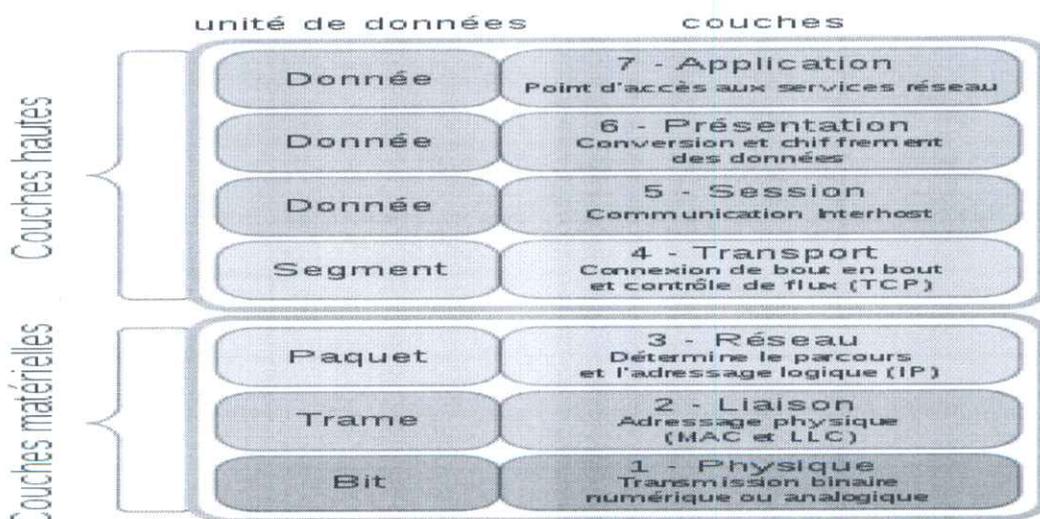


Figure 2.1 : Les Couches Du Modelé OSI

- La couche application est la plus élevée. Elle donne au(x) processus d'application le moyen d'accéder à l'environnement OSI.
- La couche présentation se charge de la représentation des informations. Elle permet de transférer les données des applications sous une syntaxe commune, indépendamment de la représentation réelle des données.
- La couche session fournit les moyens permettant d'organiser et de synchroniser les dialogues, ainsi que de gérer les échanges de données entre applications.
- La couche transport assure un transfert de données de bout en bout, fiable et d'un bon rapport qualité/prix.
- La couche réseau prend en charge les problèmes de routage et de relais.
- La couche liaison de données détecte et corrige, dans la mesure du possible, les erreurs pouvant se produire dans la couche physique. Elle participe également à la gestion de la couche physique.
- La couche physique, enfin, fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits.

2.4 Rôles des couches :

On peut résumer le rôle des couches dans le tableau suivant.

| COUCHE | ROLE |
|-----------------|--|
| 1. PHYSIQUE | <ul style="list-style-type: none">• Envoi et réception des séquences débits |
| 2. LIAISON | <ul style="list-style-type: none">• Organisation des données en trames et transmission |
| 3. RÉSEAU | <ul style="list-style-type: none">• Acheminement des paquets de données (routage, contrôle des flux) |
| 4. TRANSPORT | <ul style="list-style-type: none">• Découpage du message en paquets (et inversement : ré-assemblage des paquets en message dans le bon ordre);• Gestion de plusieurs connexions sur la même voie de communication (multiplexage) ou éclatement d'une connexion sur plusieurs liens. |
| 5. SESSION | <ul style="list-style-type: none">• Établissement, contrôle, terminaison d'une connexion entre deux systèmes |
| 6. PRÉSENTATION | <ul style="list-style-type: none">• Formatage, conversions, (+ compression et cryptage) des données |
| 7. APPLICATION | <ul style="list-style-type: none">• Fourniture de services réseaux aux applications |

Tableau 2.1 : Rôles des couches

Après notre stage au niveau de la direction technique de la navigation aérien il s'est avéré que les données radar sous format ASTERIX sont transmises sous le protocole X.25

2.5 Le protocole X.25 :

Il est défini en 1976 sous la recommandation X.21 de l'ITU, et a pour but de décrire :
« L'interface entre ETDD et ETCD pour terminaux fonctionnant en mode paquet et raccordés par circuit spécialisé à des réseaux publics de données ».

Les informations contenues dans ce document sont conformes à la recommandation ITU-T X.25 (mars 1993).

Cette norme définit trois niveaux indépendants de protocole ou d'interface permettant l'interconnexion d'ETDD au travers d'un réseau à commutation de paquets. Elle ne définit en aucun cas les protocoles mis en œuvre au sein des réseaux à commutation par paquets,

c'est à dire l'information est découpée en paquet et transportée point en point à l'autre extrémité de réseau.

Les trois niveaux définis par X.25 correspondent aux trois premières couches du modèle de référence OSI (physique, liaison et réseau), mais comme ils ont été définis avant l'apparition du fameux modèle, ils sont dénommés respectivement niveaux physiques, trame et paquet.

- Niveau physique :

Les réseaux à commutation de paquets peuvent offrir une ou plusieurs des interfaces physiques suivantes. Ils peuvent bien sûr en offrir d'autres.



Figure 2.2 : Accès par réseau à commutation de circuits

- Niveau trame :

Le niveau trame correspond à la couche liaison de données du modèle de référence OSI. Deux types de procédures sont utilisables à ce niveau :

- ✓ Procédure à liaison unique (identique au mode LAPB du protocole HDLC).
- ✓ Procédure multi-liaison (plusieurs supports physiques).

L'objectif du niveau trame est de se prémunir contre les erreurs de transmission pouvant survenir entre l'utilisateur et le réseau.

Le niveau trame permet également un contrôle de flux global au niveau de l'interface usager-réseau.

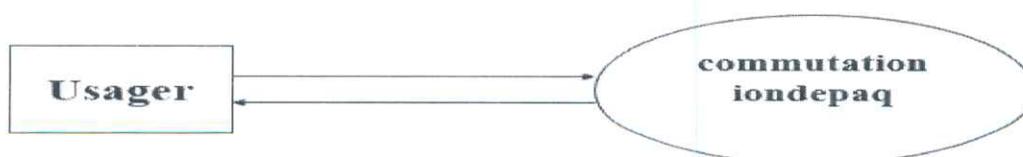


Figure 2.3 : Niveau trame : liaison unique

- **Niveau paquet :**

L'objectif du niveau paquet est de permettre l'interconnexion entre deux usagers du réseau par l'intermédiaire de ce l'on appelle un circuit virtuel. Un usager peut ouvrir (créer) plusieurs circuits virtuels ce qui lui permet de pouvoir gérer plusieurs communications simultanément (multiplexage).

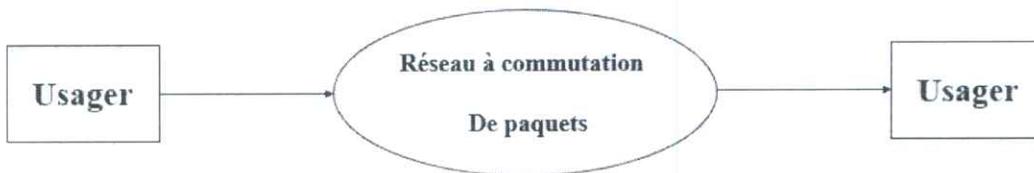


Figure 2.4 : Circuit virtuel

2.6. Le modèle TCP/IP :

Le modèle TCP/IP s'inspire du modèle OSI auquel il reprend l'approche modulaire mais réduit le nombre de couche à quatre. Les trois couches supérieures du modèle OSI sont souvent utilisées par une même application. Ce n'est pas le cas du modèle TCP/IP. C'est actuellement le modèle théorique le plus utilisé.

| Protocoles utilisés | Modèle TCP/IP | correspondance en OSI |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| | Couche application | Application |
| | | Présentation |
| | | Session |
| TCP / UDP, gestion des erreurs | Couche Transport | Transport |
| IP / ARP et RARP /ICMP / IGMP | Couche Internet | Réseau |
| | Couche Accès réseau | Liaison de donnée |
| | | Physique |

Figure 2.5 : modèle TCP/IP s'inspire du modèle OSI

De nouveau, on ajoute à chaque niveau un en-tête, les dénominations des paquets de données changent chaque fois :

- ✓ Le paquet de données est appelé message au niveau de la couche application.
- ✓ Le message est ensuite encapsulé sous forme de segment dans la couche transport. Le message est donc découpé en morceau avant envoi pour respecter une taille maximum suivant le MTU.
- ✓ Le segment une fois encapsulé dans la couche Internet prend le nom de datagramme.
- ✓ Enfin, on parle de trame envoyée sur le réseau au niveau de la couche accès réseau Les couches du modèle TCP/IP sont plus générales que celles du modèle OSI.

2.7 L'encapsulation :

L'encapsulation permet de conserver les informations nécessaires de la couche pour que les équipements intermédiaires et le destinataire puisse traiter correctement le paquet. Voir figure 2.6

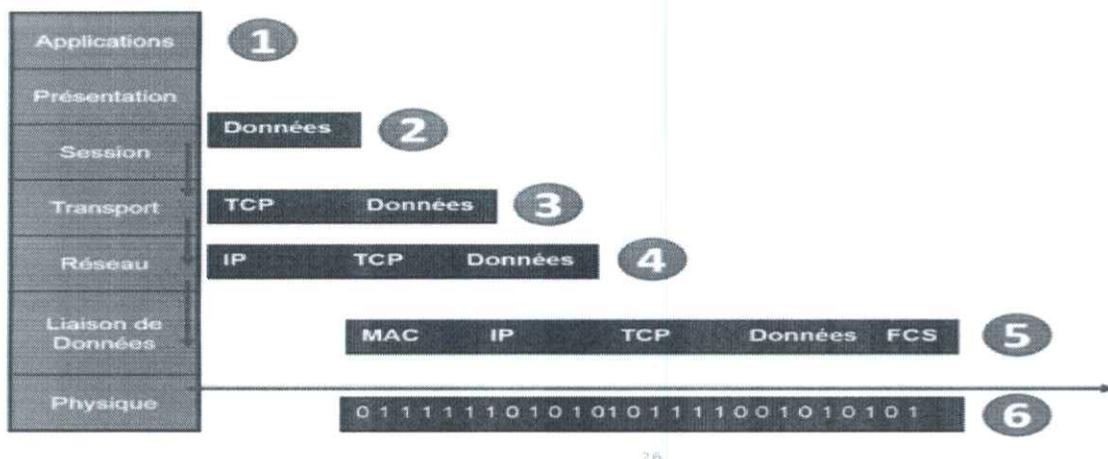


Figure 2.6 : Processus d'encapsulation

2.7.1 Description :

- L'utilisateur entre une donnée (un site web par exemple).
- Cette donnée va être correctement **formatée** et envoyée à la couche inférieure (entête HTTP).

- La couche Transport (ici TCP) concatène à la donnée l'entête qui définit les paramètres de la couche en question comme par exemple le **port source** et **port destination**. Une fois l'entête ajouté, le segment TCP (entête + donnée) est envoyé à la couche inférieure.
- La couche Réseau (ici IP) concatène au segment TCP (entête TCP + donnée) l'entête IP avec entre autres les adresses **IP source** et **IP destination**. Une fois l'entête ajouté, le paquet IP (entête IP + entête TCP + donnée) est envoyé à la couche inférieure.
- La couche Liaison de données (ici Ethernet) concatène au paquet IP (entête IP + entête TCP + donnée) l'entête Ethernet avec entre autres les adresses **MAC source** et **MAC destination**. Une fois l'entête ajouté, la trame Ethernet (entête Ethernet + entête IP + entête TCP + donnée) est envoyée à la couche inférieure.
- La couche Physique (ici du cuivre) transforme cette trame composée de 0 et 1 numérique **en signaux électrique** pour l'envoyer sur le câble. La trame quitte la carte réseau du PC.

2.7.2 Processus de désencapsulassions :

Une fois la trame reçue par le destinataire, la trame va être successivement désencapsulés par les couches afin de traiter chaque entête jusqu'à transmettre la donnée initiale (la fameuse carte postale) à la couche application.

2.8 Modem :

Le terme **modem** est la contraction de **modulateur démodulateur**. Il s'agit d'une interface physique, capable de transformer un signal numérique en un signal analogique (et réciproquement), le modem effectue la modulation de données numériques afin de les faire circuler sur un canal analogique.

Dans la station radar utilise le **modem MD 334** qu'est un équipement modulateur / démodulateur multistandard de table permettant la connexion sur la ligne à commuter et la connexion sur une ligne louée à 2 fils avec des fonctions de sauvegarder et de restauration automatique à une vitesse maximale de 28800 bits/s.

2.9. Les réseaux informatiques :

Les réseaux informatiques sont classés suivant leur portée :

- ✦ Le bus informatique : réseau dans "la carte mère".
- ✦ Le réseau personnel (PAN) relie des appareils électroniques personnels.
- ✦ Le réseau local (LAN) relie les ordinateurs ou postes téléphoniques situés dans la même pièce ou dans le même bâtiment.
- ✦ Le réseau local (WLAN) est un réseau LAN utilisant la technologie WIFI.
- ✦ Le réseau métropolitain (MAN) est un réseau à l'échelle d'une ville.
- ✦ Le réseau étendu (WAN) est un réseau à grande échelle qui relie plusieurs sites ou des ordinateurs du monde entier Également (à titre indicatif).
- ✦ Le réseau régional (RAN) qui a "pour objectif de couvrir une large surface géographique.

Dans les radars le réseau informatique utilisé est le **LAN (Local Area Network)**

2.9.1 LAN :

Le réseau local LAN est un réseau informatique à une échelle géographique relativement restreinte, il est utilisé pour relier entre eux les ordinateurs, par exemple d'une habitation particulière, d'une entreprise, d'une salle informatique, d'un bâtiment. L'infrastructure est privée et est gérée localement. À l'intérieur, ou « sur » le réseau local il y a des ordinateurs fixes ou portables connectés par des câbles ou sans fil (Réseaux locaux sans fil : WLAN). Ces deux mondes communiquent par l'intermédiaire d'un box ou modem ADSL (selon le FAI). La taille d'un réseau local peut atteindre jusqu'à 100 voire 1000 utilisateurs. En élargissant le contexte de la définition aux services qu'apporte le réseau local, il est possible de distinguer deux modes de fonctionnement.

Dans un environnement « paire à paire : P2P » (en anglais peer to peer), dans lequel il n'y a pas d'ordinateur central et chaque ordinateur a un rôle similaire. Dans un environnement « client/serveur », dans lequel un ordinateur central fournit des services réseau aux utilisateurs. Les MAN (Metro politan Area Network) interconnectent plusieurs LAN géographiquement proches (au maximum quelques dizaines de km) à des débits importants.

Technologies utilisées : Ethernet (sur câbles de paires torsadées), ou Wifi.

2.8.2 La topologie des réseaux :

Une topologie décrit la manière dont les équipements réseaux sont connectés entre eux.

Il existe plusieurs topologies voire figure 2.6 :

✦ La topologie en bus :

Une topologie de bus fait appel à un câble de backbone unique qui est terminé aux deux extrémités. Tous les hôtes se connectent directement à ce backbone.

✦ La topologie en anneau :

Dans une topologie en anneau, chaque hôte est connecté à son voisin. Le dernier hôte se connecte au premier. Cette topologie crée un anneau physique de câble.

✦ La topologie en étoile :

Dans une topologie en étoile, tous les câbles sont raccordés à un point central, par exemple un concentrateur ou un commutateur.

✦ La topologie hiérarchique :

Une topologie hiérarchique est similaire à une topologie en étoile étendue. Cependant, plutôt que de lier les concentrateurs ou commutateurs ensemble, le système est lié à un ordinateur qui contrôle le trafic réseau sur la topologie.

✦ La topologie complète (maillée) :

Dans la topologie maillée chaque hôte possède ses propres connexions réseau à tous les autres hôtes.

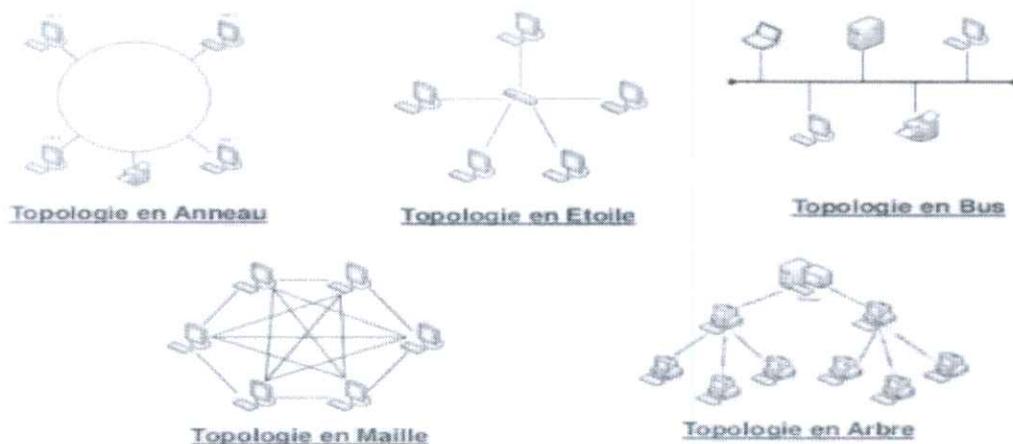


Figure 2.7 : différentes topologies des réseaux

2.10. Une Trame :

Dans les réseaux informatiques, une trame est un PDU (Unité de données de protocole) de la couche 2 (Liaison de données) dans le modèle OSI.

Une trame est délimitée par une série de bits particulière appelée fanion. Une trame est composée d'un header, des informations que l'on veut transmettre, et d'un postambule (trailer). Un paquet (dans le cas d'IP par exemple) ne peut transiter directement sur un réseau : il est encapsulé à l'intérieur d'une trame qui elle-même finit en un enchaînement de bits qui circule sur le support physique.

2.11. HighLevel Data Link Control :

HDLC est un protocole orienté bits. Il a été développé par l'Organisation internationale pour Standardisation (ISO). Il relève des normes ISO 3309 et ISO 4335.

Spécifie un standard de compactage pour les liaisons série. Il a été si largement mis en œuvre, car il prend en charge à la fois semi-duplex et lignes de communication en duplex intégral, réseaux point à point (peer to peer) et multipoints, et les canaux commutés ou non commutés. HDLC prend en charge plusieurs modes de fonctionnement, y compris un mode simple fenêtre coulissante pour une livraison fiable. La plupart des applications Internet utilisent HDLC comme mode de livraison fiable.

Les autres avantages de HDLC sont que les informations de contrôle sont toujours dans la même position, et les modèles de bits spécifiques utilisés pour le contrôle diffèrent considérablement de ceux dans représentant des données, ce qui réduit le risque d'erreurs. Cela a également conduit à de nombreux sous-ensembles.

Deux sous-ensembles largement utilisés sont le contrôle de liaison de données synchrone (SDLC) et l'accès par liaison Procédure équilibrée (LAP-B).

2.11.1 Les différents modes de HDLC :

- Le mode synchrone ou normal **NRM (Normal Réponse Mode)** :
 - Liaison multipoint dissymétrique
 - Relation maître/esclave : le primaire invite le secondaire à parler.
- Le mode asynchrone dissymétrique **ARM (Asynchrones Réponse Mode)** :
 - Liaison peut être point-à-point ou multipoint
 - Liaison dissymétrique
- Le mode asynchrone symétrique (le plus courant) **ABM (Asynchrones Balanced Mode)** :
 - Liaison point-à-point uniquement :
 - ✚ Full duplex (**LAP-Balanced** adopté par RNIS)
 - ✚ Half duplex (**LAP-X** transmission télétext)
 - Liaison symétrique :
 - ✚ Tous les équipements agissent de la même façon : primaire en émission et secondaire en réception ⇨ mode équilibré (balance).

2.11.2 Format des Trames HDLC :

L'unité utilisée est la trame (*Frame*). Chaque trame est délimitée par deux fanions identiques.

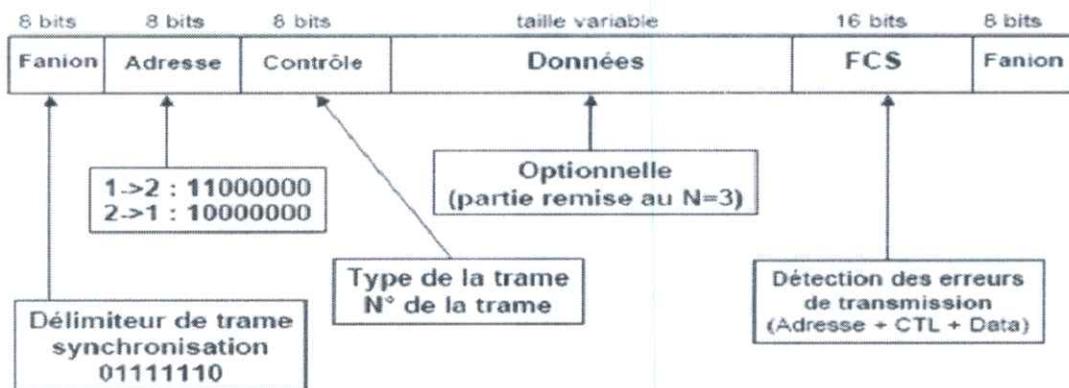


Figure 2.8 : Format De Trame HDLC

- **Le champ « fanion »** indique les bordures de la trame (début et fin).
- **Le champ adresse** identifie la station secondaire dans le cas d'une liaison multipoint
 - Dans une commande il représente la station destinataire
 - Dans une réponse il représente la station émettrice.
- **Le champ "contrôle"** indique le type de la trame.

3 formats de trame, plusieurs commandes pour chaque format :

- **Trames I (Information) : trames de données (+Ack).**
- **Trames S (Supervision) : trames de supervision (+Ack) :**
 - Supervision de l'échange.
 - Contrôle de flux : RR, RNR.
 - Contrôle d'erreur : REJ (rejet continu), SREJ (rejet sélectif).

- **Trames U (Unnumbered) : trames non numérotées**

- Supervision de la liaison.
- initialisation et libération de la liaison de données.

Ex : SARM (set mode ARM), SABM (set mode ABM), DISC (déconnecté).

- **Le champ « données » peut être vide**
 - Taille minimale (sans fanion) = 32 bits (4 octets).
- **Le champ FCS (Frame Check Séquence) permet la détection d'erreurs**
 - De longueur 16 bits (2 octets)
 - Porte sur les champs (adresse, contrôle, données)

- constitué du reste de la division polynomiale des N bits de la trame par un polynôme « générateur » normalisé de degré 16.
- le récepteur fait de même avec les N bits de la trame reçue et si le reste est égal à celui de la zone FCS on admet que la transmission s'est passée correctement sinon la trame est rejetée.

2.12. Synoptique de la transmission des données Radar :

Le schéma de la figure 2.8 représente le chemin de donnée radar :

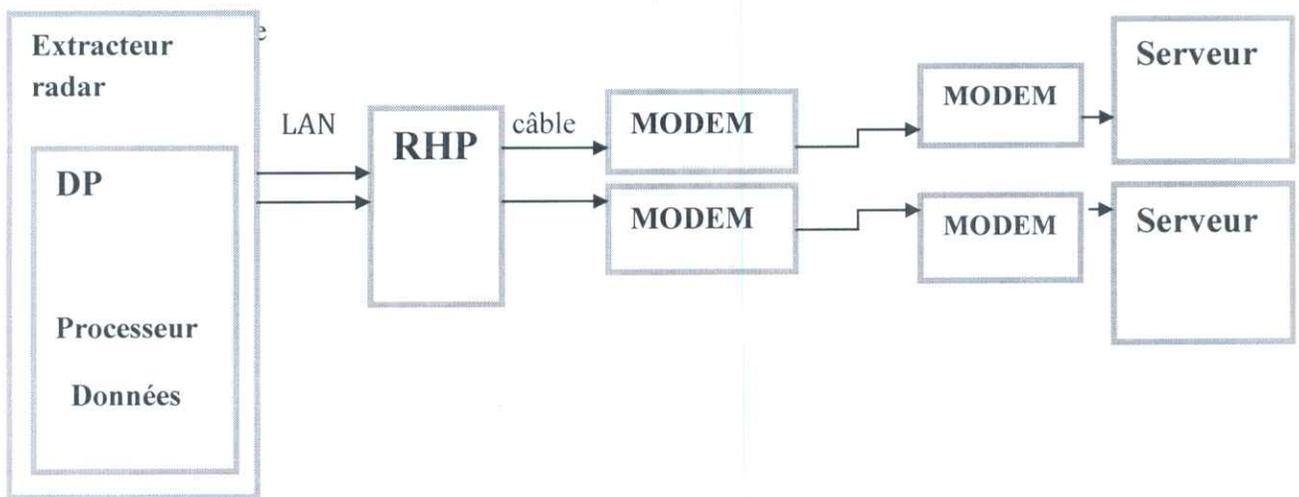


Figure2.9 : Schéma bloc de transmission des données radar

L'étage Extracteur de donnée radar reçoit le signal radar filtré puis il est transmis vers le **Processeur de données** : transformer les données radars bruts en données propres pour une interprétation facile

2.12.1. Le système Radar Head Processor :

Dans l'architecture il y a deux RHP pour assurer la redondance reliée sur le réseau LAN, le RHP écrit les données reçues sous format ASTERIX pour les envoyer vers le modem.

RHP :

Le RHP est le noyau de la tête de radar. C'est le nœud d'un réseau de transmission de signaux complexes qui comprend les capteurs radar (PRS, SSR, Meteochannel), les centres ATC, les installations Radar Head Environnement (comme UPS, Climatisation, DIP, etc.).

Le RHP reçoit les données du radar primaire et / ou secondaire (selon la configuration du système), exécute la fonction de combinaison (si PSR et SSR sont présents), la fonction de suivi et envoie des pistes locales (filtrées si nécessaire) et des tracés non corrélés à un ou plusieurs (jusqu'à 4) sites opérationnels (chacun avec ses données pertinentes). Ces données sont également transmises au radar de surveillance de maintenance (RMM) dans la tête de radar (à des fins de maintenance).

Le RHP gère et traite également les télé signaux et les télé contrôles pour la commande locale et / ou à distance du système radar, recevant de chaque dispositif des informations sur son état et activant tous les signaux d'alerte et de contrôle. (Par exemple, commutation du système redondant de maître à esclave, panneaux radar, messages sur le moniteur des opérateurs, etc.). Les messages de diagnostic peuvent être envoyés sur le site opérationnel au moyen des mêmes lignes des données radar ou via des lignes séparées, permettant un contrôle à distance de la totalité de la tête radar. La surveillance de la tête radar peut également être effectuée localement en utilisant une position dédiée (LCMS) connectée au LAN.

➤ **Les protocoles comprennent :**

- Datagramme HDLC standard.
- ETHERNET-UDP.

➤ **Tandis que les formats incluent :**

- ASTERIX :

Les tâches principales du RHP peuvent être résumées dans la liste suivante :

- ✓ Combiner les parcelles primaires et secondaires (lorsque les deux RPR et SSR sont présents).
- ✓ Identifier et suivre les cibles à travers des scans consécutifs (Tracking).
- ✓ Supprimer les fausses alarmes.
- ✓ Convertir les coordonnées de données radar de l'inclinaison locale au système de coordonnées stéréographiques locales.
- ✓ Filtrer les données radar selon des critères géographiques.
- ✓ Traiter les données météorologiques.

- ✓ Surveillance automatique de la tête radar, afin d'activer tous les signaux et les avertissements nécessaires à la maintenance du système et d'assurer la continuité de son état opérationnel (pour augmenter la disponibilité du système en réduisant le temps de restauration).

La sortie du suivi mono-radar est composée de pistes locales et de tracés non corrélés (c'est-à-dire des tracés qui n'ont été associés à aucune trace locale).

Ces données sont transférées via une liaison de données (par exemple par une ligne téléphonique dédiée via un modem) jusqu'à 4 centres ATC, chacun recevant ses données pertinentes (par exemple un filtre géographique, un système de coordonnées géographiques, etc.). La sortie de données RHP peut être envoyée avec plusieurs formats et protocoles.

RHP est généralement fourni en configuration redondante (maître / esclave) pour assurer la disponibilité maximale. Les RHP Master et Slave échangent des données entre eux et avec l'autre appareil pour effectuer la commutation automatique en cas de panne en très peu de temps et pour assurer l'alignement des données de sortie.

2.13. Conclusion

La norme ASTERIX fait référence aussi aux couches Présentation et Application (couches six et sept) du modèle l'OSI. la transmission des données ASTERIX peuvent utiliser toute communication disponible un réseau étendu (WAN) à commutation par paquets, ou qu'un réseau local (LAN) ainsi que toutes les avantages du protocole OSI (architecture, communication, sécurité ...)

CHAPITRE 3:

ASTERIX

**All Purposes Structured Eurocontrol
SuRveillance Information Exchange**

3.1 Introduction

ASTERIX est un protocole d'application / présentation responsable des données définition et assemblage de données développé pour supporter les données de surveillance RADAR. Son but est de permettre un transfert significatif d'informations entre deux entités d'application (client-serveur) en utilisant un protocole mutuellement convenu des données à échangé.

Dans ce chapitre nous étudions la catégorie 01 de l'ASTERIX standard normalisé sous lequel sont organisées les données radar des systèmes de surveillance conventionnels de la circulation aérienne dont est équipé l'Établissement National de la Navigation Aérienne (ENNA), tel que le radar secondaire et le radar primaire.

Historique :

1980 : chaque pays développe son propre format de données

1984 : _ACC Maastricht présente un format pour les spécialistes radars

_ Naissance d'ASTERIX _ Création d'un groupe d'utilisateurs

1986 : Naissance officielle d'ASTERIX par le RSSP

1988 : Premier manuel ASTERIX -Description de la structure initiale -Les articles pour radar météo et ATC

1991 : Révision de la structure générale, Plus de flexibilité, Création standard

3.2. Le Format ASTERIX :

Le format ASTERIX (All Purposes STructured Eurocontrol SuRveillance Information Exchange) ; Echange Polyvalent de l'information structurée des Radars Eurocontrol) est une norme pour l'échange d'informations sur les services de trafic aérien (ATS), il est développé et maintenu par l'organisation européenne ATS Eurocontrol. ASTERIX ne représente pas seulement l'échange d'informations de surveillance structuré à l'ensemble de l'infrastructure Eurocontrol, mais représente également un format de données de surveillance de pointe qui est adopté par la communauté mondiale des utilisateurs comme la norme universelle dans ce domaine aujourd'hui. ASTERIX est une norme extensible avec plusieurs catégories différentes, chacune traitant d'un type particulier d'informations, elles incluent des rapports cibles à partir de capteurs de surveillance tels que des radars ainsi que des informations traitées telles que des pistes et divers messages d'état du système, l'avantage de ce format et

qu'il a été conçu pour les supports de communication avec une bande passante limitée. C'est pourquoi il suit des règles qui lui permettent de transmettre toutes les informations nécessaires, avec la plus petite charge de données possible. On utilise ce format dans l'aviation civile (Radar ATC, Radar météo, ADS-B, ...).

3.2.1. Les catégories de l'ASTERIX

La catégorie définit le type de données qui vont suivre dans les enregistrements. Les catégories vont de 0 à 255.

- Les catégories de 0 à 127 : pour les applications "standard" civile et militaire (utilisé pour l'Air Traffic Control (ATC) et la météo).
- Les catégories de 128 à 240 : pour les applications spéciales pour le domaine militaire.
- Les catégories de 241 à 255 : pour les applications non standard civile et militaire (recherche, test, expérimentation).

Par exemple on a :

- * La cat 01 : Plot pisté (détection d'un avion)
- * La cat 02 : Message de service concernant un radar = fin de secteur (codage de la rotation d'antenne).
- * La cat 08 : Radar météo
- * La cat 10 : Monosensor Surface Movement Data
- * La cat 21 : ADS-B
- * La Cat 48 : radar mode S

3.2.2. Description des catégories de données radar :

○ **Catégorie 000, Messages De la Synchronisation :**
Des messages de la synchronisation sont employés, par exemple, pour fournir des données horodatées quand des images composées du trafic sont échangées entre les systèmes de traitement.

- **Catégorie 001, le rapport radar des cibles d'un système de surveillance radar à un système de traitement des données radar (RDP) :**

Les rapports radar des cibles sont des transactions contenant des paramètres transmis d'un système de surveillance radar à un système RDP (Radar Data Processor).

Des messages de piste (tracés) ou de plots ou une combinaison des deux peuvent être transmis.

○ **Catégorie 002, Messages De Service Radar**

La transmission des données de la catégorie 002 permet à une station radar d'informer ses utilisateurs au sujet de sa configuration matérielle actuelle et le statut de traitement.

Le flux représente les données élémentaires nécessaires pour la manipulation appropriée des données radar de surveillance sur le côté utilisateur.

○ **Catégorie 003, distribution des données synthétiques du trafic aérien**

Cette catégorie est conçue pour distribuer les images synthétiques de la situation du trafic entre les systèmes RDP pour les affichées à la position du contrôleur.

Les images de situation du trafic sont fondamentalement établies par un processus de traitement des tracés (Pistes) mono/multi radar, encore probablement complété avec l'association des données du plan de vol (ainsi les images du trafic sont entièrement marquées).

Un dispositif permet l'exécution des processus automatiques de coordination par l'intermédiaire de la communication écran à écran, même entre les positions de travail situées dans différents centres ATC.

○ **Catégorie 008, Données Météos Dérivées du Monoradar :**

Ce sont des images météorologiques relativement simples des zones de précipitations détectées par des radars.

2.3. CAT001 transmission des rapports mono radar des cibles

2.3.1. Le message ASTERIX :

Le message ASTERIX peut être composé :

- De plusieurs blocs.
- Chaque bloc correspond à une catégorie.
- La longueur est relative à la taille d'un bloc.

Enfin dans chaque bloc nous pouvons trouver plusieurs enregistrements (voir figure 3.5).

Les données des enregistrements sont détaillées dans les champs FSPEC. Ainsi que chaque bit à un champ FSPEC annonce une donnée particulière définie par la norme.

Le FSPEC est un champ étendu, c'est-à-dire que sa taille est variable.

1.2 Définition de type de champ :

1.2.1 Champ fixe :

Un champ de données a une taille fixe d'octet (voir figure 3.2).

Exemples :

- ✦ L'heure TU sera envoyée sur 4 octets
- ✦ L'identité d'un radar sur 2 octets

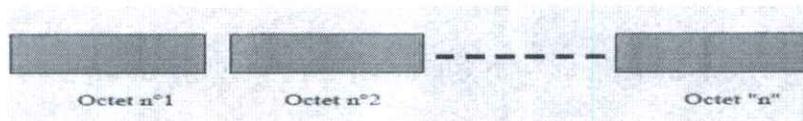


Figure 3.1 : Le format d'un champ fixe

1.2.2 Champ étendu :

C'est un champ de données qui peut avoir une taille variable.

Le dernier bit de l'octet précise si le champ de données continue ou s'il s'arrête (voir figure 3.3).

- ✦ Si dernier bit octet = 1 donc extension des données.
- ✦ Si dernier bit octet = 0 donc pas extension des données.

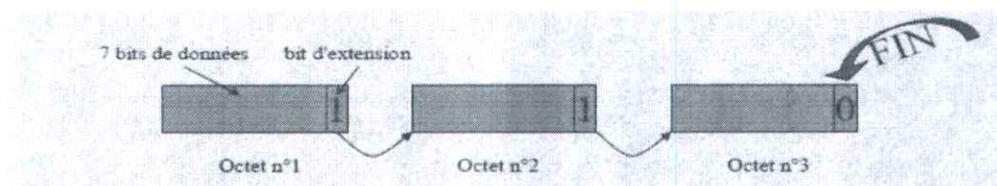


Figure 3.2 : le format d'un champ étendu

1.2.3 Champ répétitif :

Dans les données envoyées, un champ peut être présent "n" fois

-Le premier octet donne le nombre de répétition

-Les "n" octets qui suivent représentent "n" champs avec des valeurs différentes (voir figure 3.4)

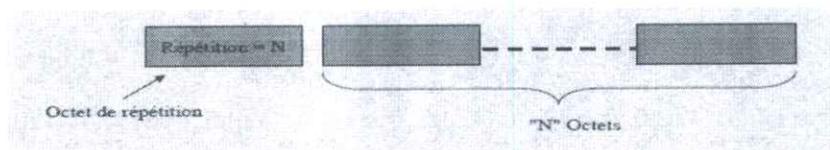


Figure 3.3 : le format d'un champ répétitif 1.3

1.4 Définition d'un bloc :

Un bloc commence toujours par un octet spécifique appelé "catégorie" la catégorie est codée de 00 à FF (en hexa) 256 catégories possibles la catégorie définit le type de données

- ✚ Radar aviation civile
- ✚ Multi-radar
- ✚ Radar météo

Après l'octet de catégorie, il y a 2 octets pour la longueur du bloc puis les octets d'enregistrement voir figure 3.5.

○ Définition d'un enregistrement :

Un enregistrement commence par un champ FSPEC (Field Spécification

- ✚ Chaque bit du FSPEC indique la présence ou l'absence de donnée du rang "i" pour la catégorie en cours
- ✚ C'est en quelque sorte la "table des matières" ou le "sommaire" des données qui vont suivre

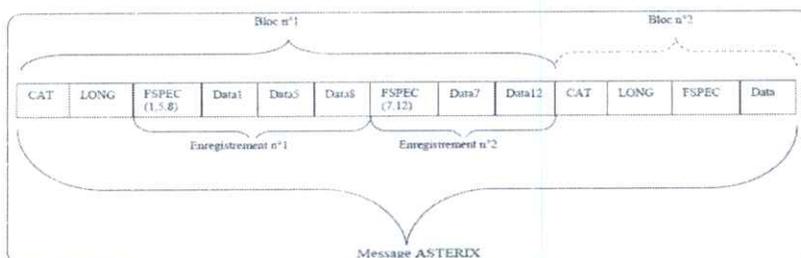


Figure 3.4 : Exemple de Forme du message ASTERIX

Les articles de données normalisés qui seront employés pour la transmission des rapports

Mono-radar de cible sont définis dans le Tableau III.2.1 suivant :

| N° Article de Donnée | Description | Unite |
|----------------------|--|-------------------------------------|
| I001/010 | Identificateur source de donnée | Néant |
| I001/020 | Description du rapport de cible (Target Report) | Néant |
| I001/030 | Conditions Alarme/Erreur | Néant |
| I001/040 | Position Mesurée dans les coordonnées Polar | Rho: 1/128 NM Theta: 360°/ (216) |
| I001/042 | Position Mesurée dans les coordonnées Cartésiennes | X, Y: 1/64 NM |
| I001/050 | Code Mode-2 dans la représentation Octale | Néant |
| I001/060 | Indicateur de Confiance du Code Mode-2 | Néant |
| I001/070 | Code Mode-3/A dans la représentation Octale | Néant |
| I001/080 | Indicateur de Confiance du Code Mode-3/A | Néant |
| I001/090 | Code Mode-C dans la représentation Binaire | ¼ FL |
| I001/100 | Code Indicateur de Confiance et Code Mode-C | Néant |
| I001/120 | Vitesse radial Doppler mesure | (2-14) NM/s |
| I001/130 | Caractéristiques des Plots Radar | Néant |
| I001/131 | Puissance Recue | 1 dBm |
| I001/141 | Heuretronquée (Truncated Time of Day) | 1/128 s |
| I001/150 | Presence de X-Impulsion | Néant |
| I001/161 | Numéro Piste/Plot (Track/Plot) | Néant |
| I001/170 | Etat de Piste | Néant |
| I001/200 | Vitesse Piste calculée en Coordonnées Polaires | Vit (2-14) NM/s Cap :360°/ (216) |
| I001/210 | Qualité de la Piste (TrackQuality) | Néant |

Tableau 3.1 : Types des données standard

1.4.1 Le champ FSPEC ou (champ spécifique) :

Le mécanisme du FSPEC (voir tableau 3.2) :

- Dans le FSPEC, si un bit=1, alors l'enregistrement est envoyé
- Dans le FSPEC, si bit=0, alors l'enregistrement n'est pas envoyé.

Le champ FSPEC de la catégorie 01 composé de quatre octets qui sont les suivants :

| | | | | | | | |
|------|------|-----|-----|---|-----|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| IDEN | DESC | NUM | POS | 0 | VIT | 0 | EXT |

Tableau 3.2 : l'octet N° 1 du champ FSPEC de la catégorie 1version 5.1

- Bit 8 : IDEN = 0 Absence du champ IDEN. / = 1 Présence du champ IDEN.
- Bit 7 : DESC = 0 Absence du champ DESC/ = 1 Présence du champ DESC.
- Bit 6 : NUM = 0 Absence du champ NUM/ = 1 Présence du champ NUM.
- Bit 5 : POSI = 0 Absence du champ POSI/ = 1 Présence du champ POSI.
- Bit 4 : fixe à 0 Absence du champ "position calculée (lissée) en cartésiennes ».
- Bit 3 : VIT = 0 Absence du champ VTT/=1 Présence du champ VTT.
- Bit 2 : fixe à 0 Absence du champ "Mode A plot" (radar primaire).
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ EXT/ =1 Extension vers l'octet suivant.

✓ Octet 2 :

| | | | | | | | |
|---|---|-----|---|---|----------|------|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 0 | 0 | CAR | 0 | 0 | PIS T | QUAL | EXT |

Tableau 3.3 : Information de l'octet 2 du champ FSPEC

- Bit 8 : fixe à 0 Absence du champ "Mode C binaire" (radar primaire).
- Bit 7: HPTU= 0 Absence du champ HPTU.
- Bit 6: CAR = 0 Absence du champ CAR/= 1 Présence du champ NUM.
- Bit 5: fixe à 0 Absence du champ "puissance du plot reçu".
- Bit 4: fixe à 0 Absence du champ " vitesse Doppler mesurée".

- Bit 3: PIST = 0 Absence du champ PIST/=1 Présence du champ PIST.
- Bit 2 : QUAL = 0 Absence du champ QUAL piste/ = 1 Présence du champ QUAL Piste.
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ EXT/ 1 vers l'octet suivant.

✓ **Octet 3 :**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|-----|---|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | ASE | 0 | 0 | EXT |

Tableau 3.4 : Information de l'octet 3 du champ FSPEC

- Bit 8 : fixe à 0 Absence du champ "Mode 2 octal" (radar primaire).
- Bit 7 : fixe à 0 Absence du champ "Qualité mode A" (radar primaire).
- Bit 6 : fixe à 0 Absence du champ "Qualité mode C" (radar primaire).
- Bit 5 : fixe à 0 Absence du champ "Qualité mode 2" (radar primaire).
- Bit 4 : ASE = 0 Absence du champ "Avertissement/situation d'erreur" = 1 Présence du champ " Avertissement/situation d'erreur ".
- Bit 3 : Réserve pour l'indicateur de présence de champ SP.
- Bit 2 : Réserve pour l'indicateur de présence de champ RFS.
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ l'octet suivant jamais transmis

✓ **Octet 4 (jamais transmis) :**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | EXT |

Tableau 3.5 : Information de l'octet 4 du champ FSPEC

- Bit 8 : Fixe à 0 Absence du champ "présence de l'impulsion X" (radar primaire).
- Bits 7 à 2 : Fixe à 0 des bits libres fixés à 0.
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ l'octet suivant jamais transmis.

1.4.2 La spécification de chaque octet de FSPEC :

✦ IDEN :

L'identificateur de la source de données il à deux octets de longueur fixe (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/010)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| Octet 1 | | | | | | | | Octet 2 | | | | | | | |
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| SAC | | | | | | | | SIC | | | | | | | |

Tableau 3.6 : Les deux octets de l'identification

- Bits 16 à 9 : SAC = Source Area.
- Bits 8 à 1 : SIC = Source Identification Code numéro du radar source (0 à 255).

✦ DESC :

Un octet extensible (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/020).

➤ Octet 1 :

| | | | | | | | |
|-----|-----|---------|-----|---|----|-----|---|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| TYP | SIM | SSR/PSR | ANT | 0 | TF | EXT | |

Tableau 3.7 : L'octet 1 de Descripteur de type

- Bit 8 : TYP = 0 Plot / =1 Piste
- Bit 7 : SIM = 0 Info vraie / = 1 Info simulée (simulateur de trafic)
- Bits 6 à 5 : SSR/PSR = 00/= 01 Pas de détection Primaire Secondaire (impossible) / =10 Associée (impossible)/=11
- Bit 4 : ANT = 0 Information en provenance du TPR1 / = 1 Information en provenance
- Bit 3 : SPI = 0 pas de SPI / = 1 avec SPI
- Bit 2 : TF = 0 Par défaut / =1 Piste émanant d'un transpondeur fixe
- Bit 1 : EXT = 0 fin de champ / =Extension octet suivant.

➤ **Octet 2 :**

| | | | | | | | |
|-----|----|---|---|---|---|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| TST | 00 | | 0 | 0 | 0 | 0 | EXT |

Tableau 3.8 : l'octet 2 de Descripteur de type

- Bit 8 : TST = 0 Information réelle/ = 1 Information de test (au sens plot fictif extracteur)
- Bits 7 à 6 : DC = 00 Détresse civile/ = 01 Pas de détresse/= 10 Détournement (code 7500) Panne radio (code 7600) /=11 Détresse (code7700)
- Bit 5 : DM = 0 Pas de détresse militaire / = 1 Détresse militaire
- Bit 4 : IM = 0 Pas d'identification militaire/ = 1 Identification militaire
- Bit 3 à 2 : fixes à 00libres

Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ Octet suivant jamais transmis

✚ **NUM :**

Deux octets de longueur fixe (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/161)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| NPI | | | | | | | | | | | | | | | |

Tableau 3.9 : l'octet de Numéro de piste

- Bits 16 à 1 : NPI Numéro de piste (>0) Valeur binaire entre 0 et65535

✚ **POSI :**

Quatre octets de longueur fixe (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/040)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|---|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| Octet 1 | | | | | | | | Octet 2 | | | | | | | |
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| RHO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octet 3 | | | | | | | | Octet 4 | | | | | | | |
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| TETA | | | | | | | | | | | | | | | |

Tableau 3.10: Les octets de la Position mesurée en coordonnées polaires

- Octet 1 à 2 : Bits 16 à 1 : RHO = Distance au radar (>0) / RHO min = 0 NM LSB = 1/128 NM RHO max = 512 NM -LSB

- Octet 3 à 4 : Bits 16 à 1 : TETA = Azimut (>0)/ TETAmin = 0° LSB = 1/216 tour = 360°/65536 = 0,0054931° TETAmax = 360° -LSB.

✚ VIT :

Quatre octets de longueur fixe (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/200)

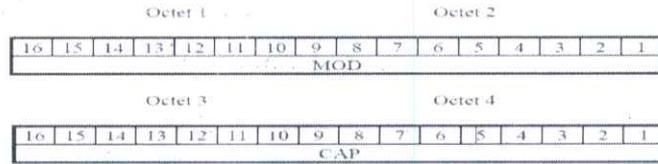


Tableau 3.11 : L'octet de la Vitesse sol

- Octet 1 à 2 : Bits 16 à 1 : MOD = module de la vitesse (>0) / MOD min = 0 NM/s = 0 Kt
- LSB = 1/16384 NM/s = 0, 22Kt
- MOD max = 2 NM/s = 7200 Kt -LSB.

✚ CAR : Caractéristique du plot = vitesse doppler :

Un octet extensible (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/130)

➤ Octet 1:

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| P1 | P2 | M1 | M2 | A1 | A2 | 0 | EXT |

Tableau 3.12 : L'octet1 de la vitesse doppler

- Bit 8 : P1 = 0 Absence du plot voie1 / = 1 Présence du plot voie1
- Bit 7 : P2 = 0 Absence du plot voie2 / = 1 Présence du plot voie2
- Bit 6 : M1 = 0 Plot voie 1 normal / = 1 Plot voie 1 marqué multiple
- Bit 5 : M2 = 0 Plot voie 2 normal / = 1 Plot voie 2 marqué multiple
- Bit 4 : A1 = 0 Vitesse doppler mesurée du plot voie1 non ambiguë
= 1 Vitesse doppler mesurée du plot voie1 ambiguë
- Bit 3 : A2 = 0 Vitesse doppler mesurée du plot voie 2 non ambiguë
= 1 Vitesse doppler mesurée du plot voie 2 ambiguë
- Bit 2 : fixe à 0libre
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ / = 1 Extension vers l'octet suivant

➤ **Octets 2 et 3 :**

| Octet 2 | | | | | | | | | Octet 3 | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|------|----|-----|------|---------|---|---|---|---|---|-----|
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| E1 | 0 | 0 | 0 | SD | HDP1 | | EXT | LDP1 | | | | | | | EXT |

Tableau 3.13 : L'octet 2 et 3 de la vitesse doppler

- Octets 2 à 3 : Bit 16 : E1 = 0 Plot voie1 détecté sur tour pair ou plot voie 1 non détecté / = 1 Plot voie1 détecté sur tour impair
- Bits 15 à 13 : fixes libres
- Bits 12 : SD = 0 Signe de la vitesse doppler : +- ou inconnu
- Bits 11 à 10 : HDP1 = 2 bits de poids fort du module de la valeur de la vitesse doppler mesurée du plot voie 1 : (valeur binaire codée sur 9bits)
- Bit 9 : EXT = 0 Fin du champ / = 1 Extension vers l'octet suivant
- Bits 8 à 2 : LDP1 = 7 bits de poids faible du module de la valeur de la vitesse doppler mesurée du plot voie 1 : (valeur binaire codée sur 9 bits) / DP1min = 0 m/s LSB = 1 m/s DP1max = 511m/s
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ / = 1 Extension vers l'octet suivant

➤ **Octets 4 et 5 :**

| Octet 4 | | | | | | | | | Octet 5 | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|------|----|-----|------|---------|---|---|---|---|---|-----|
| 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| E2 | 0 | 0 | 0 | SD | HDP2 | | EXT | LDP2 | | | | | | | EXT |

Tableau 3.14 : L'octet 4 et 5 de la vitesse doppler

- Octets 4 à 5: Bit 16 : E2 = 0 plot voie2 détecté sur tour pair
= 1 plot voie2 détecté sur tour impair
- Bits 15 à 13 fixes à 0libres
- Bits 12 : SD = 0, 1 signe de la vitesse doppler : +ou-
- Bits 11 à 10 : HDP2 = 2 bits de poids fort du module de la valeur de la vitesse doppler mesurée du plot voie 2 : (valeur binaire codée sur 9bits)

- Bit 9 : EXT = 0 Fin du champ / = 1 Extension vers l'octet suivant
- Bits 8 à 2 : LDP2 = 7 bits de poids faible du module de la valeur de la vitesse doppler mesurée du plot voie 2: (valeur binaire codée sur 9 bits) /
DP2min = 0 m/s LSB = 1 m/s DP2max = 511m/s
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ / = 1 octet suivant jamais transmis.

✦ PIST :

Un octet extensible (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/170)

➤ Octet 1:

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|------|---|-----|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| CON | RAD | MAN | DOU | XTRP | | GHO | EXT |

Tableau 3.15 : L'octet 1 de l'état de la piste

- Bit 8 : CON = 0/ = 1 Piste confirmée Piste en phase d'initialisation
- Bit 7 : RAD = 0 Piste primaire / = 1 Piste SSR ou associer/SSR
- Bit 6 : MAN = 0, / = 1 Détection de manœuvre
- Bit 5 : DOU = 0 Association plot/ = 1 piste douteuse
- Bits 4 à 3 : XTRP = Nombre d'extrapolations (limité à 3) Valeur binaire entre 0 et 3
- Bit 2 : GHO = 0/1 Piste présumée fantôme
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ / = 1 Extension vers l'octet suivant

➤ Octet 2:

| | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| TRE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | EXT |

Tableau 3.16 : L'octet 2 de l'état de la piste

- Bit 8 : TRE = 0/1 événement de mort dépiste
- Bits 7 à 2 fixes à 0 Non utilisés
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ/ = 1 octet suivant jamais transmis

✚ QUAL PISTE :

Un octet extensible (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/210)

➤ Octet 1 :

| | | | | | | | |
|---|---|---|-----|-----|-----|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | POS | HEL | VIT | | EXT |

Tableau 3.17 : L'octet 1 de la Qualité de la piste

- Bits 8 à 6 : fixes à 0 Non utilisés
- Bit 5 : POS = 0/1 Coordonnées de position : Brutes mesurées Calculées par la poursuite(lissées)
- Bit 4 : Hel = 0 Pas de présomption d'Hélicoptère/ = 1 Présomption d'Hélicoptère
- Bits 3 à 2 : VIT = 00 Plage de vitesse Cible lente/ = 01 Cible rapide/ 10 Valeur réservée/= 11 Valeur réservée
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ / = 1 octet suivant jamais transmis

✚ ASE :

Un octet extensible (Donnée élémentaire Eurocontrol I001/030)

➤ Octet 1:

| | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|-----|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| A/E | | | | | | | EXT |

Tableau 3.18 : L'octet 1 de l'avertissement/Situation d'erreur

- Bits 8 à 2 : A/E = Code d'alerte Valeur binaire entre 0 et127
- Bit 1 : EXT = 0 Fin du champ/= octet suivant jamais transmis

3.6 Conclusion

Le choix d'utiliser le protocole ASTERIX pour l'échange des données dans un système de surveillance aérien s'avère une bonne décision vu ces avantages déjà discutés dans les chapitres précédents a sa voir dans l'architecture réseau LAN et WAN, Le protocole subit une amélioration continue en parallèle avec l'évolution des systèmes de surveillance.

CHAPITRE 4 :

Simulations et tests

4.1 INTRODUCTION

Après avoir vu l'intérêt de format ASTERIX dans l'amélioration et la simplification d'échange des données entre les postes de traitements (Système de traitement des données de surveillance) et les stations de radar.

Toutes les données reçues par la station radar sont codées dans un message ASTERIX d'une catégorie correspondante aux données reçues pour l'envoyer aux postes de traitements pour d'être traitées et décodées puis exploitées par les différents utilisateurs concernés par les informations extraites, comme le montre la figure 4.1 :

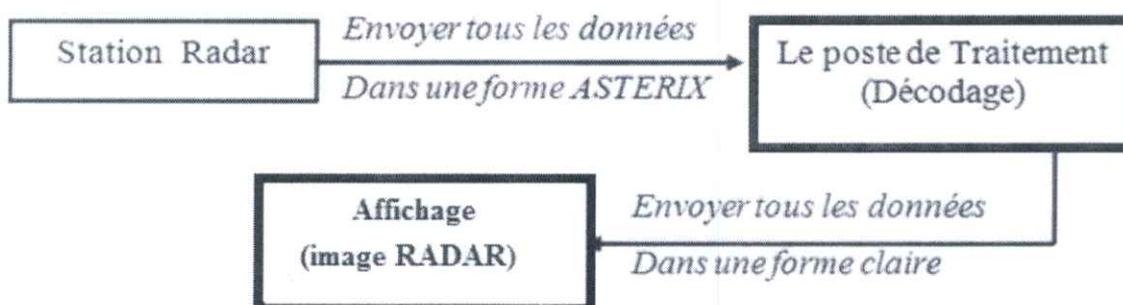


Figure 4.1 : Trajet des données radar vers l'image

Pour visualiser les données ASTERIX nous avons simulé une trame réelle prise au niveau de la DTNA de la forme

```
01 00 83F7 84 C8 02 A8 01 A8 70 21 BD 88 09 09 26 68 00 89 05 50 6877 84 A8 00 21 B8  
BC A0 14 08 1B A7 28 4D A0 05 C8 4877 84A8 01 7D CF 0F D0 88 0E FE 0E 0A E8 02 08  
48 6877 84A8 0A 88 25 3E F6 0f 08 1F 2A B8 02 06 04 D8 4877 84A8 00 8B BE D7 4E 95  
07 05 82 08 06 E6 02 0C 4877 84 0A 01 9F FA 88 27 88 37 7B 00 04 C8 0f 08 48 6877 84A8  
00 31 AF CA 75 A5 01 E1 07 D0 0D 40 00 70 68
```

Notre logiciel a pour objectif d'extraire les données de cette trame puis les visualiser sous forme d'image radar.

4.2. Étape de décodage de message ASTERIX

Dans cette partie nous présenterons les principales actions qui nous permettent de décoder la trame ASTERIX et qui constituera la base de logiciel de décodage.

4.2.1 Procédure

1. La première chose à faire est de connaître la catégorie sur 1 octet si '01' on continue le décodage sinon il affiche ' catégorie inconnu'.
2. La deuxième chose est de reconnaître la longueur de trame précédent sur les 2 octets suivant (85) qui correspond à 133 octets.
3. La troisième chose à faire est d'examiner la spécification de champ FSPEC pour connaître l'endroit des champs de données qui seront présents ou absent.

Dans notre cas :

FSPEC = F7 84

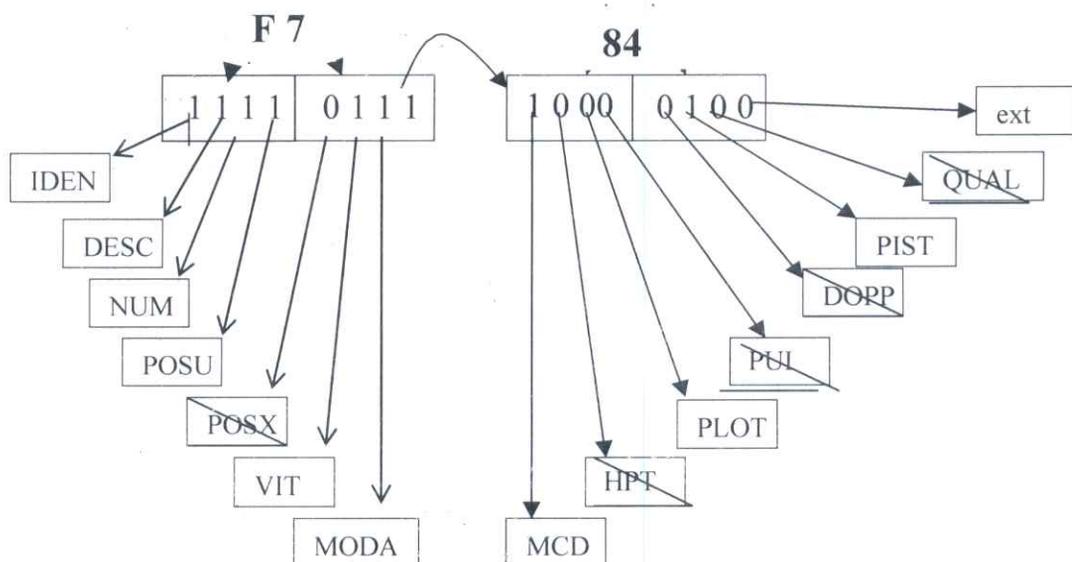


Figure 4.2 : Décomposition et identification des bits de champ FSPEC

Après l'examen de FSPEC on a obtenu le 1^{er} enregistrement comme la montre figure 4.3,

Le deuxième enregistrement commencera lors de l'apparition du deuxième FSPEC (7784)

| | | | | | | |
|-------------|----------|--------|---------|---------------|----------|-------------|
| 01 | 00 83 | F7 84 | C8 02 | A8 | 01 A8 | 70 21 BD 88 |
| CAT | Longueur | FSPEC | SAC SIC | DESC | N° piste | POSU |
| 09 09 26 68 | 00 89 | 85 50 | 68 | 77 84 | | |
| VITESSE | Mode A | Mode C | Piste | FSPEC suivant | | |

Figure 4.3 : Données retenu après l'examen de FSPEC

A8 00 21 68 BC B9 D4 08 1B A7 28 4D A0 45 C8 48 77 84 A8 01 7D 57 A9 B8
70 08 0EFE 0E 0A E8 05 78 48 77 84 A8 00 88 48

4.2.2 Identification des champs

- 1er Champ IDEN(4chiffres) se décompose en deux sous champs très importants :
 - Le **SAC**, Source Area Code qui définit l'origine géographique de l'émetteur, pour l'Algérie C8
 - Le **SIC**, Source Identification Code (numéro du radar), pour les 5 station radar d'Algérie (Alger 01, Annaba 02.)

- 2ème champ NUM (4chiffres) numéro de piste code sur 2 octets dans notre program il suffit de converti les 2 octets (16bits) d'hexadécimal en décimal exemple (01 A8 =n° 424).

- 4ème champ POSU (8 chiffres hexa) :
 Tel que les quatre 1^{er} chiffres désignent la distance par rapport au radar, les quatre autres désignent l'azimut de l'avion en cordonnée polaire.
 On au maximum $[FFFF]_{hex} = [65535]_{dec}$, et la distance maximale que le radar peut couvrir est 512NM.

Par exemple : 70 21 =28705ce qui correspond à $28705 * 1/128 \text{ NM} = 224 \text{ NM}$

BD 88 =48520ce qui correspond : $\text{THETA} = 48520 * 0.0055^\circ = 266,2815$

➤ Seme champ Mode-C Heightde (4 chiffres)

Bits 14...1 : ont converti les bits de 14 à 1 de binaire en décimal comme l'exemple suivant ;

$$[550]_{\text{hex}} = [1360]_{\text{dec}}$$

$$\text{Mode-C Height} = 1360 * \frac{1}{4} \text{ FL} = \mathbf{340 \text{ FL}}. (1360 * 25 \text{ feets} = 34000 \text{ feets}) \rightarrow \text{Altitude}$$

Après le décodage de premier enregistrement : on obtient le tableau 4.1

| Champ | Données | commentaires |
|----------|-------------|---|
| SAC SIC | C8 01 | Algerie, Alger |
| N° piste | 01 A8 | Piste n° 424 |
| POSU | 70 21 BD 88 | Rho=224 Nm (7021), Théta=266°(BD88) |
| Vitesse | 09 09 26 68 | Vitesse=508Kts ou 0,14 Nm/s (0909) cap=54 ° (2668) |
| Mode C | 05 50 | FL=340, 34000 feets |

Tableu4.1 : Résumé de premier enregistrement

4.2.3 Organigramme de décodage de message ASTERIX

L'organigramme de la figure 4.4, nous donne les différentes étapes pour établir le programme du décodage du message ASTERIX jusqu'à l'affichage sur l'écran.

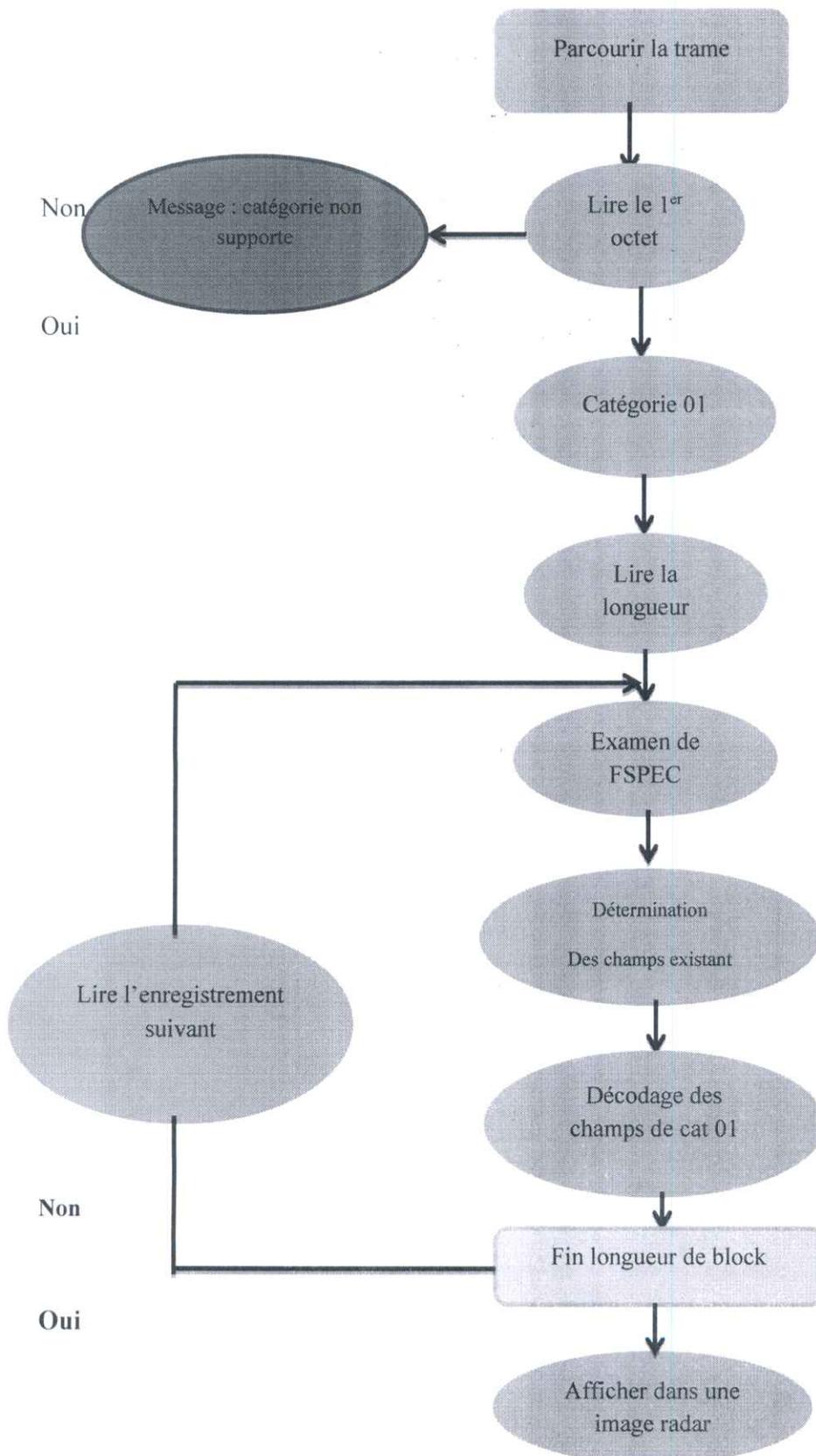


Figure 4.4 : Organigramme de décodage du message ASTERIX Catégorie 01

Pour mettre au point automatiquement les résultats de 1^{er} enregistrement on a utilisé le langage **Visual studio C# 2008**. La partie la plus importante du stage était de créer un programme permettant de décoder et surtout de visualiser les images radar.

Le C# (prononcé C Sharp) est un langage de programmation moderne, orienté objet et fortement typé apparu en 2002, destiné à développer la plateforme « .Net ».

Le C# est portable sur tout type de machine puisqu'une fois compilé il pourra fonctionner aussi bien sous une station Unix que sous Windows ou autre, c'est un de ses grands avantages par rapport aux autres langages et comme nous ne pouvons savoir à l'avance sur quel type de machine le programme serait utilisé il fallait absolument un langage portable.

- Ainsi C# possède plusieurs packages pour programmer une interface graphique adaptable selon le système d'exploitation de la machine sur laquelle on utilise le programme.

- C# est un langage orienté objet ce qui permet une programmation plus efficace et plus organisée qu'avec un langage procédural (comme le C) et programmation objet était plus adaptée à la tâche.

4.3. Affichage des données radar (plots)

Avant d'afficher les plots des données radar on a créé une image radar (Simple Radar.cs) destinée à inclure les messages ASTERIX grâce à plusieurs fonctions sur C# au cela on a effectué les étapes suivantes.

4.3.1. Création de classe

Notre travail se déroulera en **Windows Forms Application ou (Win Forms)**, est le nom de l'interface graphique, qui est une application en fenêtres (appelées **formes**).

- Ouvrez Visual Studio si ce n'est déjà fait.
- Cliquez sur "**File**" > "**New Project**". Voir figure (4.5)
- Sélectionnez "**Windows Forms Application**" : voir figure (4.6)

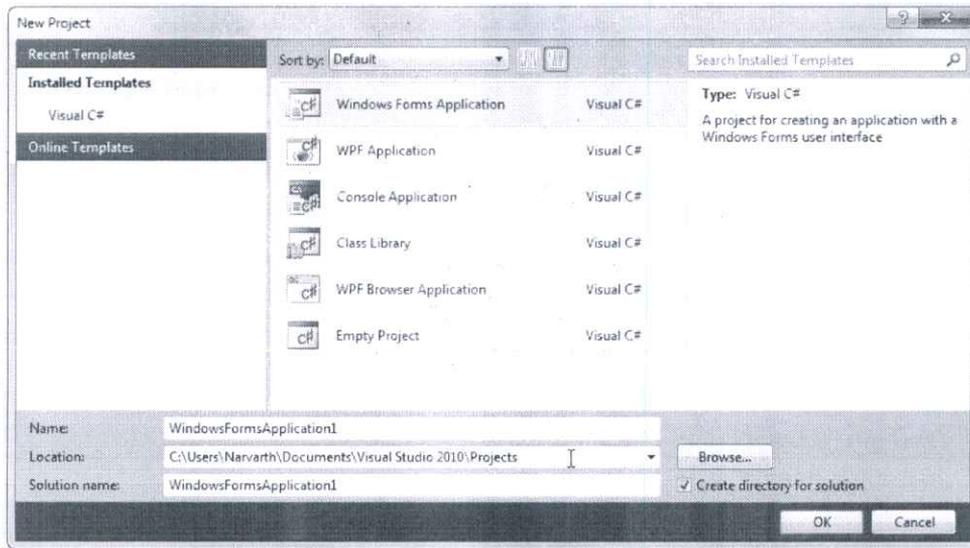


Figure 4.5 : Image pour création nouveau projet

Présélection de Windows Forms Application :

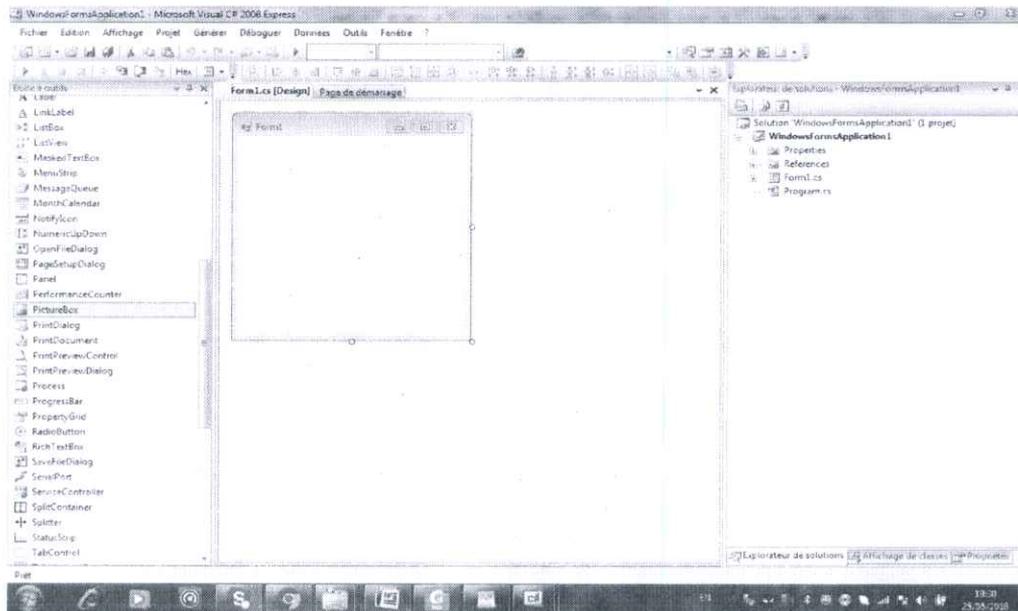


Figure 4.6 : Création de Form1.cs Designer

On place un '**PictureBox**' dans notre Form1 en faisant un glisser-déposer d'un objet '**PictureBox**' dans la partie Design de notre Form1.

On clique sur le bouton "**Propriétés**" dans l'explorateur de la solution pour afficher les propriétés.

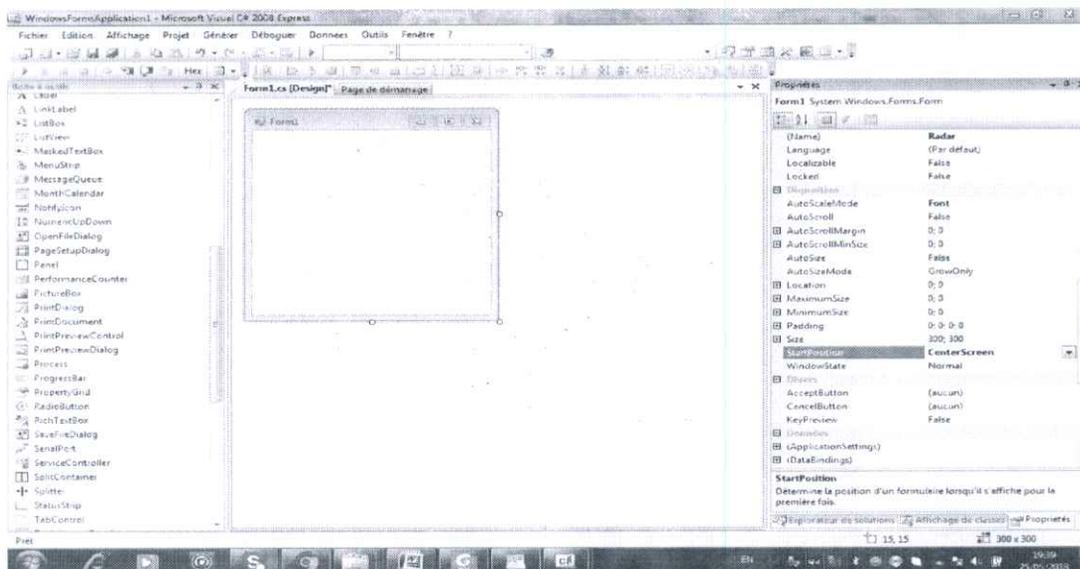


Figure 4.7 : Affichage des propriétés de form1.cs designer

Après on change les paramètres, la position de notre image 'Start Position' on le met on 'Center Screen' après on change le nom de 'Form1' au 'RADAR'.

Après cela un des sous programs sont automatiquement générées, notamment :

- **Program. Cs** qui est le point d'entrée de votre application. Voir figure 4.8
- **Form1.cs** qui est l'endroit ou en va introduire le programme principal.
- **Form1.Designer.cs** qui est le programme génère automatiquement par le logiciel.

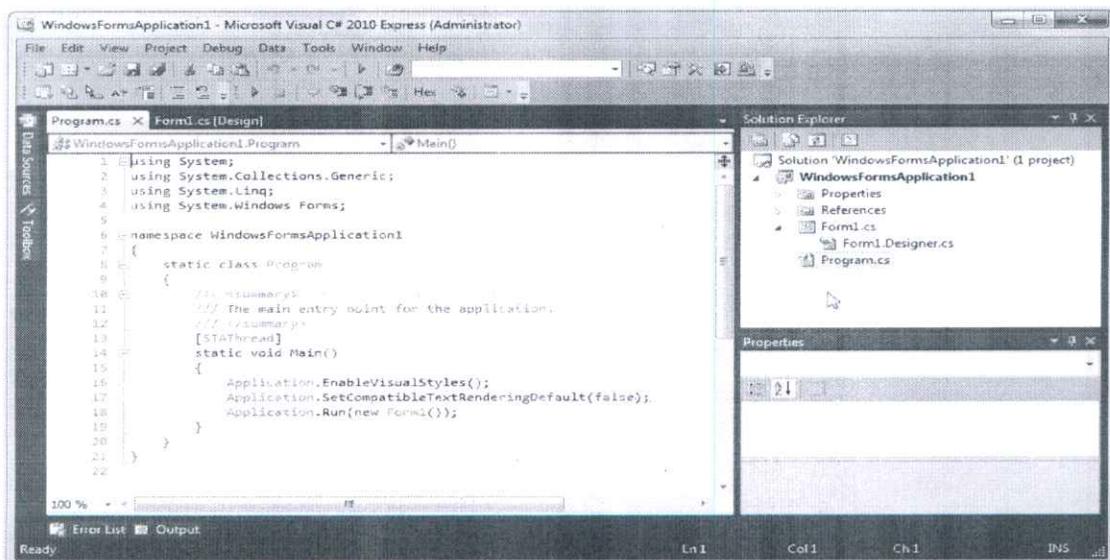


Figure 4.8 : affichage de programme (Program.cs) généré par logiciel

4.3.2 Sous program d'extraction des données

Le programme principale Formel.cs est renforcé par le program 'element.cs' qui contient des sous programs des calculs de (azimut, distance, cap, niveau de vol, vitesse, numéro de piste) :

- Azimut :

```
public Int64 CalcAzimuth()  
{  
    try  
    {  
        var x = HexaToDecimal((Posu.Substring(4, 4)));  
        var y = x * 360;  
        var z = y / 65536;  
        return z;  
    }  
    catch (Exception)
```

- distance :

```
public Int64 CalcRange() {  
    try  
    {  
        var x = HexaToDecimal((Posu.Substring(0, 4)));  
        var y = x / 128 ;  
        ;  
        return y;  
    }  
    catch (Exception)
```

- Niveau de vol :

```
public Int64 CalcFl()  
{  
    try  
    {  
        var x = HexaToBinary((Modc.Substring(0, 4)));  
        var y = x * 1;  
        var z = y / 4;  
        return z;  
    }  
}
```

- Numéro de piste :

```
public Int64 CalcNum()  
{  
    try  
    {  
        return HexaToDecimal((Num.Substring(0, 4)));  
    }  
    catch (Exception)
```

- Vitesse :

```

public Int64 CalcVitesse()
{
    try
    {
        var x = HexaToDecimal((Vit.Substring(0, 4)));
        var y = x * 7200 * 2;
        var z = y / 65536;
        return z;
    }
}

```

- **Cap :**

```

public Int64 CalcCap()
{
    try
    {
        var x = HexaToDecimal((Vit.Substring(4, 4)));
        var y = x * 360;
        var z = y / 65536;
        return z;
    }
    catch (Exception)
    {
    }
}

```

4.3.3. Sous program d'affichage :

On a représenté l'avion par un rectangle, et cela par la construction d'une fonction **Rectangle**

Target :

```

Rectangle target;
this.targetX = (int)(range * Math.Cos(Math.PI * azimuth / 180));
this.targetY = (int)(range * -Math.Sin(Math.PI * azimuth / 180));
this.target = new Rectangle(this.targetX + this.cy, this.targetY + this.cx,
4, 4);
gg.DrawRectangle(pp, this.target);

```

4.3.4. Simulation de 1^{er} enregistrement :

On peut confirmer que les données trouver au tableau 4.1 sont les mêmes calculer par notre logiciel voire figure 4.9, on remarque que dans le plot rectangulaire contient les données (speed, FL, CAP, NUM)

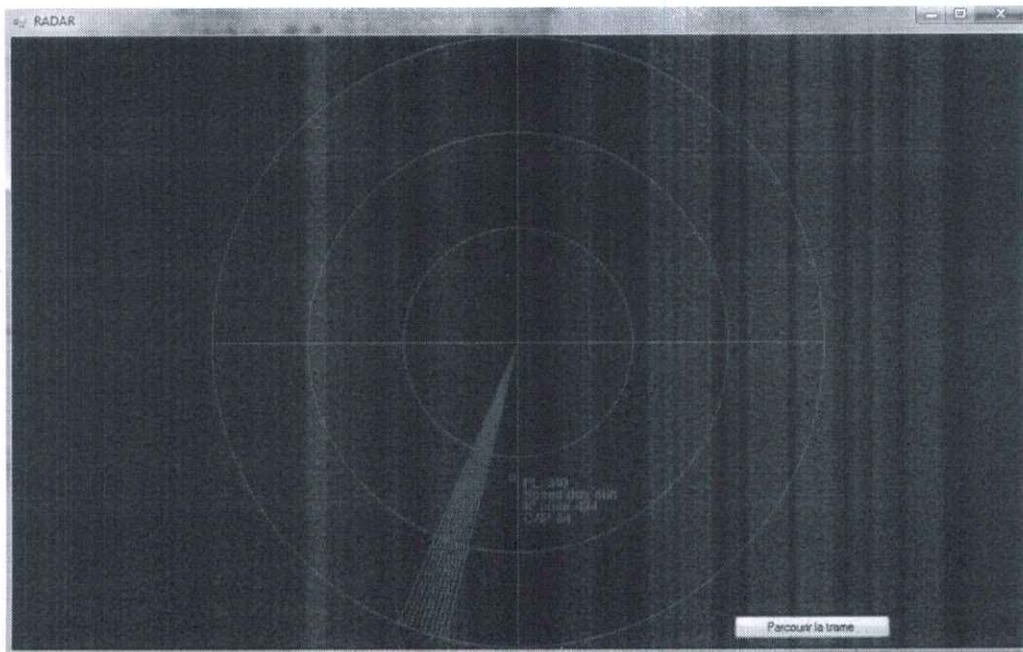
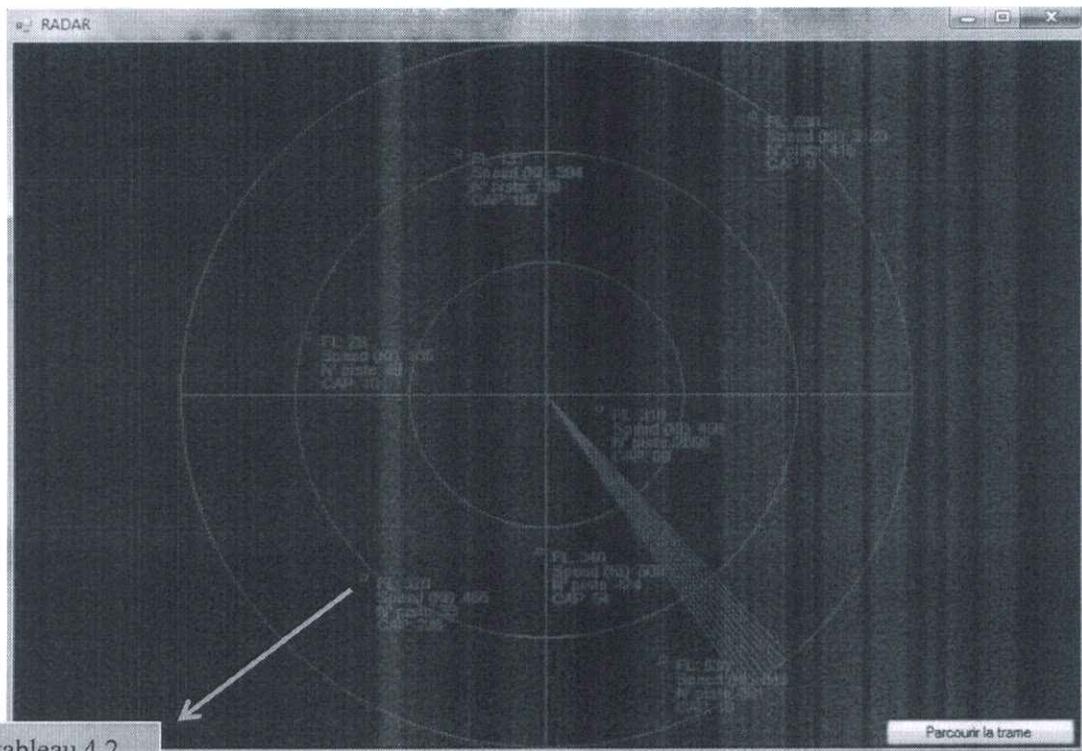


Figure 4.9 : Affichage de 1^{er} plot

4.3.5. Simulation de cas de plusieurs enregistrements :

Dans notre cas on a pris un cas général où notre trame se contient 7 enregistrements correspondant à la trame que nous avons étudié c'est-à-dire 7 avions différents sur notre écran radar voir figure 4.5



Voir tableau 4.2

Figure 4.5 : Affichage des plots

Exemple : le tableau 4.2 résume les résultats de décodage de 2eme enregistrement, ou se trouve sur notre image radar

| Champ | Données | commentaires |
|----------|-------------|--|
| N° piste | 00 21 | Piste n° 424 |
| POSU | B8 BC A0 14 | Rho=396 Nm(B8BC), Azimut=225°(A014) |
| Vitesse | 08 1B 26 68 | Vitesse=455Kts (081B) cap=235 ° (A7 28) |
| Mode C | 05 C8 | FL=370, 37000 feets |

Tableau 4.2 : Résumé de 2eme enregistrement

4.4 Conclusion

D'après les travaux que nous avons effectués on a pu visualiser plusieurs enregistrements au même temps ce qui va enrichir notre image radar en affichant les données qui nous paraissent utiles et suivant les circonstances.

On a pu aussi lever le problème de décodage lorsque la longueur de la trame est variable, la visualisation des données et cela grâce au logiciel que nous avons choisi.

Conclusion général

Après trois mois de stage au sein de la direction technique de la navigation aérienne (DTNA) service radar. Nous avons réalisé une application de décodage et d'affichage des données radar de la catégorie 001 Transmission des Rapports Monoradar des Cibles.

Les travaux mener dans le cadre de notre mémoire est de développer un module de système de traitement de données radar pour le décodage et l'affichage de ces données dans une image radar sous la norme **ASTERIX**. Cette application sera capable de présenter toutes les informations nécessaires dans une interface graphique pour améliorer et simplifier le contrôle aérien.

Cette application peut faire l'objet d'une évolution en intégrant d'autre catégories toutes on choisit une image radar qui peut intégrer des données de plusieurs catégories.