

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université SAAD DAHLEB -BLIDA 1-

Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
MASTER
Option ; Exploitation Aéronautique



Thème

Utilisation de radar secondaire mode S.

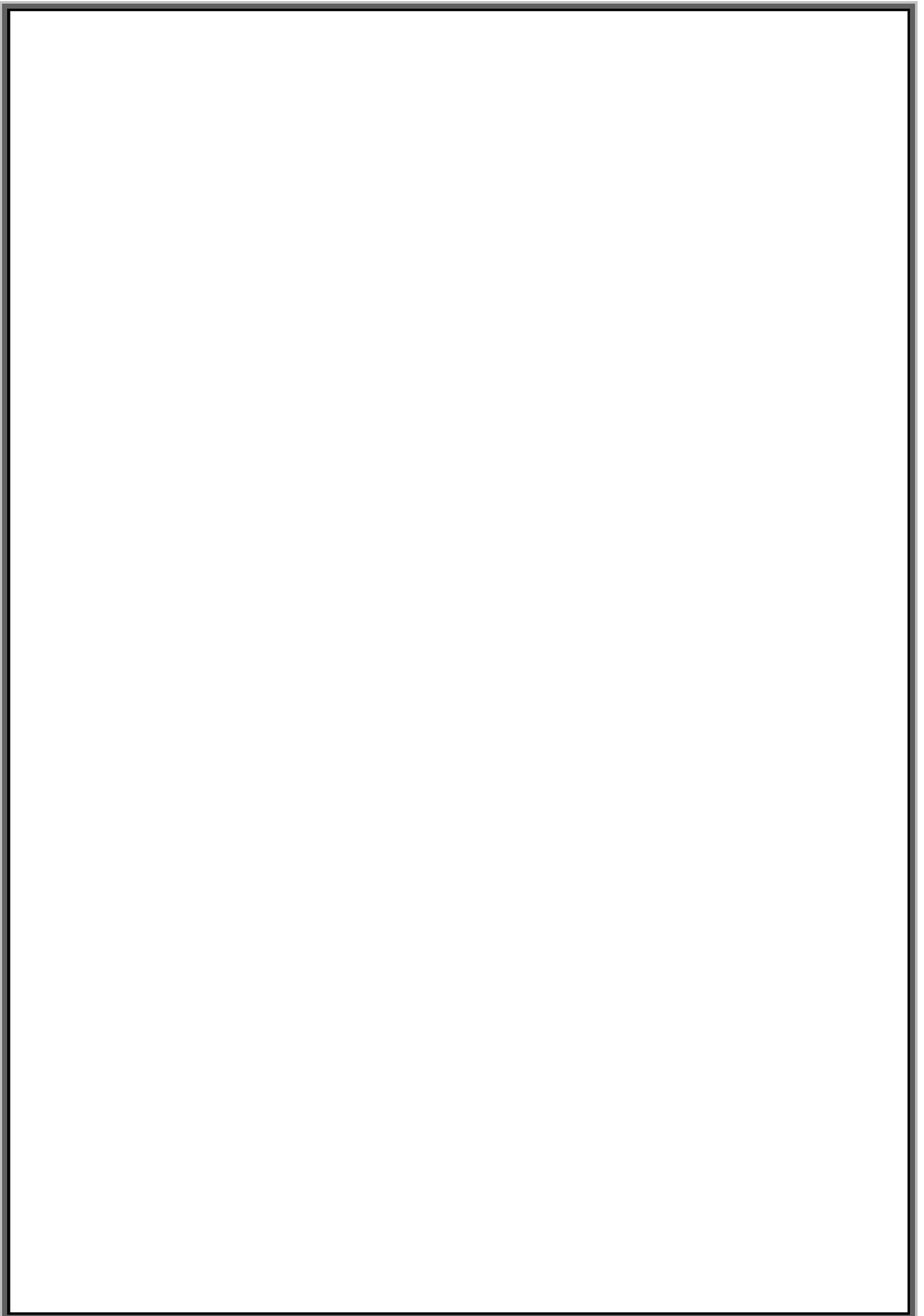
Réalisé Par :

Chaouche Lynda

Promoteur : Guelmaoui.A.

Co-Promoteur : kouider elouahed .B.

Promotion : 2019



Remerciements

Dieu merci, grâce à lui le tout puissant j'ai réalisé ce travail et le mener à terme. Je tenais à remercier notre encadrant Monsieur GUELMAOUI chef des projets plan de développement de gestion de l'espace aérienne (PDGEA) pour sa disponibilité et ses qualités humaines m'a profondément touchée. Son soutien, sa clairvoyance et ses compétences m'a été d'une aide inestimable. Aussi pour avoir accepté de diriger ce travail.

Je tiens aussi à remercier monsieur KOUIDER ELOUAHED BOULENOUAR professeur à l'Institut Aéronautique et les études spatiale de Blida (IAES)

Aussi, madame BRAHIMI FADILA ingénieure au service technique de la direction technique de navigation aérienne

Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Je souhaite remercier Monsieur Djalal Ingénieur en informatique à l'Institut Aéronautique de Blida pour toute l'aide qu'il m'a apportée.

Je tiens aussi à remercier tous les profs qui me sont chers et qui ont cru en moi pendant mon cursus universitaire et qui m'ont transmis leurs connaissances, leur savoir faire et surtout leur expérience.

Table des matières

Remerciement.....	1
Table des matières	2
Liste des figures.....	8
Introduction	10
<i>Chapitre I : généralité à la surveillance</i>	11
I.1. généralité	12
I.1.1. Classification de l'espace aérien	12
I.1.1. Espace contrôle.....	12
I.1.2. Espace no contrôle :.....	14
I.1.2. Découpage de l'espace aérien	15
I.2.1. Espaces aérien contrôles	15
I.2.1.1. Terminal manoeuvring area ou TMA.....	15
I.2.1.2. Région de control CTA.....	16
I.2.1.3. Control zone CTR.....	17
I.2.1.4. Les voies aériennes	17
I.2.2. Zones à statu particulier.....	18
I.2. Introduction a la surveillance	20
I.2.1 Généralités sur la surveillance	20
I.2.1.1 Définition	20
I.2.1.2 Les besoins.....	20
I.2.1.3. La classification de la surveillance.....	20
I.2.1.3.1. La surveillance indépendante.....	20
I.2.1.3.2. La surveillance dépendante.....	21
I.2.2. besoin opérationnelles	21
I.2.2.1. Couverture requis	21

I.2.3. Données de surveillance radar requis	22
I.2.3.1. Données complètes	22
I.2.3.2. Les données indispensables	23
I.2.4. L'infrastructure de surveillance	23
CHAPITRE II : LE RADAR PRIMAIRE	24
II.1. Introduction au Radar.....	25
II.2. Chaîne de transmission d'un radar primaire	25
II.3. Généralité.....	26
II.4. Les Composantes d'un système radar	27
II.4.1. Générateur de fréquence	27
II.4.2. Emetteur.....	27
II.4.3. Un guide	27
II.4.4. Antenne.....	27
II.4.5. Le récepteur.....	27
II.5. Types émetteurs radar	28
II.5.1. Radars avec Emetteur à tubes	28
II.5.2. Radars avec Emetteur Etat Solide	28
II.6. Détection des cibles en radar primaire	29
II.6.1. Choix de la fréquence	29
II.6.2. Forme du signal émis.....	30
II.6.3. Nature de la cible.....	30
II.6.4. Nature de la réponse.....	31
II.6.5. Localisations de la cible	32
II.6.6. Mesure de la distance.....	32
II.7. Problèmes radar primaire	33
II.7.1. Réponse en seconde récurrence.....	33

II.7.2. Pouvoir discriminateur en distance.....	34
II.7.3. Pouvoir séparation angulaire.....	34
CHAPITRE III : radar secondaire	35
III.1. le fonctionnement :.....	36
III.1.1. Mesure de la distance.....	37
III.1.2. Mesure de l'azimut.....	37
III.2. L'interrogation	37
III.2.1 Le signal émis	37
III.2.2 Positionnement en azimut	38
III.3. Le transpondeur.....	38
III.3.1 La réponse transpondeur.....	38
III.3.2 Synoptique du transpondeur.....	40
III.4 .Le bilan de puissance	40
III.4.1 Les équations.....	40
III.5.Les phénomènes parasites.	41
III.5.1.les problèmes	41
III.5.1.2 Le fruit	42
III.5.1.3 Les réponses en deuxième récurrence.....	43
III.5.1.4 Les réflexions.....	44
III.5.1.5 Le Garbling	44
III.5.2. des solutions	46
III.5.2.1 L'ISLS	46
III.5.2.3 Le RSLS.....	47
III.6. Le radar secondaire mono impulsion	48
III.6.1 le principe de la mono impulsion	47
III.6.2.le signal reçu en mono pulse	49
III.6.2.1 Les trame en mono pulse	49

III.6.2.2 Le Garbling en monopulse	50
III.6.3.l'antenne monopulse.....	50
III.6.3.1 Principe de l'antenne	50
III.6.3.2 L'avion dans l'axe	51
III.6.3.3 L'avion à droite de l'axe	51
III.6.3.4 L'avion à gauche de l'axe	52
CHAPITRE IV : AMELIORATION DE SURVEILLANCE SSR MODE S.....	53
IV.1. Le radar secondaire Mode S	54
IV.1.1. Pourquoi le mode S?.....	54
IV.1.2.. Les mécanismes d'interrogation du radar mode S	55
IV.1.3. Le verrouillage (lockout).....	57
IV.2. Les interrogations	58
IV.2.1 Les interrogations ALL-CALL	58
IV.2.2 Les interrogations ROLL-CALL	58
IV.2.3. Réponse Mode S	59
IV.2.4. Fréquence de répétition et durées	60
IV.2.4.1. Périodes All Call.....	60
IV.2.4.2 Périodes Roll Call	60
IV.3. ADS (automatique dépendent surveillance)	61
IV.3.1. Introduction.....	61
IV.3.2. Le principe.....	61
IV.3.2.1. Principe ADS_B.....	61
IV.3.2.2. Les fonctions ADS-B	63
IV.3.2.3. Le Contenu du message ADS-B	63
IV.3.2.4. Les applications de L'ADS_B.....	64
IV.3.3. ADS-C (Automatic Dependant Surveillance Contract).....	64
IV.3.3.1. les alarmes liées a l'ADS_C.....	64

IV.3.4. Capacité d’alerte ADS.....	65
IV.3.5. Capacité intégrée piste ADS/plan de vol	65
Chapitre VI : Mise en œuvre de mode S.....	66
VI.1. Les limite du SSR	67
VI.2. Problèmes du SSR	67
VI.2.1. Les réponses sur lobes secondaires	67
VI.2.2. Le fruit	68
VI.2.3. Le Garbling.....	69
VI.2.4. Les réflexions	70
VI.3. Pourquoi le mode S?.....	70
VI.4. Mise en œuvre de mode S	71
VI.4.1.évolution des installations au sol	71
VI.4.1.1. Conversion au système monopulse	71
VI.4.1.2. Addition des caractéristiques modes S.....	71
VI.4.1.3. Spécification d’antenne	72
VI.4.1.3.1. Antenne tournante.....	72
VI.4.1.3.2. Antenne à balayage électronique.....	72
VI.4.2. Technique de mise en œuvre des stations sol.....	73
VI.4.2.1. Traitement des réponses mode S	74
VI.4.2.2. Gestion des canaux	74
VI.4.2.3. Ordonnancement appel général modes A/C et mode S.....	74
VI.4.2.4. Principes d’ordonnancement des appels par liste mode S.....	75
VI.4.2.5. Traitement de la surveillance	76
VI.4.2.6. Gestion de réseau	76
VI.5. Télécommunication en mode S	77
VI.5.1. Définitions	77
VI.5.2. Services spécifique mode S	77

VI.6. Problèmes avec les transpondeurs en mode S	79
Conclusion	80
Liste des annexes.....	81
Liste des abréviations.....	82

Listes des figures :

Figure I.1 : zone de control terminal.....	16
Figure I.2 : control zone CTR et zone de control terminal.....	17
Figure I.3 : les voies aériennes	18
Figure II.4 : Ondes et bandes de fréquences.....	30
Figure II.5:Forme de signal émis.....	30
Figure II.6 : réponse radar.....	31
Figure II.7 : Positionnement de la cible.....	32
Figure II.8 : Distance du plot.....	33
Figure III.9:principe du radar secondaire.....	36
Figure III.10:les modes d'interrogation du radar secondaire.....	37
Figure III.11:3 mode A.....	38
Figure III.12:forme de la réponse.....	38
Figure III.13:synoptique transpondeur.....	40
Figure III.14:lobes secondaires.....	41
Figure III.15: principe du transpondeur.....	42
Figure III.16:réponse en deuxième récurrence.....	43
Figure III.17:les réflecteurs.....	44
Figure III.18:Garbling.....	44
Figure III.19:réponse garblées.....	45
Figure III.20:principe de l'ISLS.....	46
Figure III.21:schéma de l'RSLS.....	47

Figure III.22:La technique d'écartométrie.....	48
Figure III.23:signaux reçus par la station radar.....	49
Figure III.24:écartométrie si l'avion est à droite de l'axe.....	51
Figure III.25:l'avion à gauche de l'axe.....	51
Figure IV.26:structure de l'interrogation mode S.....	55
Figure IV.27:structure des signaux selon le type du radar secondaire.....	58
Figure IV.28:interrogation roll-call	58
Figure IV.29:structure de réponse mode s.....	59
Figure IV.30 : fusion des donnes	62
Figure VI.31:lobes secondaires.....	67
Figure VI.32 :fruit	68
Figure VI.33:Garbling.....	69
Figure VI.34:réponse garblées.....	69
Figure VI.35:les réflecteurs.....	71

Introduction

Pour faire face à l'évolution rapide du trafic aérien et la demande rapide et croissante de données, une vision futuriste n'est certes pas encore une réalité opérationnelle mais fait l'objet de nombreuses études. Quelques systèmes fonctionnant déjà et d'autres sont en projet. Ces modules futurs sont ceux qui permettront au système d'évoluer vers un système complet et efficace.

Dans le but de développer ce sujet, on présentera dans le premier chapitre une introduction sur la surveillance en termes de normes, classification et l'évolution chronologique de ces systèmes.

Dans le deuxième chapitre je présente le radar primaire son architecture ainsi que ces problèmes.

Dans le troisième chapitre je présente le radar secondaire classique passant par le mono pulse.

Dans le quatrième chapitre je présente le radar secondaire mode S et ses caractéristiques.

Dans le dernier chapitre je présente les techniques de mise en œuvre de mode S d'après les normes OACI.

CHAPITRE I :
GENERALITE A LA SURVEILLANCE

I. généralité

I.1. Classification de l'espace aérien :

Les classes d'espace aérien associent à des zones tridimensionnelles dans l'espace aérien un code, en l'occurrence une lettre, qui détermine le niveau de rendu du service du contrôle aérien dans la zone.

Par « niveau de rendu du service du contrôle aérien » on entend un ensemble de services rendu par les contrôleurs aériens aux pilotes et par conséquent des procédures auxquelles doit se conformer le pilote, un ensemble de règles qu'il doit respecter, mais également un ensemble de services dont bénéficie le pilote lorsqu'il circule dans la zone.

Lorsqu'un espace aérien est contrôlé, le pilote peut être en contact radio avec un organisme de contrôle, qui peut être par exemple la tour d'un aérodrome, ou bien un centre de contrôle plus important. Le centre de contrôle peut exiger certaines actions du pilote, par exemple qu'il mette en marche un appareil dans l'avion (transpondeur) permettant au centre de contrôle de l'identifier au radar.

Le centre de contrôle offre, en échange, une aide au pilote, et le décharge d'un ensemble de tâches dont le centre assure le contrôle.

I.1.1. Espace contrôle :

I.1.1.1. Classe A :

• Services rendus :

- séparation entre IFR
- Service d'information de vol
- Service d'alerte
- Le vol VFR est interdit en classe A sauf dérogation expresse accordée par l'autorité compétente.
- Le contact radio et la délivrance d'une clairance pour entrer dans l'espace sont obligatoires.
- La vitesse n'est pas limitée (tous les vols sont séparés entre eux)

1.1.1.2. Classe B :

Services rendus :

- séparation entre IFR
- séparation entre IFR et VFR
- séparation entre VFR
- Service d'alerte

- Le contact radio et la délivrance d'une clairance pour entrer dans l'espace sont obligatoires.
- Les conditions météorologiques de vol à vue (VMC) sont :
 - distance par rapport aux nuages : 1500 mètres horizontalement et 300 mètres (1000 ft) verticalement ;
 - visibilité 8 km au-dessus du FL 100 et 5 km au-dessous du FL 100.
- La vitesse n'est pas limitée (tous les vols sont séparés entre eux).

1.1.1.3. Classe C :

Services rendus :

- séparation entre IFR
- séparation entre IFR et VFR
- Information de trafic entre VFR
- Service d'information de vol
- Service d'alerte

- Le contact radio et la délivrance d'une clairance pour entrer dans l'espace sont obligatoires. Les TMA des grands aéroports très fréquentés par les IFR sont généralement de classe C.
- Les conditions météorologiques de vol à vue (VMC) sont :

Distance par rapport aux nuages : 1500 mètres horizontalement et 300 mètres (1000 ft) verticalement

- visibilité 8 km au-dessus du FL 100 et 5 km au-dessous du FL 100.

1.1.1.4. Classe D :

Services rendus :

- séparation entre IFR.
- séparation entre IFR et VFR spécial ou VFR de nuit
- Information de trafic entre IFR et VFR
- Information de trafic entre VFR
- Information de trafic entre VFR spécial
- Service d'information de vol
- Service d'alerte
- Le contact radio et la délivrance d'une clairance pour entrer dans l'espace sont obligatoires.
- Les conditions météorologiques de vol à vue (VMC) sont :
- distance par rapport aux nuages : 1500 mètres horizontalement et 300 mètres (1000 ft) verticalement ;
- visibilité 8 km au-dessus du FL 100 et 5 km au-dessous du FL 100.

1.1.2. Espace no contrôle :

1.1.2.1. Classe F :

Services rendus :

- Services d'information et d'alerte, ainsi que le service consultatif de la circulation aérienne. Pas de service de contrôle.
- Le service consultatif de la circulation aérienne est un service permettant d'assurer autant que possible l'espacement entre les vols en régime IFR décidant d'utiliser ce service.
- Cette classe n'est pas utilisée en algérie
- En dessous du plus haut des 2 niveaux 3 000 ft QNH ou 1 000 ft

1.1.2.2. Classe G :

Services rendus :

- Service d'information de vol et d'alerte seulement, pas de service de contrôle.
- assurent de façon facultative les services d'information et d'alerte dans ces zones.
- Les conditions météorologiques de vol à vue (VMC) sont les mêmes qu'en classe F
- La classe G n'existe plus en Algérie.

1.2. Découpage de l'espace aérien :

- Les territoires nationaux sont découpés en régions d'information de vol (**FIR**, flight information region).
- En espace aérien inférieur Algérie, les FIR vont de la surface (SFC) au niveau 450 (inclus) (FL 450 flight level 450), c'est-à-dire 45 000 pieds à la pression de 1 013 hPa.
- Les FIR sont gérées par un centre de contrôle. il y a un centre de control régional (CCR) par FIR.

1.2.1. Espaces aérien contrôlés :

1.2.1.1. Terminal manoeuvring area ou TMA (région de control terminale),

est un espace aérien réglementé destiné à protéger les vols en approche ou au départ d'un ou plusieurs aéroports. Cet espace est le plus souvent un espace de vol contrôlé. Il peut être de classe A, B, C, D ou E.

Algérie, la plus grande partie de ces zones sont de classe D ou E, mais quelques TMA à très fort trafic IFR sont de classe C.

La plupart du temps situé au-dessus d'une ou de plusieurs CTR leurs limites horizontales se situent au minimum à 700 pieds au-dessus du sol, quant au plafond celui-ci est très variable selon les zones.

Les TMA servent généralement à protéger les trajectoires de départ et d'approche des avions autour d'un aéroport. Dans certains cas elles peuvent être utilisées pour protéger la section de certaines voies aériennes.

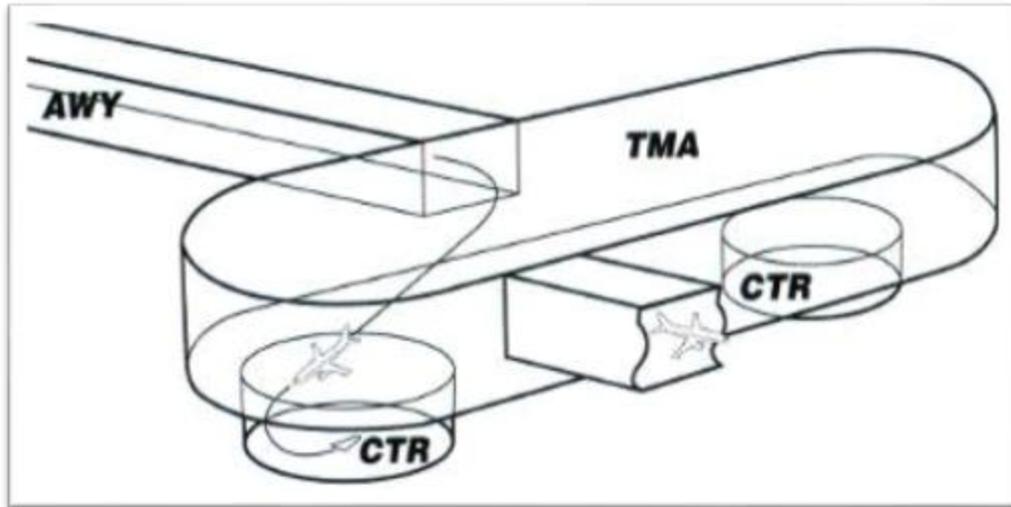


Figure I.1 : zone de control terminal

1.2.1.2. Région de control CTA :

La CTA ou Région de Contrôle définit un espace contrôlé dont la limite inférieure n'est pas le sol.

En lisant les définitions, il devrait vous apparaître facilement que les CTR seraient parfaitement situées sous les CTA, le plafond de la CTR pouvant définir ainsi le plancher de la CTA.

Obtenons par ce biais une série d'espaces contrôlés du sol jusqu'en altitude... En adaptant la classe d'espace de ces CTR et de ces CTA au type de trafic qui y circule, nous maximisons la sécurité.

Les CTR et CTA sont des espaces contrôlés supplémentaires auxquels est affectée une classe d'espace en fonction de l'importance du trafic qui y est géré.

1.2.1.3. Control zone CTR ou (control trafic région) :

Est un espace aérien réglementé, destiné à protéger les vols à l'arrivée ou au départ d'un aéroport.

Les règles de l'air définissent une zone de contrôle (CTR) comme un espace aérien contrôlé s'étendant verticalement à partir de la surface jusqu'à une limite supérieure spécifiée. Il peut être de classe A, B, C, D, E. Cet espace entoure un aéroport et peut être situé sous une ou plusieurs TMA.

La limite inférieure d'une CTR est toujours le sol. La limite inférieure d'une TMA n'est jamais le sol. En Algérie les CTR sont généralement de classe D. La classe E n'est plus utilisée pour les zones de contrôle.

Les CTR sont gérées par la tour, l'entrée dans ces zones est soumise à clairance.

Le plus souvent situé sous une TMA, le rôle des CTR est d'englober les axes d'arrivée et de départ ainsi que de protéger la circulation d'aéroport. En général le plafond d'une CTR ne dépasse pas les 3000 pieds au-dessus du niveau de la mer ou 1000 pieds au-dessus du sol.

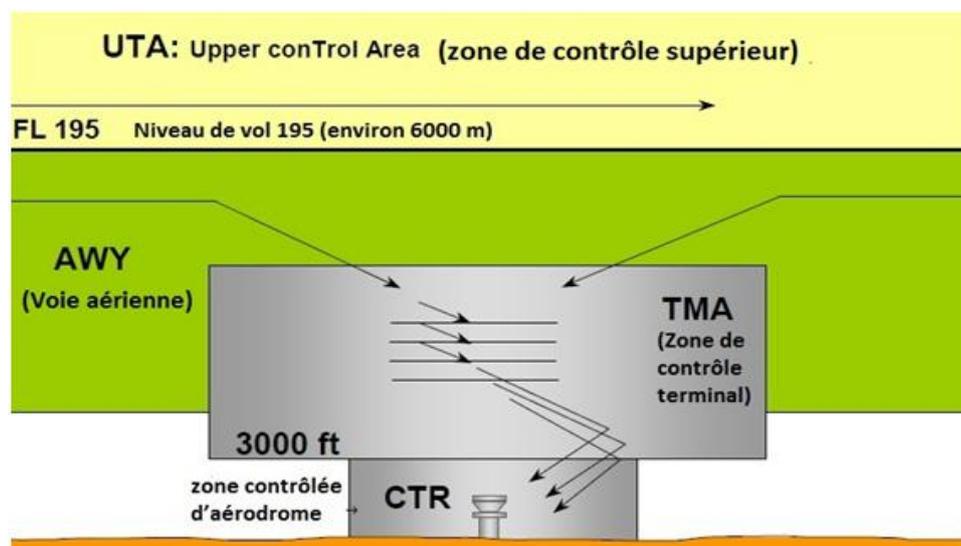


Figure I.2 : control zone CTR et zone de control termin

1.2.1.4. Les voies aériennes :

• Une **voie aérienne** ou **couloir aérien**, abrégé **AWY** (pour airway) pour les vols IFR, est une voie de communication aérienne liée les TMA entre eux.

- Les avions circulent à l'intérieur de couloirs larges de 10 milles nautiques (18 km) et sont séparés verticalement de 1000 pieds (304,8 m).

- Le plafond des AWY est défini de la forme suivante:

- Espaces inférieurs de 3000 ft jusqu'au FL195 inclus.
- Espaces supérieurs FL195 jusqu'au FL660.

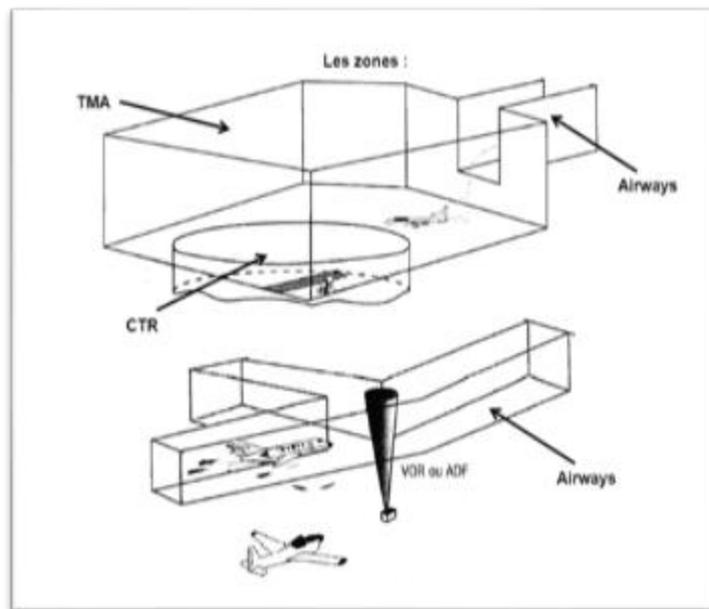


Figure I.3 : les voies aériennes

1.2.2. Zones à statu particulier :

1.2.2.1. Zones dangereuses(D) :

Les zones **D**, dangereuses, définies pour annoncer un danger permanent ou à certaines heures pour les aéronefs. La pénétration dans la zone n'est pas interdite même en cas d'activité. Il s'agit par exemple, de champs de tir militaires ou de zones de barrage en montagne avec de nombreux câbles, À ne pas confondre avec l'espace de classe D.

1.2.2.2. Zones réglementées (R) :

Les zones **R**, réglementées, définies pour protéger une zone, principalement d'évolution d'avions militaires.

Si la zone est active, selon les zones et en fonction de la règle de vol utilisée, la pénétration est :

- soit interdite (exemples : zone d'entraînement au combat de l'armée de l'air).
- soit autorisée mais il faut suivre les instructions du gestionnaire de la zone (exemple : zone d'approche de certains aérodromes militaires).
- soit autorisée après simple contact radio.

Sinon c'est comme si elle n'existait pas. Les conditions d'entrée varient énormément, il est donc conseillé, si vous comptez voler dans une telle zone, de consulter le complément aux cartes aéronautiques, publié par le SIA, pour voir sous quelles conditions vous pouvez transiter dans la zone.

Les conditions vont de la simple demande de clairance à un organisme militaire, à l'interdiction pure et simple de pénétrer l'espace.

Il existe également des zones qui servent à l'entraînement bas altitude des avions de chasse. Ils volent à grande vitesse, très bas, et n'assurent pas l'anticollision avec les autres aéronefs. La plus grande prudence est donc conseillée quand il s'agit d'une zone R. Renseignez vous avant un vol sur ses conditions et horaires d'activation.

I.2.2.3. Zones interdit(p) :

Les zones **P**, interdites, sont complètement interdites à tout aéronef civil. Elles sont peu nombreuses. Interdit le survol quelque soient l'altitude.

I.2.3. Zones temporaires :

- Zone interdite temporaire (ZIT)

Ce sont des zones établies temporairement autour de bâtiments particuliers, de sites industriels pétrochimique ou nucléaire ou d'évènements particuliers dans le but d'interdire l'accès à tout aéronef non autorisé.

- Zone réglementée temporaire (ZRT)

Ce sont des zones établies temporairement autour de bâtiments particuliers ou d'évènements particuliers, établissant une réglementation spécifique (contact radio obligatoire, transpondeur obligatoire, altitude de transit...)

Les zones interdites ou réglementées temporaires (ZIT ou ZRT) peuvent être créées pour des évènements particuliers normalement de courte durée (inférieure à 3 mois), pour des raisons de sécurité.

1.2. Introduction a la surveillance :

1.2.1 Généralités sur la surveillance :

1.2.1.1 Définition :

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

1.2.1.2 Les besoins :

- La position des avions à un instant donné et leur intention.
- L'aptitude de contrôler les trajectoires des avions via les instructions données aux Pilotes.

1.2.1.3. La classification de la surveillance :

Selon le type d'exploitation

On distingue deux types d'exploitations fonctionnellement très différentes :

La surveillance non **coopérative** et **coopérative**.

1.2.1.3.1. La surveillance indépendante : la position est calculée par le récepteur au sol.

Elle est indépendante de celle calculé à bord, fournie par l'avion. On distingue :

➤ **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 ».

1.2.1.3.2. La surveillance dépendante : la cible informe la station au sol ou les cibles qui les entourent de sa position calculé à bord.

1.2.2. BESOINS OPERATIONNELS :

1.2.2.1. Couverture requis :

Généralités

- Une couverture radar continue et complète, de qualité et de fiabilité élevées, permettant d'assurer des séparations radar de 3NM, 5NM et 10 NM, doit être disponible en Permanence.
- Les stations radar doivent être situées de telle manière que leur cône de silence soit inclus dans la couverture d'un radar adjacent, ou ne réduise pas l'efficacité opérationnelle du service radar.

Grandes régions terminales

- Les grandes régions terminales doivent disposer d'une couverture radar secondaire double et d'une couverture radar primaire simple. Cette combinaison garantit la disponibilité permanente d'informations de position radar et permet la fourniture de services de la circulation aérienne aux aéronefs incapables de répondre à des interrogations SSR.
- La couverture des grandes régions terminales doit commencer aux altitudes les plus basses des segments d'approche intermédiaire des principaux aéroports concernés. Ailleurs, la couverture s'étendra des niveaux minimum auxquels les services radar doivent être fournis jusqu'à la limite supérieure de la région terminale.

Espace aérien en route

- Dans l'espace aérien en route, la couverture SSR doit s'étendre des niveaux minimum de croisière jusqu'aux niveaux maximum de croisière IFR ainsi que là où la fourniture de services radar est obligatoire.
- La couverture horizontale doit s'étendre sur 30 NM au moins au-delà de la région relevant du Centre de contrôle régional (CCR) correspondant, à moins que cela ne soit impossible pour des raisons géographiques.

1.2.3. Données de surveillance radar requis :

Le système de surveillance radar doit fournir au moins les données suivantes pour présentation aux contrôleurs de la circulation aérienne :

1.2.3.1. Données complètes :

- Historique du vol et position de l'aéronef dans le plan horizontal
- Identification de l'aéronef
- position de l'aéronef dans le plan vertical
- indication spécifiée des codes Mode A spéciaux
- vitesse - sol
- statut de piste : primaire, secondaire, combinée ou extrapolée

1.2.3.2. Les données indispensables :

- l'historique et la position de l'aéronef dans le plan horizontal.
- L'identification de l'aéronef ou le code Mode A.
- La position de l'aéronef dans le plan vertical.

1.2.4. L'infrastructure de surveillance :

L'infrastructure de surveillance radar doit permettre de satisfaire les exigences de disponibilité ceci peut être assuré de différentes manières :

- doublement des capteurs
- commutation automatique de passage à une station radar autonome (de secours)
- mise en place de stations radar supplémentaires
- installations de "secours"
- canaux radar à accès direct
- utilisation de données radar traitées provenant d'une autre source (un serveur central, par exemple).

CHAPITRE II :
LE RADAR PRIMAIRE

II. radar primaire :

II.1. Introduction au Radar :

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 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.

le radar est également utilisé pour créer une haute définition des cartes du sol sur de vastes zones.

II.2. Chaîne de transmission d'un radar primaire :

On peut classifier les radars dans 4 catégories :

- **Radars de surveillance au sol**

Portée typique : 4 à 9 km

Résolution : 12 m

Renouvellement : 1 seconde

Bande X (9 GHz) ou Ku (16 GHz)

- **Radars d'approche (TMA)**

Portée typique : 50 à 80 nm)

Domaine altitude : 30 à 40 Kft

Renouvellement : 4 à 5 secondes

Bande de fréquence : Bande S ou L

Bande de Fréquence : Bande L

- **Radars de grande approche**

Portée typique: 100 à 130 nm

Domaine altitude : 40 à 50 kft

Renouvellement: 5 à 6 secondes

Bande de fréquence : Bande L

- **Radars de contrôle en route moyenne et longue portée**

Portée typique : 150 à 220 nm

Domaine altitude : 50 kft

Renouvellement : 10 à 15 secondes

Bande de fréquence : Bande L

II.3. Généralité :

Le système de PSR (radar primaire) consiste à éclairer une portion de l'espace par une onde électromagnétique et à recevoir les échos produits par la réflexion sur des Object à l'intérieur de son volume.

Le radar primaire possède 2 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 ?
- A quelle distance se situe-t-elle du radar et quel en est l'azimut ?
- Cette cible elle est fixe ou mobile ?

- **Les avantages du radar primaire sont :**

Aucun équipement embarqué n'est nécessaire pour la détection de la cible, ce qui permet la détection des cibles non-coopératives.

Il peut être utilisé pour la surveillance au sol.

- **Les inconvénients du radar primaire sont :**

- Les cibles ne peuvent pas être identifiées.
- L'altitude des cibles ne peut être déterminée.
- Il nécessite des émissions puissantes, ce qui tend à limiter la portée.

II.4. Les Composantes d'un système radar :

Dans sa forme la plus fondamentale, un radar se compose des éléments essentiels:

II.4.1 .Générateur de fréquence :

Permet de fournir la fréquence nécessaire pour l'émetteur.

II.4.2. Emetteur :

L'émetteur du radar produit des impulsions de courte durée RF de haute puissance de l'énergie qui est rayonnée dans l'espace par l'antenne. et doit avoir les caractéristiques suivantes techniques et d'exploitation:

- L'émetteur doit avoir la capacité requise pour générer la puissance moyenne et la puissance RF de pointe nécessaires.
- L'émetteur doit avoir une largeur de bande appropriée RF.
- L'émetteur doit avoir une grande stabilité RF pour répondre aux besoins de traitement du signal.
- L'émetteur doit être facilement modulable pour répondre aux exigences de conception de forme d'onde.
- L'émetteur doit être efficace, fiable et facile à entretenir et l'espérance de vie et le coût du dispositif de sortie doit être acceptable.

II.4.3. Un guide : un guide d'onde qui amène l'onde vers l'antenne.

II.4.4. Antenne : divise la couverture en couverture basse et couverture haute, la première est utilisée pour l'émission et la réception tant dit que le deuxième elle est utilisé pour la réception seulement.

II.4.5. Le récepteur qui reçoit le signal produit.

- Compare la phase de signal reçu avec celle du coho à fin de déterminer la nature de cible.
- Permet de détecter des cibles .
- Control radar opération.
- Vérifies system control panel sélection.

II.5. Types émetteurs radar :

On constate 2 générations de radar en bande S et L :

Les radars à base de magnétron et klystron et les radars à base de transistors :

- Avant 1990 : Magnétron, klystron (bande L et bande S)
- Depuis 2000: Etat solide (bande L et bande S)

Puissances émises

- Magnétron: 600 kW à 2,2 MW.
- Klystron: 1,3 à 3,5 MW.
- Etat solide: 10 à 40 kW crêtes : Puissance crête faible, Emission d'une impulsion longue avec modulation de fréquence : compression d'impulsion

II.5.1. Radars avec Emetteur à tubes (Magnétron ou Klystron) :

- 2 chaînes Emission/Réception/Traitement identiques
- Simultanément sur 2 fréquences f_1 et f_2 différentes.
- Les signaux reçus aux 2 fréquences f_1 et f_2 sont aiguillés séparément sur chacune des 2 chaînes.
- Les détections sont recombinaées au niveau de l'extracteur.

Avantage:

Augmentation des performances de portée (bénéfice de la diversité de fréquence)

Inconvénient:

En cas de panne sur une des chaînes, la portée est réduite

II.5.2. Radars avec Emetteur Etat Solide :

L'étage de puissance de l'émetteur, large bande, est commun aux deux chaînes

- La redondance de l'émetteur est assurée par le fonctionnement en parallèle d'un nombre important de modules identiques (8 ou 16).
- Chaque chaîne fonctionne sur les 2 fréquences d'Emission/Réception
- Les chaînes sont utilisées selon une logique de commutation
- Une chaîne opérationnelle, une chaîne stand-by (commutation automatique en cas de panne)

 **Avantage:** Les performances sont conservées en cas de panne sur une chaîne.

II.6. Détection des cibles en radar primaire :

II.6.1. Choix de la fréquence :

La détection d'une cible est réalisée à partir de l'émission d'une onde électromagnétique brève sur une fréquence telle que l'image puisse être réfléchi et détecté dans des conditions favorables, ces conditions sont liées logiquement en détection radar au comportement des cibles réelles en fonction de la fréquence.

Le choix de la fréquence est important et intervient dans l'équation générale du radar et sur de nombreuses caractéristiques des équipements. Le choix de la fréquence est aussi, pour une fonction bien définie, le résultat de compromis techniques.

❖ Les bandes de fréquence :

La fréquence est principalement choisie en fonction de l'application visée. De manière générale, une grande longueur d'onde (bandes HF) permettra de profiter des phénomènes de propagation et de rebond sur l'ionosphère, ce qui permet de porter à des milliers de kilomètres.

D'autre part, seuls les objets dont la taille typique est au moins de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde sont visibles. Par exemple, une forêt sera partiellement transparente pour les grandes longueurs d'ondes (seuls les troncs d'arbres sont visibles) ; tandis que la forêt sera opaque en bande X, car la longueur d'onde est de l'ordre de la taille des feuilles et des branches. La taille de l'antenne influe également sur la longueur d'onde à utiliser (et réciproquement).

❖ Noms des bandes de fréquences utilisés en radar :

Le spectre des ondes électromagnétiques s'étend jusqu'à des fréquences de l'ordre de 10^{24} Hz. Cette bande de fréquence très large est divisée en « sous bandes » afin de prendre en compte les différentes propriétés physiques des ondes qui la composent.

Le découpage en sous bandes a été effectué à l'origine selon des critères « historiques », modifiés ensuite pour respecter une nomenclature internationale (du moins occidentale!)

aujourd'hui également obsolète. Cependant la désignation traditionnelle des sous bandes est régulièrement utilisée dans la littérature consacrée au sujet.

En résumé nous considérerons les valeurs suivantes :

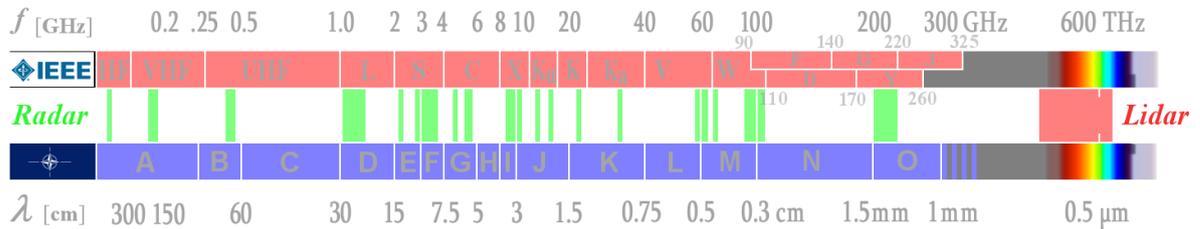


Figure II.4 : Ondes et bandes de fréquences

II.6.2. Forme du signal émis :

La forme du signal émis sur une longueur d'onde λ choisie est, un simple signal impulsionnel composé d'impulsions brèves (au maximum quelques ns) de durée t répétées à une fréquence de récurrence $FR = 1/TR$ T =temp aller -retour

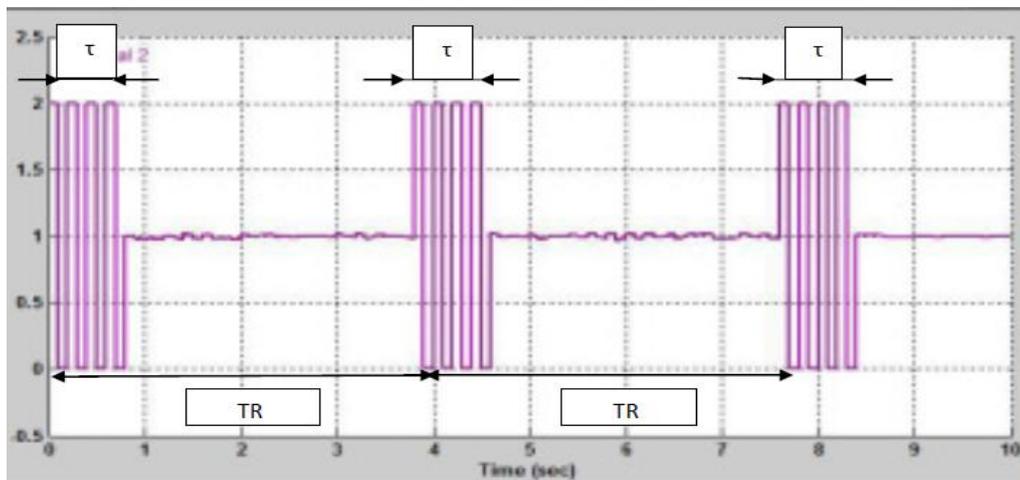


Figure II.5:Forme de signal émis

II.6.3. Nature de la cible :

On appelle « cible » tout obstacle se présentant sur la trajectoire de l'onde électromagnétique, et donnant lieu à une onde réfléchie.

Ainsi dans le faisceau radar, une cible peut être le mobile de l'objet que l'on veut détecter (avion, bateaux, etc....) mais également tout autre chose qui donnera lieu à une onde réfléchie par exemple bâtiments et forêts

Nous voyons donc apparaître les notions de cibles utiles donnant lieu à des échos utiles et des cibles indésirables donnant lieu à des échos parasites.

II.6.4. Nature de la réponse :

En réception au niveau de l'antenne, le signal réfléchi par la cible mobile se présente, du point de vue énergétique, comme une infime partie de ce qu'il était au moment de l'émission. Cette partie d'énergie est due à 2 facteurs essentiels :

- ❖ Atténuation atmosphériques lors de la propagation du signal.
- ❖ Dispersion d'énergie au niveau de la cible aux moments de la réflexion :

Une cible avion n'absorbe qu'en partie l'énergie qu'elle rayonne dans toutes les directions.

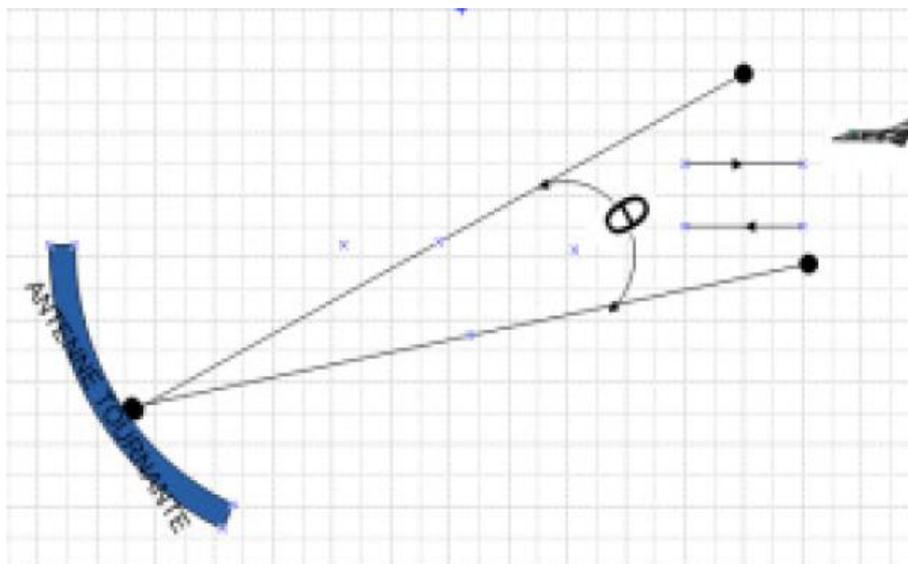


Figure II.6 : réponse radar

Si nous ajoutons que la cible est représentée de point de vue énergétique par une surface équivalente qui peut fluctuer considérablement d'un tour d'antenne au suivant en fonction de la présentation de l'aéronef dans le faisceau radar, nous comprenons que les faibles puissances d'échos récupéreront de surcroît variables.

II.6.5. Localisations de la cible :

Pour une présentation panoramique classique, la localisation de la cible s'effectue logiquement grâce à la connaissance de ses coordonnées polaire. Pour cela, il s'agit :

- De mesurer la distance radar cible.
- De mesurer le gisement dans lequel se trouve la cible au moment de la détection de l'écho réponse.

Par convention, le gisement θ correspondant au calage azimuthal de l'aérien s'évalue angulairement par rapport au nord géographique.

Le gisement θ est logiquement défini par rapport à l'axe du faisceau ou diagramme azimuth. Est donc l'analyse de ce diagramme qui nous permettra à la suite de notre propos, de concrétiser et d'évaluer la présence de la mesure du gisement.

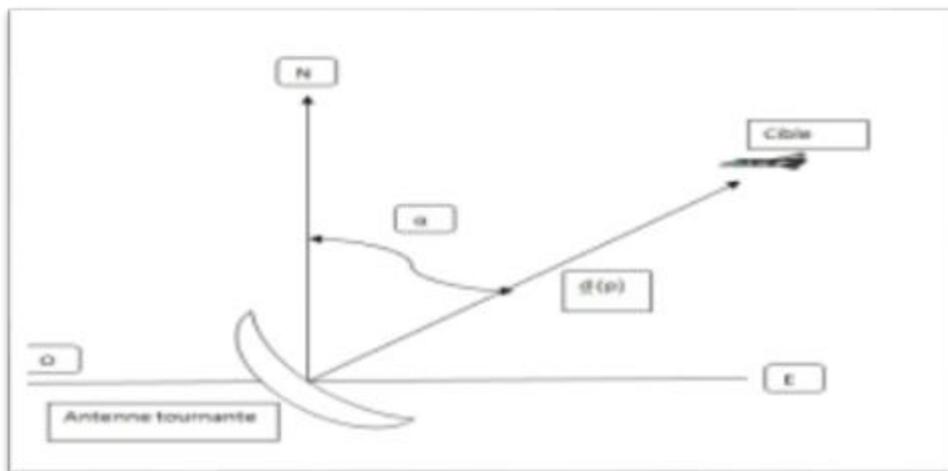


Figure II.7 : Positionnement de la cible

II.6.6. Mesure de la distance :

La mesure de la distance se ramène en fait à la mesure d'un temps en effet, à chaque période de récurrence, ou interrogations l'on peut déterminer avec précision l'instant t_0 de l'émission de l'impulsion et l'instant t_1 de la réception du signal après réflexion sur la cible, on pourra connaître la distance d en mesurant le temps $t = t_1 - t_0$

Nous écrirons simplement en appelant c la vitesse de propagation de l'onde ($C = 300\,000 \text{ Km/s}$) et en tenant compte du trajet aller et retour.

$$2d = ct \quad \text{ou} \quad d = ct/2 \dots\dots\dots [2]$$

Le diagramme en fonction du temps étant alors le suivant :

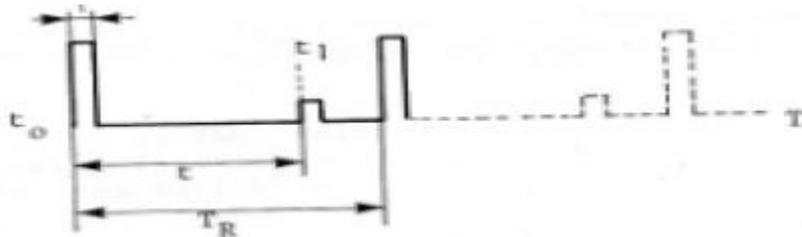


Figure II.8 : Distance du plot

II.7. Problèmes radar primaire :

II.7.1. Réponse en seconde récurrence :

Il n'est pas impossible de détecter des échos de cibles importantes situés à une distance supérieure à $c \cdot TR / 2$, la portée utile d'un radar est calculé en effet à partir d'une équation généralisée dans laquelle intervient, entre autre paramètres, la surface équivalente de la cible.

Cette portée pourrait donc être pour certaines cibles importantes supérieures à la portée théorique max. Il est intéressant de connaître ce qu'il advient d'un écho situé en seconde récurrence, C'est à dire à une distance correspondant à un temps $t = TR + t'$

La distance erronée calculée d'correspondant à la distance affiché serait

$$D' = c \cdot t' / 2 = d - P_{th \max} \dots\dots\dots [2]$$

La puissance du signal reçu décroissant en fonction de la distance, les réponses en nième récurrence arrivent donc de fait de leur éloignement avec un niveau très faible .Le choix d'une longue période TR serait une solution si ce choix n'était pas par ailleurs lié à d'autres impératifs.

Il suffit généralement pour l'équipement, de disposer d'une commande de sensibilité ou de gain variable dans le temps (GVT) dans la chaine d'amplification du récepteur , pour supprimer

les réponses indésirables gênantes ou visibles essentiellement en début de portée sur l'indicateur panoramique.

II.7.2. Pouvoir discriminateur en distance :

C'est la largeur de l'impulsion τ représentant la durée du signal émis qui définit l'écart minimum en distance pour que deux cibles puissent être visualisées séparément en radar.

De même que la portée théorique max, la résolution en distance

définissant la portée minimale utilisable ou le pouvoir séparateur dans l'axe s'écrira :

$$S=c.\tau/2$$

Ainsi, pour une largeur d'impulsion $\tau=4 \mu\text{s}$ dans un même azimut leur avions qui se suit radialement ne serait différencié sur un indicateur que s'ils sont à plus de 600 m l'un de l'autre.

Une grande résolution en distance ne pourra donc être obtenue que pour des faibles valeurs de τ .

II.7.3. Pouvoir séparation angulaire :

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 ; $S = 2\pi/360 \theta^\circ R$[3]

Exemple:

Pour un diagramme azimut ayant une ouverture de 3° à 180NM , la distance de séparation latérale serait:

$$S = 2\pi/360 .3.180 = 10\text{NM}$$

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 à 3.15NM environ

CHAPITRE 03 :
RADAR SECONDAIRE

III. radar secondaire :

Ce radar ne détecte pas la réflexion d'un écho sur un avion comme le radar primaire, mais fonctionne sur un mode de questions-réponses, c'est la surveillance coopérative, elle est assurée grâce à la participation active de la cible à la détection. Cette dernière est équipée d'un répondeur (ou transpondeur). Ce transpondeur reçoit des interrogations du radar et répond.

Les avions possèdent un transpondeur dont le but est de recevoir et de répondre aux requêtes du radar secondaire.

III.1 LE FONCTIONNEMENT :

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

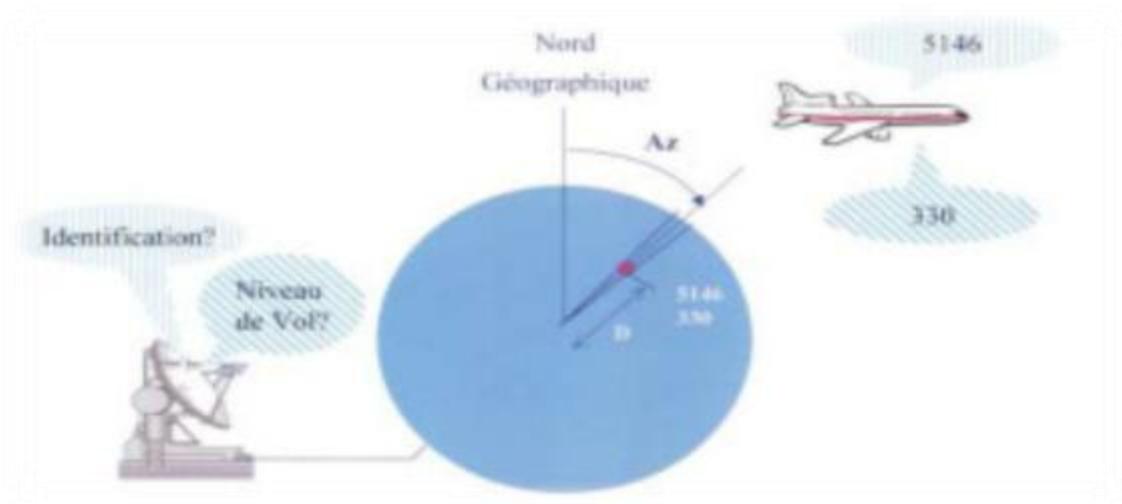


Figure III.9:principe du radar secondaire

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.

III.1.1. 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 vus imposer un temps de réponse fixe t_r de 3 μs qui sera soustrait par le radar.

III.1.2. Mesure de l'azimut:

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

III.2 L'INTERROGATION:

III.2.1 Le signal émis :

L'interrogation est codée par paires d'impulsions appelées P1-P3. Le temps séparant ces deux impulsions indique le mode d'interrogation. Les transpondeurs Mode A/C fournissent l'identification (code Mode 3/A) et l'altitude (code Mode C) de l'avion en réponse aux interrogations.

- Fréquence de l'interrogation radar : 1030 Mhz
- Fréquence de la réponse transpondeuse : 1090 Mhz

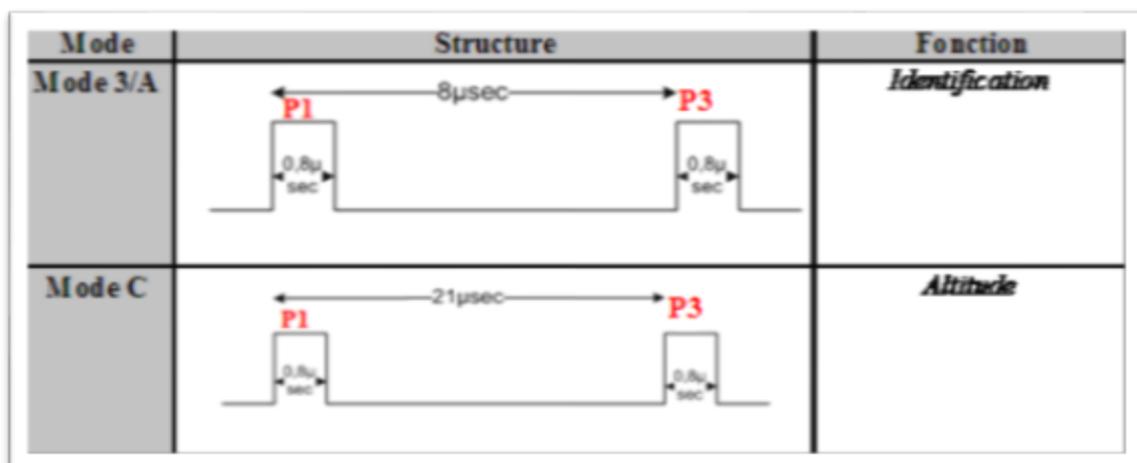


Figure III.10: les modes d'interrogation du radar secondaire

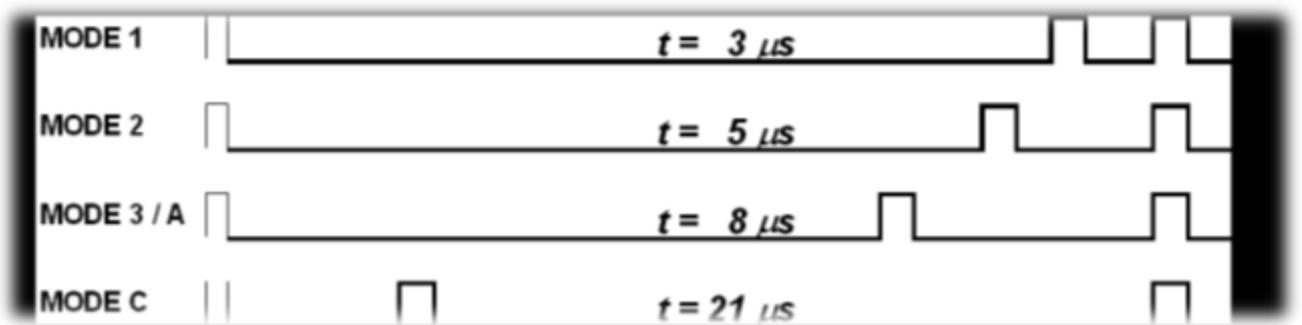


Figure III.11:3 mode A

III.2.2 Positionnement en azimut :

- Lobe d'ouverture 2,4
- La position de l'antenne se mesure par rapport au Nord Géographique (Az) par un codeur 14 bits. Ceci équivaut à une précision de $0,022^\circ : 0,022 = 360 / 214$
- Le niveau du signal sur les lobes secondaires sera toujours inférieur au minimum de 26 dB par rapport au lobe principal.

Le décibel (dB) est une unité de grandeur sans dimension définie comme dix fois le logarithme décimal du rapport entre deux puissances, utilisé dans les télécommunications, l'électronique et l'acoustique. Dans le domaine de l'acoustique environnementale, on exprime couramment le niveau sonore en décibels.

III.3 LE TRANSPONDEUR :

III.3.1 La réponse transpondeur :

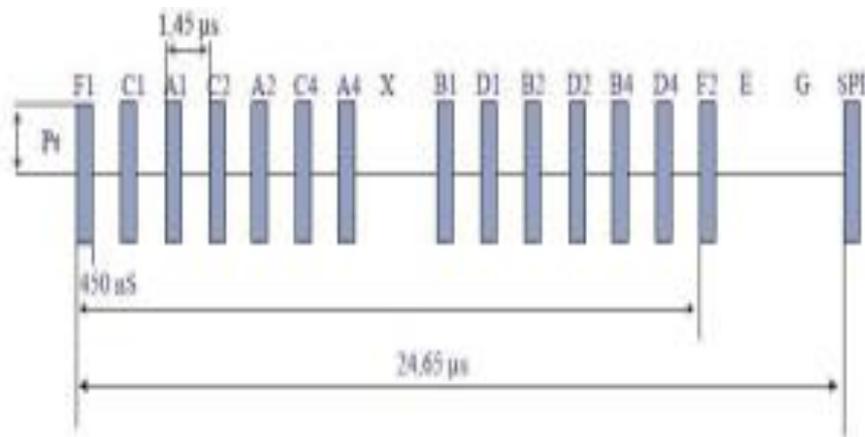


Figure III.12:forme de la réponse

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

- Mode A Ces mots s'exprimeront par ABCD
- Mode C Codage du FL (Fly Level) : 1267 au FL 10 par pas de 100

Pieds.

On utilise le Binaire Codé Réfléchi (Code de Gray)

- X, E, G ne doivent jamais exister
- SPI (Special 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. Le SPI est renvoyée avec le mode A pendant une durée de

15 à 30 s

- La puissance émise devra être comprise entre 125 et 500 Watts.
 - Certains codes sont réservés à des situations particulières :

7700 : DETRESSE

7600 : PANNE RADIO

7500 : DETOURNEMENT

- Après une réponse le transpondeur doit rester bloqué pendant μ 1s25
(Normes OACI)

II.3.2 Synoptique du transpondeur :

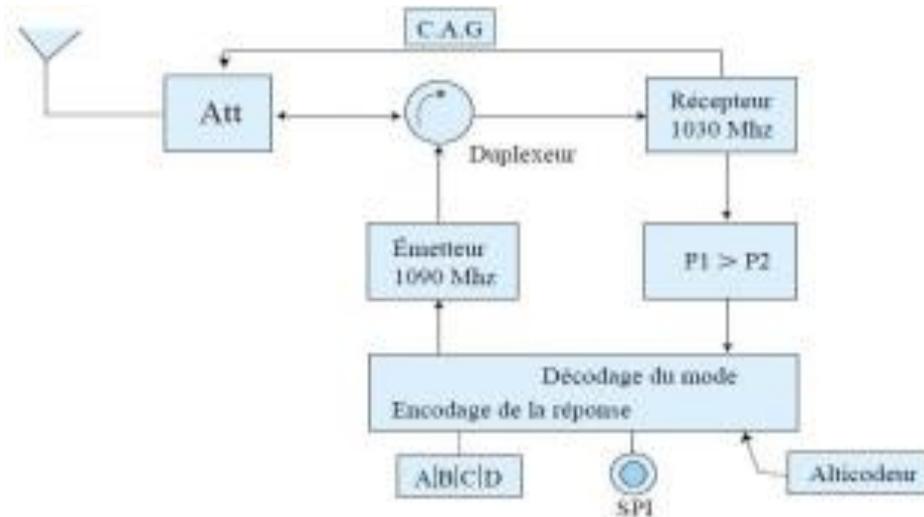


Figure III.13:synoptique transpondeur

III.4 LE BILAN DE PUISSANCE :

III.4.1 Les équations :

Un radar émet la puissance P_i avec un gain d'antenne G_i (i pour Interrogateur) et avec une fréquence f_i correspondant à une longueur d'onde λ_i . De la même manière le transpondeur répond en émettant une puissance P_t , un gain d'antenne G_t (t pour Transpondeur) et une longueur d'onde λ_t

- La densité de puissance reçue au transpondeur à une distance d du radar se retrouve dans l'expression

$$d_{pt} = G_i P_i / 4\pi d^2 \dots \dots \dots [3]$$

- Surface équivalente présentée par l'antenne du transpondeur :

$$S_t = (G_t \cdot \lambda_i^2) / (4\pi) \dots \dots \dots [3]$$

- Puissance reçue au transpondeur :

$$P_{rt} = S_t \times d_{pt} = (G_t G_i P_i * \lambda^2) / (d. (4\pi))^2 \dots \dots \dots [3]$$

A la Réception :

La densité de puissance reçue au radar à une distance d du transpondeur se retrouve dans l'expression :

$$d_{pt} = G_t P_t / 4\pi d^2 \dots \dots \dots [3]$$

- Surface équivalente présentée l'antenne du radar :

$$S_i = (G_i * \lambda^2) / (4\pi) \dots \dots \dots [3]$$

- Puissance reçue à l'interrogateur :

$$P_{ri} = S_i \times d_{pi} = (P_t G_t G_i * \lambda^2) / (d. (4\pi))^2 \dots \dots \dots [3]$$

III.5 LES PHÉNOMÈNES PARASITES :

III.5.1 LES PROBLÈMES :

3.2.1.1 *Les réponses sur lobes secondaires*

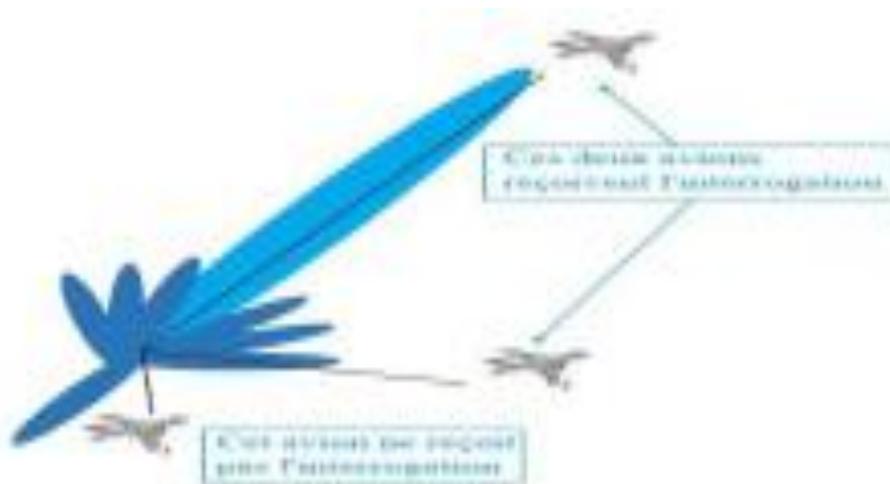


Figure III.14:lobes secondaires

- Un avion proche, dans l'axe d'un lobe secondaire va recevoir l'interrogation.

- La présence des lobes secondaires est quelque chose de naturel dans le cas d'antennes fortement directives.
 - Une imperfection de géométrie d'antenne ne fera qu'accentuer le problème
- La réception d'une réponse sur un lobe secondaire constitue, pour le radar, une information erronée sur la position de la cible.
- Les réponses reçues, sur les lobes secondaires, sont beaucoup plus faibles que celles reçues sur le lobe principal.

III.5.1.2 Le fruit :

(False Replies Unsynchronised with Interrogator Transmission) ou réponses asynchrones.

Une réponse, destinée à une station radar, est renvoyé par l'aéronef de manière quasi omnidirectionnelle.

Celle-ci peut être captée par une autre station radar, si l'aéronef se situe dans le lobe principal de son antenne à ce moment là.

La réponse ne peut pas être utilisée par cette autre station, par manque de référence de temps. Elle lui est donc inutile et constitue un « fruit ». Ce dernier peut être gênant si les deux stations interrogent avec la même période de répétition.

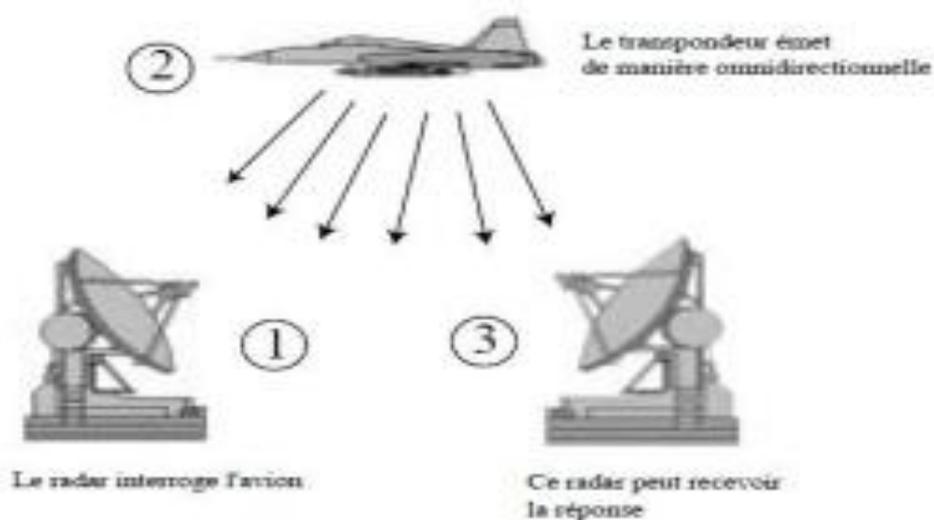


Figure III.15: principe du transpondeur

En radar secondaire les fréquences d'interrogation (1030 Mhz) et de réponse (1090Mhz) sont identiques (Normes OACI). Le Radar 3 va recevoir et décoder les réponses du transpondeur 2 aux interrogations du radar 1.

III.5.1.3 Les réponses en deuxième récurrence :

La cible se situe au-delà de la portée théorique. Si la réponse, qu'elle renvoie, est prise en compte, elle sera positionnée à une distance de la station correspondant à la différence qui existe entre sa position réelle et la portée théorique du radar.

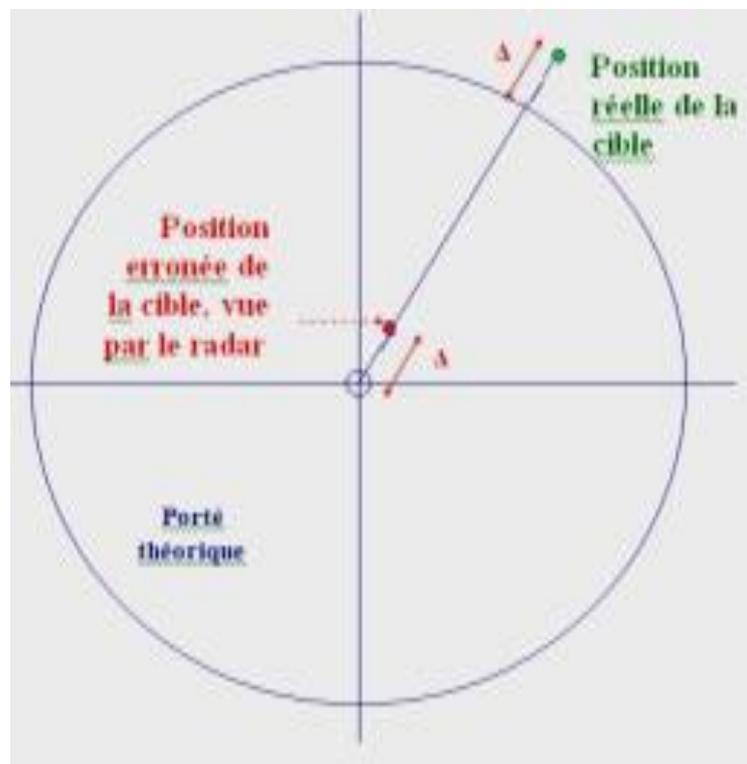


Figure III.16:réponse en deuxième récurrence

Si l'on n'en prend pas garde la réponse à la première interrogation sera associée à la deuxième. La distance correspondra au Δt entre la deuxième interrogation et la réponse.

III.5.1.4 Les réflexions :

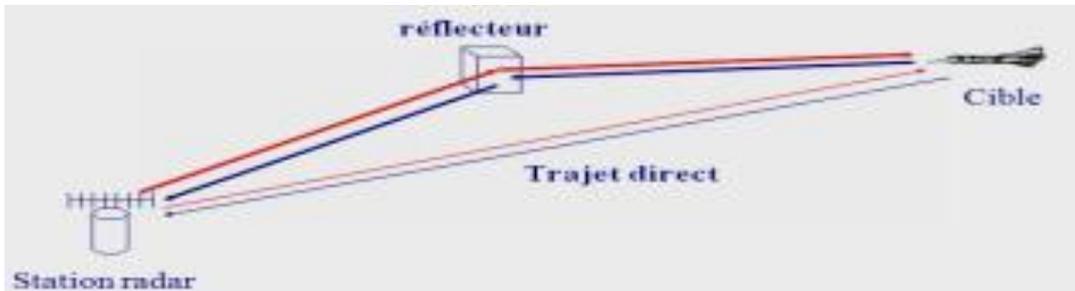


Figure III.17:les réflecteurs

- Les signaux détectés par l'intermédiaire d'un réflecteur, donnent des mesures fausses en azimut et en distance.
- Le niveau du signal réfléchi est en général plus faible que le signal direct.
- La cible, vue par l'intermédiaire du réflecteur, est plus éloignée que celle vue en trajet direct.
- Les réflecteurs produisent, à partir d'une cible vraie, une deuxième cible qu'il faut éliminer.

III.5.1.5 Le Garbling :

C'est l'enchevêtrement des réponses.

L'avion A et l'avion B se trouvent en même temps dans le lobe principal de l'antenne, à la même distance de celle-ci. Ils reçoivent donc en même temps l'interrogation du radar.

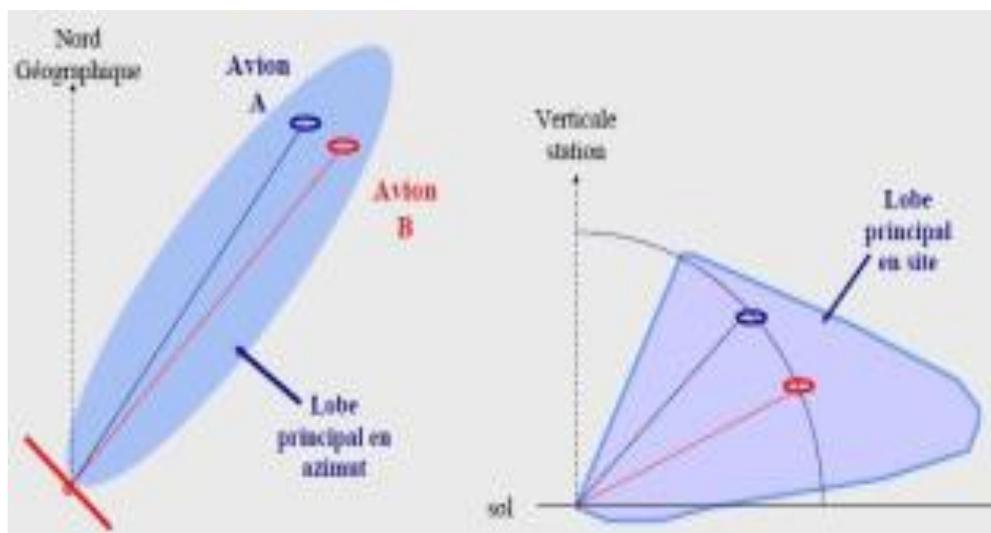


Figure III.18:Garbling

Les réponses de A et B reviennent donc, au même moment, à l'entrée du récepteur du radar.

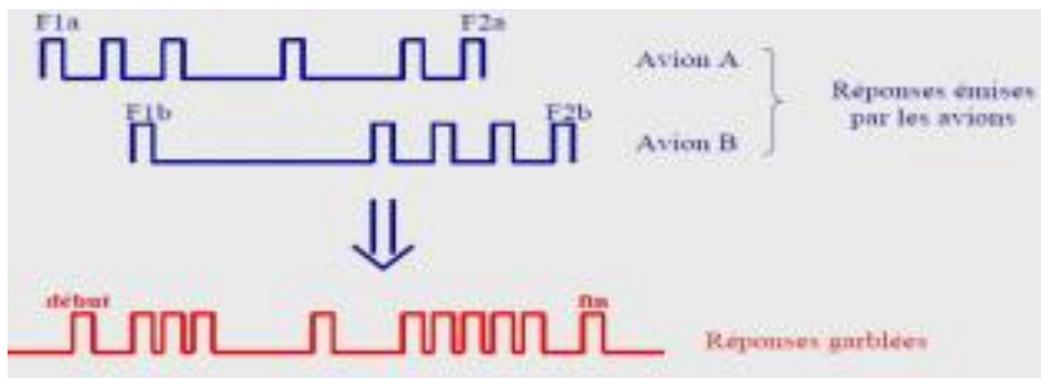


Figure III.19:réponse garblées

Les réponses A et B reviennent enchevêtrées au récepteur du radar. Suivant les cas, il ne sera pas simple de distinguer quelle impulsion appartient à quelle réponse. Dans ce cas, il arrive fréquemment que les codes extraits soient faux ou invalides.

La longueur des réponses, n'est pas négligeable en équivalent temps distance. 20,3 μ s correspond à une distance d'environ 3 km (ou un peu moins de 2 Nm).

L'enchevêtrement va donc se produire pour une différence de distance, entre A et B, de 3 km et en-dessous. A cette échelle de distance, les réponses des deux avions peuvent rester garblées sur un ou plusieurs tours d'antenne.

Les conséquences du garbling peuvent se manifester à plusieurs niveaux, si le radar n'arrive pas à extraire correctement les codes. Dans ce cas, les codes extraits sont faux.

Le code C est affecté plus vite que le code A.

Piste monoradar :

- Les codes A et C, déportés et ensuite affichés à l'écran du contrôleur, pourront être faux.

Piste multiradar :

Si les différents radars, qui détectent les avions garblés, n'extraient pas les mêmes codes, il peut y avoir dédoublement des pistes. Si les codes A et C sont différents d'un radar à l'autre, le système associe les plots qu'il reçoit à plusieurs pistes au lieu d'une piste corrélée :

- Dans le cas où le code A extrait et attribué à la piste est faux, il y a perte de corrélation avec le plan de vol.

En principe, les systèmes multiradar sont mieux armés contre le garbling, puisqu'il peut toujours y avoir un des radars qui aura pu fournir les bons codes avec une bonne qualité.

3.5.2 DES SOLUTIONS :

3.5.2.1 L'ISLS :

(Interrogations avec Suppression de Lobes Secondaires). Le but est d'empêcher le transpondeur de répondre s'il est interrogé sur lobe secondaire.

On crée un deuxième diagramme de rayonnement Ω dit "de contrôle" sur lequel on va émettre une impulsion P2 retardée de $2\mu s$ par rapport à P1. Ω doit être conçu pour qu'un avion interrogé sur lobe secondaire de Σ reçoive une amplitude sur P2 supérieure à celle reçue sur P1.

- Le diagramme Ω est souvent représenté sous forme omnidirectionnelle en Azimut.
- La réception d'un $P2 > P1$ va bloquer le transpondeur pendant $35\mu s$.

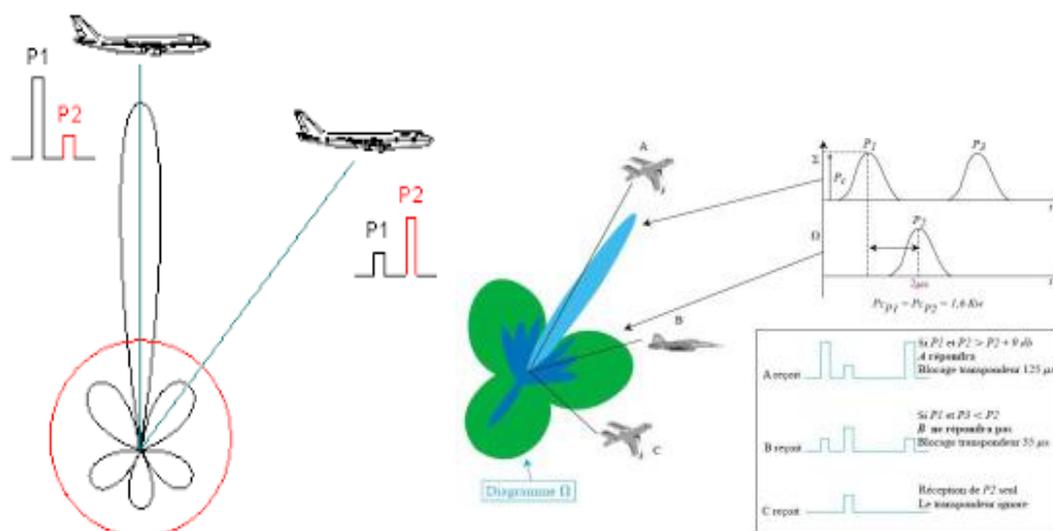


Figure 20: principe de l'ISLS

3.5.2.3 Le RSLs (réception avec suppression de lobes secondaire)

De la même manière que l'ISLS permet d'interdire les réponses sur les secteurs angulaires qui ne nous intéressent pas.

Le RSLs qui agit sur la réception va rejeter les trames en provenance de ces mêmes secteurs. Donc sur la voie Ω un récepteur identique à celui sur la voie Σ .

45

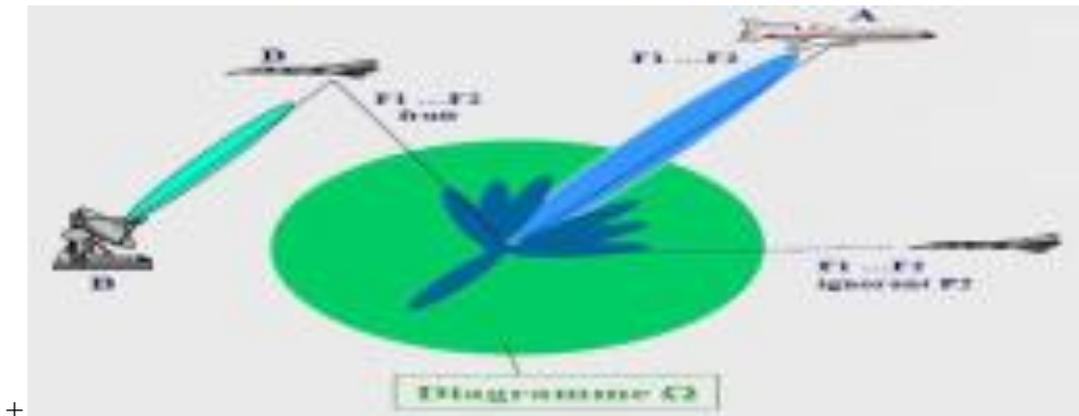


Figure III.21:schéma de l'RSLs

Le FRUIT dans le lobe Σ en provenance d'une interrogation du radar A vers l'avion A ne pourra pas être éliminé par le récepteur du radar. Ce deviendra l'attribution de l'extracteur.

Le FRUIT sur lobe secondaire de l'avion B aux interrogations du radar B pourra être éliminé par le RSLs :

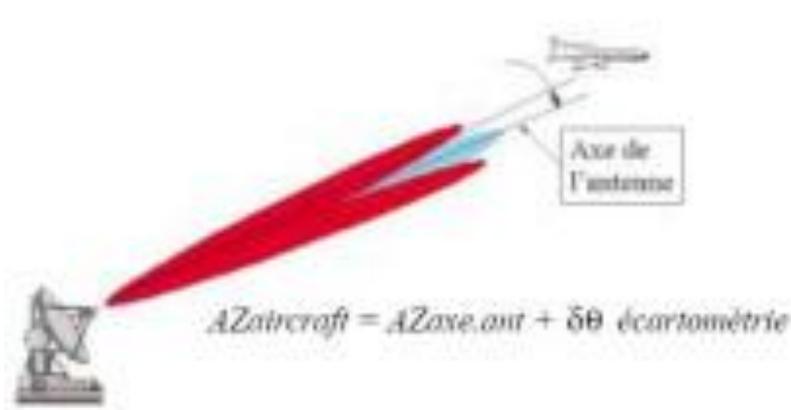
- Si $F1(\Omega) > F1(\Sigma)$ on élimine (par F1 on considère la trame complète).
- $F1(\Omega) < F1(\Sigma)$ on garde.

3.6. LE RADAR SECONDAIRE MONO-IMPULSION :

3.6.1 LE PRINCIPE DU MONOPULSE :

3.6.1.1 Le principe du monopulse :

Au diagramme Σ précédent ; on adjoint un diagramme d'antenne Δ dont la particularité est d'avoir un zéro de réception dans l'axe de l'antenne, et une pente raide de part et d'autre.



La technique mono-impulsion calcule le dépointage entre l'axe de l'antenne et la position réelle de l'avion. C'est la mesure d'écartométrie.

Le dépointage θ appelé "écartométrie" sera fonction du rapport :
 $\frac{\text{mesure sur } \Delta}{\text{mesure sur } \Sigma}$

Figure III.22: La technique d'écartométrie

Ce rapport sera signé :

- Le signal issu de l'un des deux lobes $\Delta+$ est en phase avec le signal issu de Σ ;
- Le signal issu de l'autre : $\Delta-$ est en opposition de phase avec le signal issu de Σ
- La limite de prise en compte des mesures sera lorsque $\Sigma = \Delta$; ceci correspond par géométrie d'antenne à $\theta = \pm 1,2^\circ$. Si $\Delta > \Sigma$ on dira que l'écartométrie est saturée

La mesure d'Azimut peut se faire sur chaque impulsion du code d'où le nom de radar monopulse.

θ_{lim} (limite) correspond à la mesure extrême de dépointage pour lequel l'équipement a été conçu :

1,4° de part et d'autre de l'axe (2,8° au total).

Cet angle n'a pas de nom particulier θ_{min} (Minimum) correspond à l'incrément de mesure d'écartométrie.

$$\theta_{\min} = \theta_{\text{lim}} / 128 = 0,022^\circ$$

θ_{\max} correspond à la mesure maximum utile pour le MSSR : $1,2^\circ$ de part et d'autre de l'axe ($2,4^\circ$ au total).

Cette valeur correspond à $\Sigma = \Delta$.

3.6.2 LE SIGNAL REÇU EN MONOPULSE :

3.6.2.1 Les trames en monopulse :

Les séquences d'interrogation du radar et les réponses du transpondeur seront identiques en monopulse (MSSR) qu'en secondaire (SSR). Seule la réception change avec l'apparition des antennes réseaux et le traitement de l'information Δ .

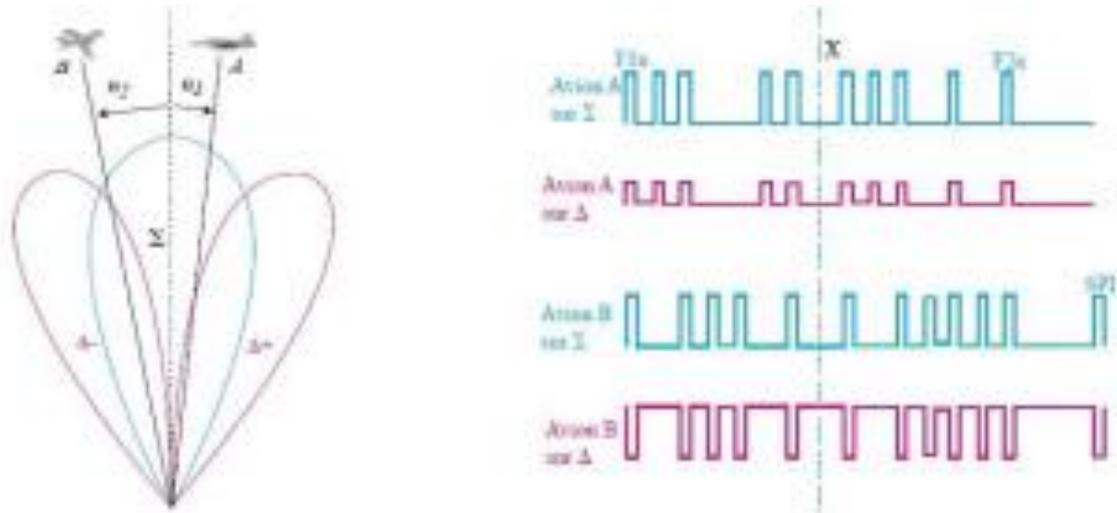


Figure III.23: signaux reçus par la station radar

- L'avion A est positionné dans le lobe de Δ dont les signaux issus sont en phase avec ceux de Σ . Son écartométrie Δ / Σ sera dite positive.
- L'avion B est positionné dans le lobe de Δ dont les signaux issus sont en opposition de phase avec ceux de Σ . Son écartométrie Δ / Σ sera dite négative.
- On remarquera aussi que Δ / Σ augmente plus on s'éloigne de l'axe de l'antenne.

3.6.2.2 Le Garbling en monopulse :

En SSR, on rejetait à peu près systématiquement les réponses dans toute situation de garbling. Il était peu fiable de faire l'analyse des différences de niveau et de position entre chacune des impulsions. (La technologie ancienne ne le permettait pas). Les deux avions étant proches, on ne peut pas attendre de grande différence de niveaux entre les réponses.

En MSSR, c'est différent : la technologie aidant bien, on chiffrera pour chacune des impulsions reçues les valeurs : $\log \Sigma$, $\log \Delta$ et surtout Δ / Σ . Ceci doit permettre par comparaison aux valeurs extrêmes (F1 et F2) de reconnaître à quelle réponse associer l'impulsion.

Par principe si dans deux trames garblées, 2 impulsions ne le sont pas. C'est :

- La Première et ce sera F1 de la réponse d'un avion. Ce sera la fin de trame qui sera garblée. On dit que l'on a un cas de "garbling arrière".
- La Dernière (Sauf SPI) et ce sera F2 de la réponse de l'autre avion. Ce sera le début de trame qui sera garblé. On dit que l'on a un cas de "garbling avant" .

3.6.3 L'ANTENNE MONOPULSE :

3.6.3.1 Principe de l'antenne :

C'est une antenne réseau constituée d'un alignement de (35 +1) éléments rayonnants ou sources élémentaires. Les diagrammes Σ , Δ et Ω correspondent à trois combinaisons différentes de ces éléments. Ce qui est le plus caractéristique d'une antenne monopulse est leur organisation pour générer les diagrammes Σ et Δ .

L'association de sources qui permet de générer le diagramme Δ peut se décomposer en deux sous-ensembles identiques de part et d'autre de l'axe que l'on baptise $\Delta+$ et $\Delta-$. Pour obtenir Δ , on les rajoute ensemble après inversion de phase de $\Delta-$.

$$\Delta = (\Delta+) - (\Delta -)$$

On va résumer les associations d'éléments Σ , $\Delta+$, $\Delta-$ en un point appelé "Centre de Phase" qui simule le point 0 de l'origine du rayonnement. Dans le cas d'une parabole ce point est facile à déterminer. Il s'agit du foyer.

3.6.3.2 L'avion dans l'axe :

Le signal arrive avec la même phase en $d\Delta+$ et $d\Delta-$ $\implies E\Delta+ = E\Delta-$

$$E\Delta = (E\Delta+) - (E\Delta-) = 0$$

3.6.3.3 L'avion à droite de l'axe :

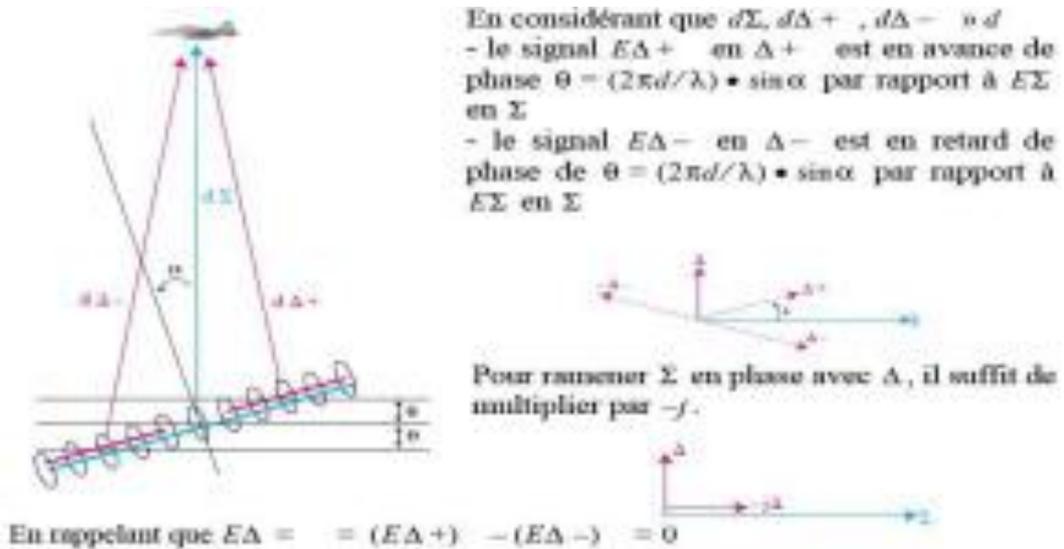


Figure III.24:écartométrie si l'avion est à droite de l'axe

3.6.3.4 L'avion à gauche de l'axe :

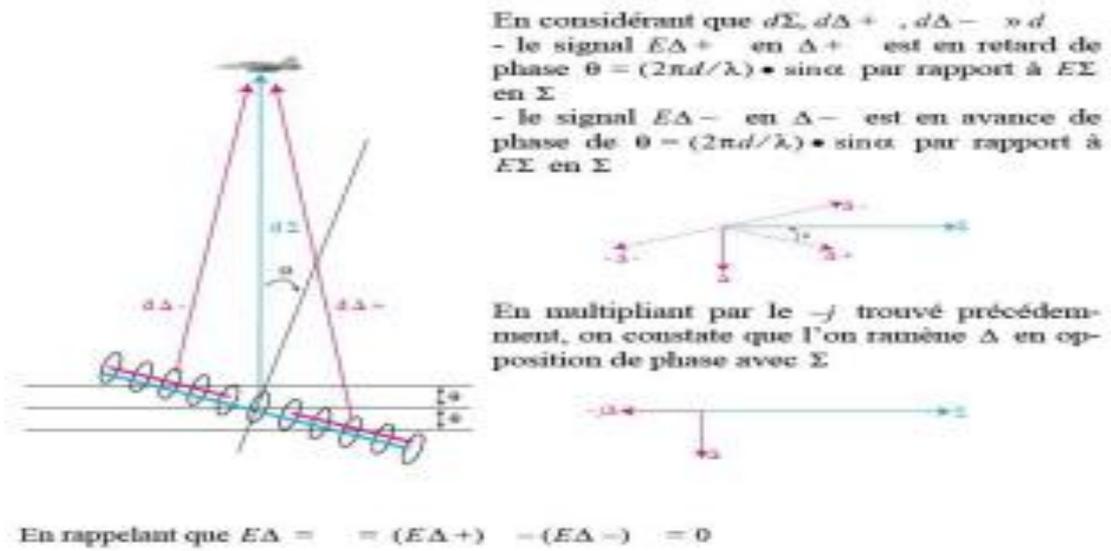


Figure III.25: l'avion à gauche de l'axe

CHAPITRE 04 :

AMELIORATION DE SURVEILLANCE

SSR MODE S

4.1. Le radar secondaire Mode S :

Le radar secondaire de surveillance (SSR) mode S a fait l'objet d'une normalisation dans l'Annexe 10 de l'OACI en 1985. Le mode S offre une capacité de liaison de données qui pourra être mise à profit seulement quand les normes sur le sous-réseau mode S seront complétées par des informations sur les applications qui exploiteront cette liaison de données.

4.1.1. Pourquoi le mode S?

Dans le radar secondaire de surveillance classique, les aéronefs sont identifiés par le mode A d'interrogation. Le code est assigné dynamiquement à un appareil par le contrôleur et 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 4 096 codes disponibles 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 confusion potentielle entre l'appareil et les services au sol qui peut mener à des accidents si deux avions ont le même numéro d'identification.

Le mode S :

- **S** pour **S**électif pour interrogation unique (en anglais : Selective Unique Interrogation). Il permet une adresse unique de 24-bits attribuée par l'autorité nationale de l'aviation ;
- Il augmente la qualité des données en utilisant une bit de parité dans les mots informatiques ;
- Il augmente la précision de la donnée d'altitude à 25 pieds (8 mètres) au lieu de 100 pieds antérieurement.

Les identificateurs commencent par une séquence de bits reliés à l'autorité locale émettrice et qui sera suivie d'une série unique de bits pour chaque appareil. Le nombre de bits dans cet entête régional varie d'un pays à l'autre.

L'identification d'un aéronef dans le mode S des radars secondaires de surveillance est l'une des codes de 24 bits, sur les 16 777 214 possibles, qui sera attribué par l'OACI ou l'autorité régionale aérienne compétente.

4.1.2. Les mécanismes d'interrogation du radar mode S :

Il contient toutes les fonctions du radar SSR classique. Il permet également une interrogation sélective des cibles grâce à l'utilisation des adresses uniques des aéronefs codées sur 24 bits. Ainsi qu'une liaison de données bidirectionnelle permettant l'échange des données Air/Sol et Sol/Air.

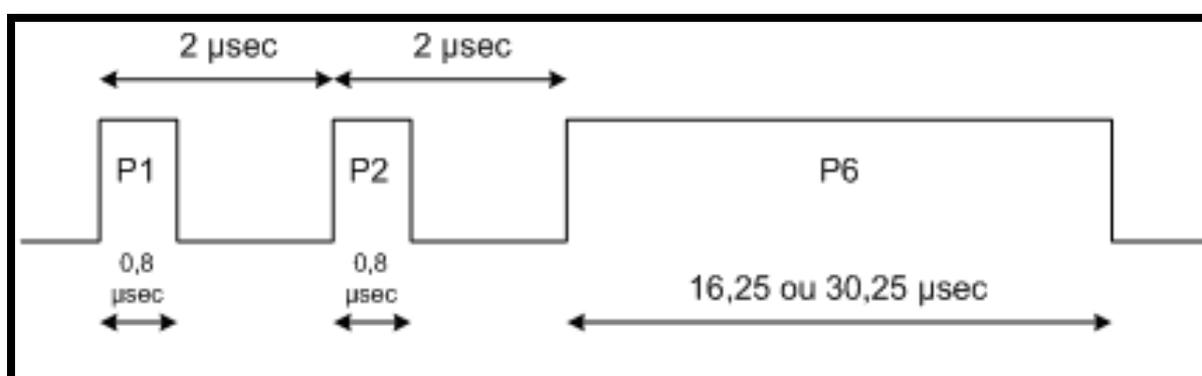


Figure IV.26:structure de l'interrogation mode S

Le Radar Mode S est un système de Surveillance enrichie qui possède les caractéristiques suivantes :

- La capacité d'utiliser un adressage sélectif pour chaque avion d'où la résolution des problèmes de chevauchements de réponses qui peuvent se produire dans les régions à forte densité de trafic.
- Le codage de données d'altitude à pas de 25 pieds améliore l'aptitude des systèmes au sol à surveiller et à prévoir le mouvement des aéronefs dans le plan vertical.
- Le potentiel de liaison de données permet également au système au sol d'acquies automatiquement certaines données à bord qui améliorent la poursuite des aéronefs

Le Mode S a été développé de manière à permettre une transition "douce", et il existe donc une compatibilité entre les modes. C'est à dire qu'une station Mode S peut traiter les

transpondeurs classiques, et une station classique peut interroger les transpondeurs Mode S (qui répondent alors en modes classiques).

Le radar mode S utilise deux types d'interrogation :

- L'appel général « All Call »
- Les appels sélectifs « Roll Call »

L'appel général All Call :

L'appel général est envoyé vers tous les aéronefs en même temps. Il sert à deux choses :

❖ Prendre connaissance des transpondeurs mode S entrant dans la couverture du radar :

- Calcul de la position en distance azimut
- Demande de l'adresse mode S

❖ Faire la surveillance (élémentaire) des transpondeurs non-mode S :

- Calcul de la position en distance azimut
- Demande du mode A ou du mode C

L'appel sélectif Roll Call :

L'appel sélectif est envoyé vers un seul aéronef équipé mode S, à la fois. L'aéronef est sélectionné grâce à son adresse mode S.

L'appel sélectif sert à :

❖ Dans le cas de la surveillance élémentaire :

- Calculer la position en distance et azimut
- Demander le code A ou C

❖ Dans le cas de la surveillance enrichie :

- Calculer la position en distance et azimut
- Demander le code A ou C

Agencement des appels généraux et sélectifs :

Le but du mode S est de pouvoir interroger sélectivement chaque aéronef équipé. Pour interroger sélectivement un transpondeur, le radar doit connaître :

- sa position supposée en distance et azimut
- son adresse mode S

Si le transpondeur a déjà été interrogé lors des tours précédant d'antenne, on peut calculer sa position au prochain tour et on connaît son adresse.

Dans le cas où le transpondeur entre juste dans la couverture, on ne sait pas où le situer et quelle est son adresse. On ne peut donc pas l'interroger sélectivement, sans passer par une étape préliminaire. On le situe et prend connaissance de son adresse, grâce à l'appel général « All Call ».

Une fois le transpondeur connu par le radar, il peut être interrogé en Roll Call. Ensuite, l'idéal est que ce transpondeur ne réponde qu'aux appels sélectifs et non aux appels généraux, afin de réduire sa charge.

4.1.3. Le verrouillage (lockout) :

On cherche à diminuer la charge du transpondeur.

Une fois le transpondeur connu du radar, il n'est plus nécessaire de l'interroger en All Call.

 Verrouillage :

Un ordre de verrouillage est envoyé dans les interrogations Roll Call destinées au transpondeur. L'ordre de verrouillage est rattaché au code identificateur SI ou II du radar qui l'a envoyé. Ainsi, le transpondeur ne répondra, à un radar ayant ce code, qu'en Roll Call.

 Nombre d'interrogations par tour d'antenne :

L'utilisation de la technique monopulse, l'identification formelle des réponses et la correction des erreurs sur les trames, permettent de traiter un avion à l'aide d'une seule réponse par tour d'antenne, en Roll Call et surveillance élémentaire.

En All Call, plus d'interrogations sont nécessaires, du fait que l'on a à traiter les transpondeurs non-mode S. Ces derniers nécessitent au moins 4 réponses.

Ceci permet de se prémunir au maximum des problèmes de sur-interrogation et de fruit.

4.2. Les interrogations :

4.2.1 Les interrogations ALL-CALL :

		Reponses				
		Transpondeur secondaire	Transpondeur Mode S	Fonctions	Remarques	
interrogations	Finder secondaires		Code A/C	Code A/C	Fonctions secondaires	Le transpondeur Mode S doit remplir les fonctions secondaires.
	Radar Mode S		Code A/C	Pas de réponse	Compatibilité secondaire	L'acquisition des transpondeurs mode S se fait par appels généraux mode S
			Code A/C	Adresse mode S	<ul style="list-style-type: none"> Compatibilité secondaire Acquisition des transpondeurs Mode S 	
			Pas de réponse	Réponse mode S si adresse reconnue	Surveillance communication Mode S	

Structure des signaux selon le type de RADAR

Figure V.I27:structure des signaux selon le type du radar secondaire

4.2.2 Les interrogations ROLL-CALL :

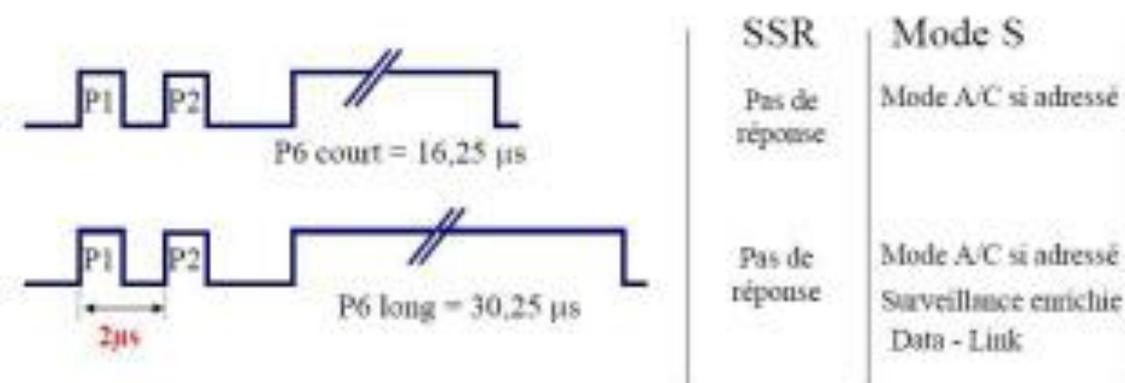


Figure IV.28:interrogation roll-call

Pendant les périodes Roll Call, on peut faire de la surveillance élémentaire, enrichie

ou échanger des données (data-Link).

Le transpondeur mode S est utilisé par d'autres systèmes que le radar. C'est le cas de L'ADS et du TCAS. Les échanges de données, utilisées par ces systèmes, ressemblent à ceux du radar.

On a donc défini des formats en relation avec l'application qui les utilise et le type d'échange de données.

Les interrogations sont appelées des UF (Up Format). Elles sont toujours modulées sur 1030 MHz.

Les réponses sont des DF (Down Format). Elles sont toujours modulées sur 1090 MHz.

4.2.3. Réponse Mode S :

Fréquence transpondeurs : 1090 Mhz \pm 3 Mhz

La PPM est une modulation d'amplitude dans laquelle on change de niveau émission au milieu du bit:

1 => Haut première moitié du bit Bas Deuxième moitié

0 => Bas première moitié du bit Haut Deuxième moitié

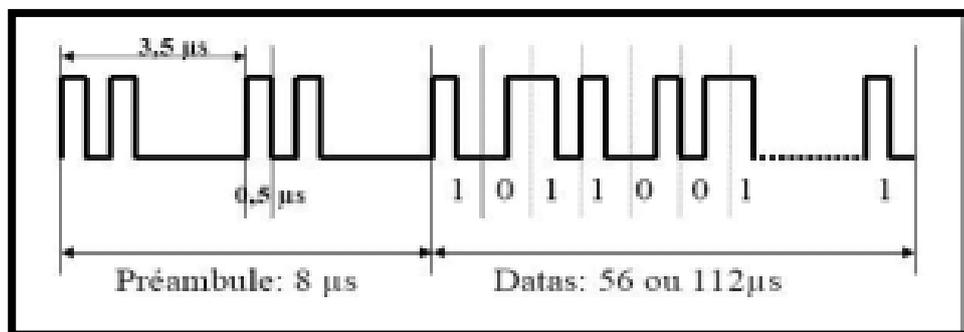


Figure IV.29:structure de réponse mode s

Le temps de retard du transpondeur doit être de 128 μ s à compter de la Première inversion .

Après la fin de la réponse le transpondeur devra être capable de répondre à une autre interrogation après 125 μ s.

4.2.4. Fréquence de répétition et durées :

4.2.4.1. Périodes All Call :

La durée de ces périodes dépend de la portée du radar et de la fréquence de répétition souhaitées. La fréquence de répétition dépendant elle-même de la vitesse de rotation de l'antenne et du nombre de coup au but souhaité. Cela s'apparente aux périodes d'interrogation mode A et mode C des radars non-mode S. Toutes les périodes All Call ont la même durée.

4.2.4.2 Périodes Roll Call :

Lors de celles-ci, le radar interroge individuellement chaque avion situé dans le lobe principal de l'antenne. Pour un bon fonctionnement, la durée du Roll Call doit être d'au moins 1,8 fois la durée d'un Roll Call. Toutes les périodes Roll Call du schéma d'interrogation ont la même durée.

Fréquence de répétition (IRF Interrogation Repetition Frequency)

La fréquence de répétition correspond au nombre de All Call par seconde. Seules les périodes All Call contiennent un nombre d'interrogation constant, c'est à dire une.

$IRF = \text{nombre de All Call} / \text{durée totale du schéma d'interrogation}$

4.3. ADS (automatique dépendent surveillance) :

4.3.1. Introduction :

Automatic Dépendent Surveillance - est une technologie de surveillance qui détermine la position d'un avion par satellite et l'émet périodiquement, ce qui permet de le suivre à tout moment. L'information peut être reçue par les stations au sol de contrôle de la circulation aérienne en remplacement du radar secondaire. Il peut également être reçu par d'autres appareils pour assurer une connaissance de la situation et permettre l'auto-séparation.

4.3.2. Le principe :

Un aéronef va transmettre spontanément et à intervalle régulier, son adresse, son identification, sa position, sa vitesse, son cap, etc. On distingue deux types:

- ADS-C: les messages sont transmis par liaison de données (Satellite ou VHF) dans le cadre d'un contrat entre l'avion et le centre de contrôle toutes les 15 à 30 mn (5 mn dans des situations particulières). Utilisé principalement en environnement océanique (Océan Pacifique, Atlantique Nord)
- ADS-B: les messages sont transmis en Broadcast vers tout utilisateur équipé d'un système de réception.

4.3.2.1. Principe ADS_B:

Le principe de l'ADS-B est de transmettre automatiquement (sans commande du pilote) différents paramètres, telles que l'identification de l'avion, sa position, sa route, sa vitesse (Dépendance vis à vis des autres senseurs de l'avion)..., pour des applications de Surveillance. Ces messages seront diffusés (Broadcast) vers des destinataires non désignés qui peuvent être d'autres aéronefs, des stations sol. Chaque avion diffuse des données avec une périodicité de (0,5 à 5 s).

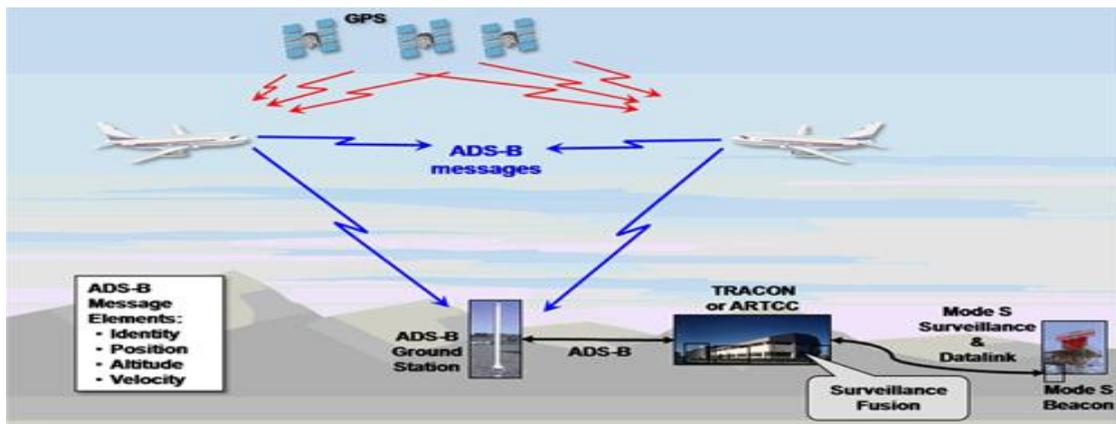


Figure IV.30 : fusion des données

On relève 3 technologies normalisées par l'OACI qui sont:

- **1090 Mhz Extended Squitter**

La liaison de données mode S squitter long ou 1090 est une extension du Mode S conventionnel utilisé, en particulier, par l'ACAS. Pour ce système, le transpondeur émet, toutes les secondes, un squitter d'acquisition ou squitter court contenant des informations de contrôle mode S, l'adresse 24 bits de l'aéronef, des bits de parité afin d'effectuer la surveillance de cet avion. Le principe du squitter long est de transmettre, sans stimulus extérieur, des messages d'une taille de 112 bits au lieu des 56 bits du squitter court.

Du fait de la faible taille de message disponible, différentes informations sont réparties au sein de plusieurs squitters long transmis avec des taux de rafraîchissement différents.

- **VDL mode 4 (bande VHF)**

La VDL mode 4 est un système basé sur le principe du STDMA (Self-organising Time Division Multiple Access) qui consiste à diviser la fréquence de communication en une multitude de créneaux, correspondant à une opportunité pour un utilisateur équipé d'émettre en fonction du nombre de fréquences disponibles. Un utilisateur peut émettre, de façon aléatoire dans des créneaux qu'il a réservés, par le biais d'un protocole spécifique sur chacune de ces fréquences. 75 créneaux sont disponibles, par seconde et par fréquence avec une taille de 256 bits.

- **La méthode d'accès**

La station émettrice écoute les canaux de signalisation SC (Signalling Channels) jusqu'à réception complète d'un « superframe » (jusqu'à une minute d'écoute). pendant cette phase d'écoute, la station émettrice (aéronef ou véhicule) identifie les slots réservés et réserve alors aléatoirement les slots et les canaux de communication disponibles ainsi que le temps de réservation (entre 3 et 8 minutes). en cas de surcharge une station peut utiliser des slots réservés par des stations éloignés.

4.3.2.2. Les fonctions ADS-B :

- Une fonction « Génération du message ADS-B » qui fusionne les données provenant des senseurs avion ou d'entrées pilote pour « rédiger » le message ADS-B.
 - La fonction « Emission/Réception » des messages
 - Un media de liaison de données assurant la diffusion des messages
 - Une fonction «Elaboration de rapports ADS-B » qui synthétise les messages réceptionnés pour utilisation dans le cadre de diverses applications.

4.3.2.3. Le Contenu du message ADS-B :

Le contenu des messages est défini par des documents OACI sont :

- **Adresse mode S** : 24 bits identifiant de façon unique l'émetteur (transpondeur)
- **Indicatif d'appel** : Indicatif d'appel correspond à l'identifiant avion pour les besoins de communications vocales (il s'agit souvent du numéro de vol).
- **Vecteur d'état** : les positions des avions ainsi que leurs vitesses.
- **Statut** (urgence/priorité).
- **Intention de l'avion** : (cela pourrait inclure le ou les prochain(s) point(s) où la trajectoire avion sera modifiée).
- **Indicateurs de qualité**: la qualité de l'information reçu par le contrôleur, on distingue quatre catégories:
 - NIC (Navigation Integrity Category).
 - NAC (Navigation Availability Category).
 - SIL (Surveillance Integrity Limit).

- NUC (Navigation Uncertainty Category).

4.3.2.4. Les applications de L'ADS_B :

Une telle application concerne principalement les zones avec un trafic peu dense et ne disposant pas d'installation radar (contrôle aux procédures). L'objectif est de permettre à l'ATC de visualiser le trafic grâce aux informations transmises via ADS-B.

L'ADS-B est l'un des systèmes susceptibles d'améliorer la sécurité aéroportuaire. Il suffit de doter les véhicules et les aéronefs d'un équipement ADS-B afin visualiser la position de tous les mobiles environnants. L'information ADS-B sera utilisée comme une donnée supplémentaire aux moyens de surveillance déjà existant (radar de surface).

4.3.3. ADS-C (Automatic Dependant Surveillance Contract) :

L'aéronef fournit des informations aux services ATS dans les cas suivants :

Contrat à la demande : L'aéronef fournit les informations sur demande du contrôleur aérien.

Contrat périodique : L'aéronef fournit des informations périodiquement

Contrat d'événement : L'aéronef fournit des informations lorsque certains événements sont détectés plus particulièrement : SITE ENNA

- a) Changement d'un point de cheminement ;
- b) Ecart par rapport à la gamme de niveau ;
- c) Changement d'écart latéral.

4.3.3.1. les alarmes liées a l'ADS_C_ :

Le système algérien automatique du contrôle du trafic arien (SAACTA), en outre, pour visualiser les données ADS. La fonction liaison de données intégrée au système SAACTA permet :

- La gestion de la connexion ADS ;
- La gestion des contrats ADS ;

La gestion des pistes ADS.

L'ADS offre, en outre les possibilités du filet de sauvegarde suivantes (site Enna)

4.3.4. Capacité d'alerte ADS :

DAIW : Danger Area Infringement Warning qui permet au contrôleur aérien de surveiller l'évolution de l'aéronef et d'alerter le contrôleur aérien en cas d'intrusion dans une zone réglementée. [Site Enna]

4.3.5. Capacité intégrée piste ADS/plan de vol :

ARCW: ADS Report Conformance Warning Checking, permet de surveiller la conformité de la route du plan de vol avec la route programmée à bord de l'aéronef, transmise dans le groupe route prévu du message ADS.

RAM : Route Adhérence Monitoring, surveillance de la route du plan de vol. [Site Enna]

Chapitre 05 :

Mise en œuvre de mode S

5. Mise en œuvre mode S :

5.1. Les limite du SSR :

- Un trop grand nombre d'aéronefs
- Un trop grand nombre de radars (Surtout dans certaines zones frontières), qui induisent beaucoup de réponses.
- Possibilité de non-réponse due à la grande portée (et pas toujours utile) des radars qui va obliger à répondre puis bloquer le transpondeur (jusqu'à 125 μ s)
- Le nombre de 4096 modes A possibles devient insuffisant dans des zones à fort trafic. A chaque plan de vol, est attribué un code A.
- Le codage du mode C ne permet de définir le niveau de vol que tous les 100 pieds.
- Capacité de traitement de la station limité à 500 avions par tour d'antenne.

5.2. Problèmes du SSR :

5.2.1. Les réponses sur lobes secondaires (Un trop grand nombre d'aéronefs) :

Un avion proche, dans l'axe d'un lobe secondaire va recevoir l'interrogation.

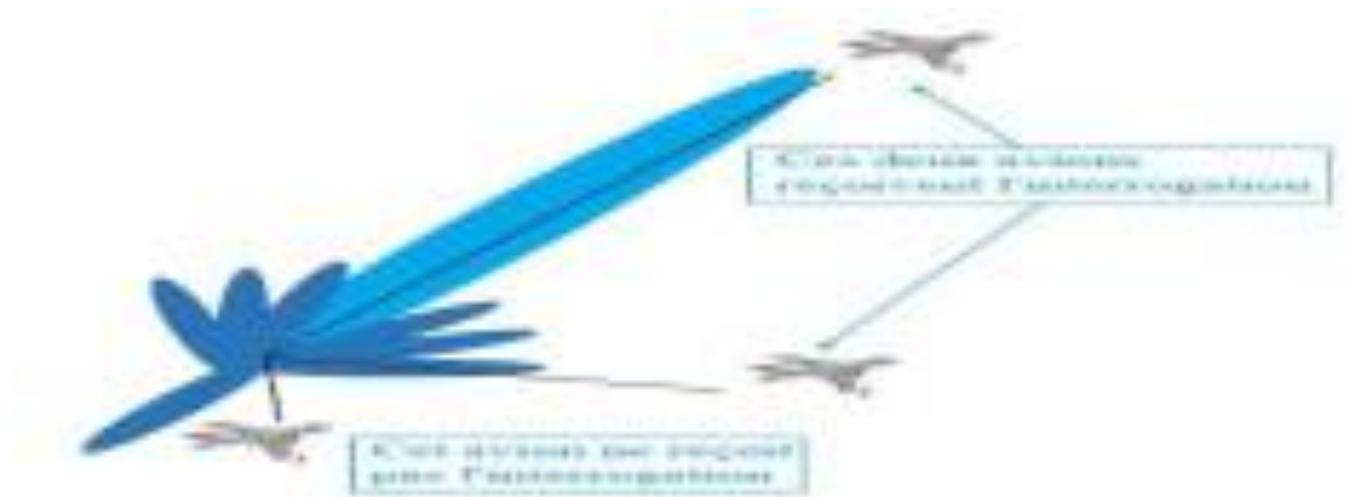


Figure VI.31:lobes secondaires

- La présence des lobes secondaires est quelque chose de naturel dans le cas d'antennes fortement directives.
- Une imperfection de géométrie d'antenne ne fera qu'accentuer le problème.
- La réception d'une réponse sur un lobe secondaire constitue, pour le radar, une information erronée sur la position de la cible.
- Les réponses reçues, sur les lobes secondaires, sont beaucoup plus faibles que celles reçues sur le lobe principal.

5.2.2. Le fruit :

(False Replies Unsynchronised with Interrogator Transmission) ou réponses asynchrones.

Une réponse, destinée à une station radar, est renvoyé par l'aéronef de manière quasi omnidirectionnelle. Celle-ci peut être captée par une autre station radar, si l'aéronef se situe dans le lobe principal de son antenne à ce moment là. La réponse ne peut pas être utilisée par cette autre station, par manque de référence de temps. Elle lui est donc inutile et constitue un « fruit ». Ce dernier peut être gênant si les deux stations interrogent avec la même période de répétition.

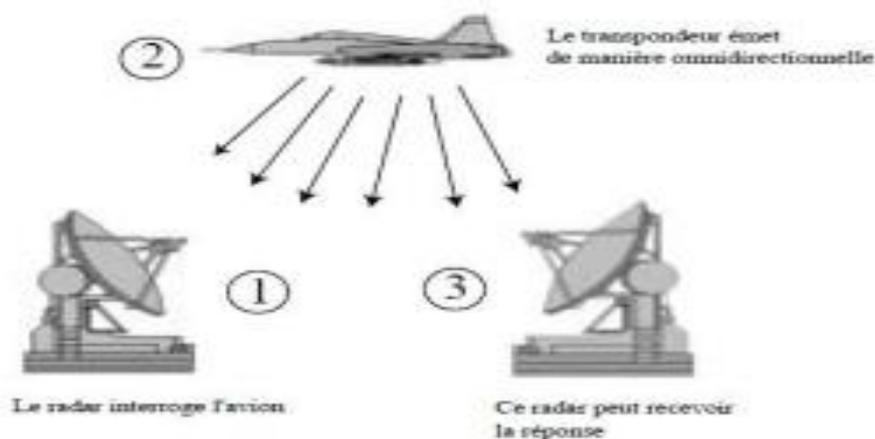


Figure VI.32 :fruit

En radar secondaire les fréquences d'interrogation (1030 Mhz) et de réponse (1090Mhz) sont identiques (Normes OACI). Le Radar 3 va recevoir et décoder les réponses du transpondeur 2 aux interrogations du radar 1.

5.2.3. Le Garbling

C'est l'enchevêtrement des réponses.

L'avion A et l'avion B se trouvent en même temps dans le lobe principal de l'antenne, à la même distance de celle-ci. Ils reçoivent donc en même temps l'interrogation du radar.

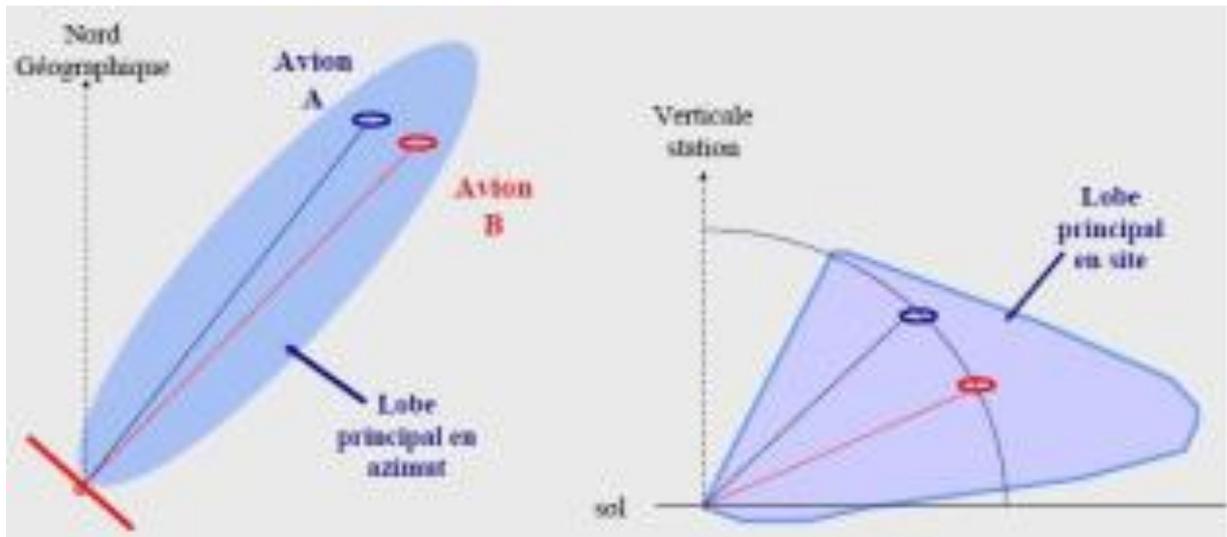


Figure VI.33:Garbling

Les réponses de A et B reviennent donc, au même moment, à l'entrée du récepteur du radar.

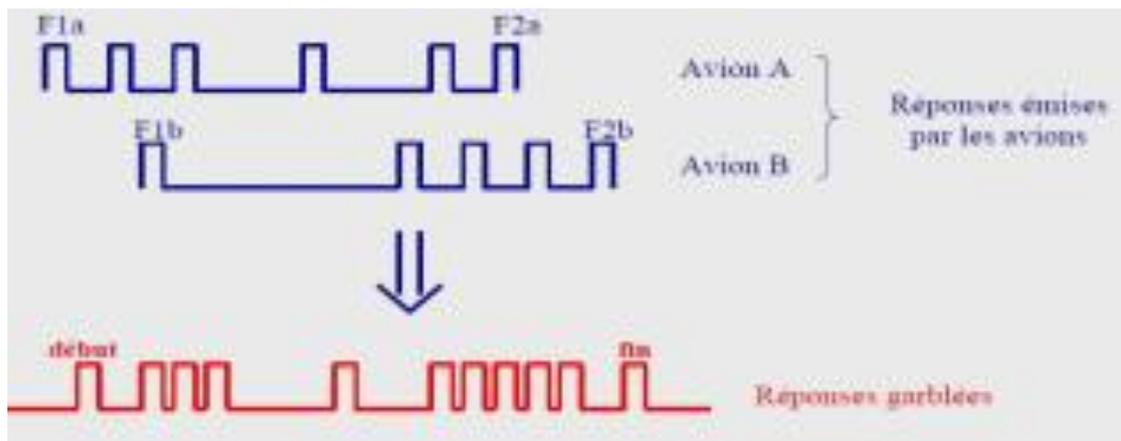


Figure VI.34:réponse garblées

Les réponses A et B reviennent enchevêtrées au récepteur du radar. Suivant les cas, il ne sera pas simple de distinguer quelle impulsion appartient à quelle réponse. Dans ce cas, il arrive fréquemment que les codes extraits soient faux ou invalides.

La longueur des réponses, n'est pas négligeable en équivalent temps distance. 20,3µs correspond à une distance d'environ 3 km (ou un peu moins de 2 Nm). L'enchevêtrement va donc se produire pour une différence de distance, entre A et B, de 3 km et en-dessous.

A cette échelle de distance, les réponses des deux avions peuvent rester garblées sur un ou plusieurs tours d'antenne.

Les conséquences du garbling peuvent se manifester à plusieurs niveaux, si le radar n'arrive pas à extraire correctement les codes. Dans ce cas, les codes extraits sont faux.

Le code C est affecté plus vite que le code A.

Piste mono radar :

- Les codes A et C, déportés et ensuite affichés à l'écran du contrôleur, pourront être faux.

Piste multi radar :

- Si les différents radars, qui détectent les avions garblés, n'extraient pas les mêmes codes, il peut y avoir dédoublement des pistes. Si les codes A et C sont différents d'un radar à l'autre, le système associe les plots qu'il reçoit à plusieurs pistes au lieu d'une piste corrélée :
- Dans le cas où le code A extrait et attribué à la piste est faux, il y a perte de corrélation avec le plan de vol.
- En principe, les systèmes multiradar sont mieux armés contre le garbling, puisqu'il peut toujours y avoir un des radars qui aura pu fournir les bons codes avec une bonne qualité.

5.2.4. Les réflexions :

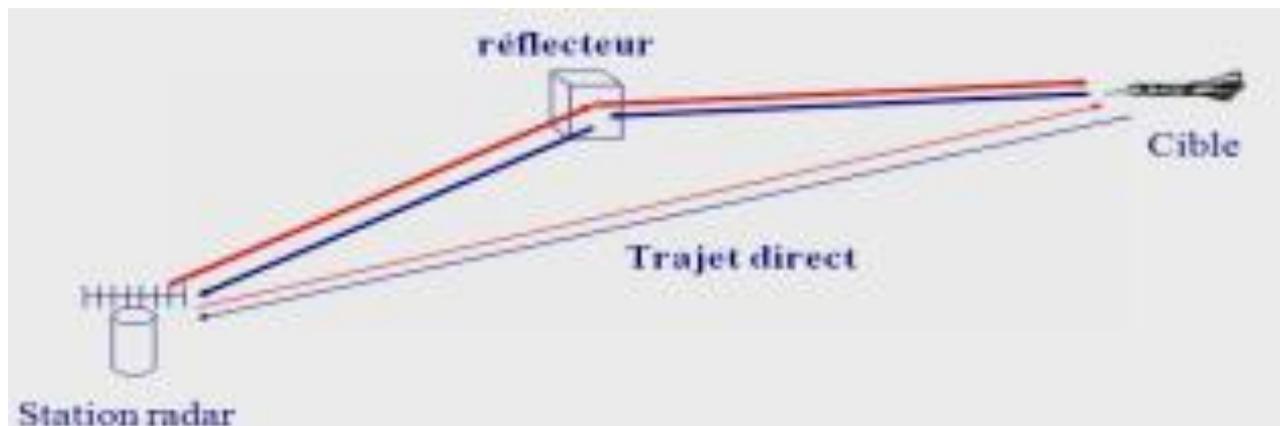


Figure VI.35:les réflecteurs

- Les signaux détectés par l'intermédiaire d'un réflecteur, donnent des mesures fausses en azimut et en distance.
- Le niveau du signal réfléchi est en général plus faible que le signal direct.
- La cible, vue par l'intermédiaire du réflecteur, est plus éloignée que celle vue en trajet direct.
- Les réflecteurs produisent, à partir d'une cible vraie, une deuxième cible qu'il faut éliminer.

5.3. Pourquoi le mode S?

Dans le radar secondaire de surveillance classique, les aéronefs sont identifiés par le mode A d'interrogation. Le code est assigné dynamiquement à un appareil par le contrôleur et 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 4 096 codes disponibles 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 confusion potentielle entre l'appareil et les services au sol qui peut mener à des accidents si deux avions ont le même numéro d'identification.

Rester compatible avec les modes A/C des Radars Secondaires Un radar mode S peut dialoguer avec un transpondeur non-mode S avec un transpondeur mode S peut en faire autant avec une station non-mode S.

Le transpondeur mode S est utilisé par d'autres systèmes que le radar. C'est le cas de l'ADS et du TCAS. Les échanges de données, utilisées par ces systèmes, ressemblent à ceux du radar. on peut calculer sa position au prochain tour et on connaît son adresse.

Dans le cas où le transpondeur entre juste dans la couverture, on ne sait pas où le situer et quelle est son adresse. On ne peut donc pas l'interroger sélectivement, sans passer par une étape préliminaire.

Pouvoir interroger sélectivement chaque aéronef équipé.

Pour interroger sélectivement un transpondeur, le radar doit connaître :

- sa position supposée en distance et azimut
- son adresse mode S Si le transpondeur a déjà été interrogée lors des tours précédant d'antenne.

5.4. Mise en œuvre de mode S :

5.4.1. évolution des installations au sol :

5.4.1.1. Conversion au système monopulse :

La mise en œuvre de stations sol monopulse peut apporter des avantages très appréciables dans les régions où il est nécessaire d'améliorer les performances du système. La conversion des installations au sol au système monopulse n'entraîne aucune modification des transpondeurs embarqués. Elle exige par contre une antenne monopulse ou une adaptation de l'antenne existante, un récepteur à deux canaux et un processeur spécial. [1].

5.4.1.2. Addition des caractéristiques modes S :

Les principales fonctions à ajouter pour convertir une station sol monopulse en une station mode S sont la gestion des canaux, le traitement de la surveillance mode S et, s'il y a lieu, le traitement sur liaison de données et la gestion de réseau. La décision d'ajouter ces fonctions peut être prise, par exemple, lorsque les performances de surveillance à l'aide du seul système

monopulse deviennent insuffisantes ou lorsqu'on estime souhaitable de tirer profit des possibilités supplémentaires offertes par la liaison de données mode S. Outre qu'il améliore les performances de surveillance, le système mode S de base permet aux autorités ATS de fournir, tout en en profitant elles-mêmes, un service supplémentaire grâce à l'utilisation des possibilités des services spécifiques mode S. On peut encore améliorer le système mode S en augmentant ses capacités de liaison de données pour permettre la pleine exploitation du sous-réseau. Les avantages de la surveillance et des communications mode S augmenteront bien entendu à mesure que la proportion des aéronefs dotés du mode S augmentera.

5.4.1.3. Spécification d'antenne :

5.4.1.3.1. Antenne tournante :

Pour le traitement monopulse des aéronefs modes A/C, au minimum quatre intervalles d'interrogation et de réponse intermodes doivent être ordonnancés à l'intérieur du faisceau de l'antenne. La largeur de faisceau de l'antenne et sa vitesse de rotation déterminent la fréquence de répétition des interrogations (IRF) intermodes et par conséquent le temps de canal nécessaire pour le fonctionnement en modes A/C. La largeur du faisceau de l'antenne et sa vitesse de rotation déterminent aussi le temps d'éclairement de la cible, c'est-à-dire le temps pendant lequel un aéronef est éclairé par le faisceau principal et, par conséquent, le laps de temps pendant lequel une activité mode S peut avoir lieu au cours d'un balayage donné. Ces deux considérations montrent qu'il faut éviter les antennes à faisceau extrêmement étroit. On a constaté qu'une largeur de faisceau d'antenne d'environ 2,4E constitue un compromis raisonnable entre la précision de la mesure d'azimut et le fonctionnement en mode S.

5.4.1.3.2. Antenne à balayage électronique :

Lorsqu'il aura été confirmé qu'une antenne à balayage électronique (E-scan) est utilisable en exploitation, ce type d'antenne, capable de pointer instantanément et de manière aléatoire dans n'importe quelle direction devrait beaucoup favoriser le fonctionnement en mode S.

- **Capacité de liaison de données.**

La capacité effective de liaison de données d'une antenne à faisceau tournant est limitée par le fait que les aéronefs sont rarement répartis uniformément en azimut mais se rassemblent au contraire dans des secteurs d'azimut à forte densité. Ces rassemblements peuvent être de 4 pour 1 en certains endroits, c'est-à-dire que la plupart des aéronefs se trouvent à l'intérieur d'un

secteur d'azimut de 90E. Cela signifie que la majeure partie du temps de canal mode S disponible reste inutilisée. Une antenne E-scan peut augmenter la capacité effective de la liaison de données en utilisant la totalité du temps mode S disponible. En outre, le service de liaison de données destiné à un aéronef particulier ne sera plus limité au temps d'éclairement de la cible.

- **Délai de remise sur liaison de données.**

Le délai de remise intrinsèque d'une antenne à faisceau tournant est déterminé par le temps de balayage. Il faut tenir compte de cette caractéristique pour certaines fonctions de liaison de données, par exemple les commandes de manœuvre tactique. Pour une antenne à balayage électronique, le délai de remise sur la liaison montante peut-être ramené à une petite fraction de seconde. Cette amélioration ne s'applique aux transferts sur liaison descendante qu'après détection de l'annonce.

- **Taux de surveillance variable.**

Certaines fonctions, par exemple le contrôle des approches sur pistes parallèles très rapprochées, peuvent exiger une cadence de mise à jour de la surveillance supérieure à celle qui suffit aux activités ATC normales. Une antenne E-scan peut assurer une cadence de base pour tous les aéronefs situés à l'intérieur de sa couverture, plus une cadence supérieure pour des aéronefs choisis, selon les besoins opérationnels.

- **Cycle de fonctionnement de l'émetteur.**

Étant donné que les aéronefs mode S peuvent être contactés à tout instant par un interrogateur muni d'une antenne E-scan, la charge de la liaison de données mode S peut être répartie uniformément sur une période de balayage, ce qui réduit de manière appréciable le cycle de fonctionnement de l'émetteur pour une charge donnée de la liaison.

5.4.2. Technique de mise en œuvre des stations sol :

Les éléments qui constituent la présente section décrivent une méthode de mise en œuvre d'une station mode S de grande capacité, mais il convient de noter que d'autres méthodes sont possibles.

5.4.2.1. Traitement des réponses mode S :

Les réponses mode S sont détectées sur la base du préambule à quatre impulsions qui précède le bloc de données de réponse. Le détecteur de préambule fournit une estimation précise de l'heure d'arrivée pour le repérage des aéronefs et pour la synchronisation du traitement des bits de message et du décodage des réponses.

Pour les réponses aux interrogations «appel parliste», la gestion des canaux fournit au détecteur de préambule une estimation du temps de réponse prévu et une fenêtre d'incertitude. Une réponse n'est acceptée que si son préambule est détecté à l'intérieur de cette fenêtre. Étant donné que le processeur de réponses ne peut pas commencer à décoder une nouvelle réponse s'il est encore en train d'en décoder une précédente, l'utilisation de cette fenêtre réduit dans une très large mesure la probabilité que le décodeur de réponses manque la réponse désirée à cause du fruit mode S. Il faut choisir soigneusement les conditions de détection du préambule. Si ces conditions de détection ne sont pas assez strictes, les fausses alarmes de préambule de réponse entraîneront une perte de temps de canal. Si les conditions de détection sont trop strictes, des préambules seront manqués, ce qui entraînera une réduction de la probabilité de réponse.

5.4.2.2. Gestion des canaux :

La fonction de gestion des canaux régularise toute l'activité sur les canaux RF par contrôle du modulateur émetteur et des processeurs de réponses modes A/C et mode S. Son rôle principal consiste à ordonnancer les interrogations inter modes et mode S.

Pour la surveillance des aéronefs dotés des modes A/C comme des aéronefs dotés du mode S avec le minimum de brouillage mutuel, les canaux RF sont exploités en temps partagé entre les activités appel général et les activités appel par liste.

5.4.2.3. Ordonnancement appel général modes A/C et mode S :

Les interrogations appel général modes A/C et mode S sont ordonnancées au commencement d'une période modes A/C déterminée par un signal d'adaptation de site qui définit la ligne de temps de la station sol. Pour réduire l'incidence du fruit et des échos de deuxième récurrence, on doit soumettre ces interrogations à une variation pseudo aléatoire par rapport au temps d'interrogation nominal.

À la suite de chaque interrogation modes A/C la station sol traite les réponses modes A/C pendant un intervalle correspondant à la plage maximale de couverture désirée pour l'azimut d'antenne correspondant. Lorsque la plage de couverture désirée est courte, le début de l'intervalle mode S suivant peut être retardé de manière que la réception des réponses émanant des cibles modes A/C à plus grande distance ne brouille pas les réponses appel par liste dans l'intervalle d'appel par liste suivant. L'utilisation de la puissance d'interrogation adaptative pour limiter les réponses à la portée opérationnelle requise réduit la nécessité de retarder l'intervalle mode S suivant, ainsi que les risques de brouillage inutile sur le canal.

Afin d'économiser le temps de canal, on accomplit l'acquisition appel général mode S aussi pendant la période d'écoute modes A/C. Des réponses émanant des aéronefs mode S et modes A/C qui ne sont pas encore acquis peuvent être déclenchées de l'une des deux manières suivantes:

- au moyen de l'interrogation appel général mode A, C ou S; ou
- au moyen d'une interrogation appel général mode S seulement, suivie d'une interrogation appel général modes A/C seulement.

5.4.2.4. Principes d'ordonnement des appels par liste mode S :

L'ordonnement des interrogations et des réponses appel par liste mode S a lieu selon les principes suivants:

- les interrogations mode S ne sont adressées qu'aux aéronefs qui se trouvent à l'intérieur du faisceau de l'antenne;
- le temps de canal est attribué à chaque interrogation et réponse mode S sur la base d'une prédiction de la distance des aéronefs;
- la station sol est capable d'interroger un aéronef plus d'une fois pendant qu'il reste dans le faisceau.

La station sol maintient une liste des cibles actives, comprenant les aéronefs mode S qui se trouvent à l'intérieur du faisceau de l'antenne, et elle effectue des passages répétés dans cette liste, ordonnant ainsi les interrogations et réponses mode S à adresse discrète de manière à éviter les conflits. Un aéronef isolé peut faire partie d'une ou plusieurs des ordonnances résultant d'interrogations et de réponses, de sorte que des tâches multiples de

surveillance et de communication peuvent être exécutées. En cas de non réception d'une réponse, les possibilités d'ordonnement répété des interrogations dirigées vers un aéronef assurent une fiabilité globale élevée de surveillance et de communication.

5.4.2.5. Traitement de la surveillance :

Le traitement de la surveillance tient des fichiers de cibles sur tous les aéronefs modes A/C et mode S qui se trouvent dans le volume de couverture de la station sol. Ses fonctions principales sont les suivantes:

- choisir la réponse mode S à utiliser pour le traitement de la surveillance si plusieurs réponses sont disponibles;
- éditer et corriger les «échos» modes A/C d'après les données obtenues des balayages précédents;
- prévoir pour le balayage suivant la position des aéronefs mode S afin d'ordonner les interrogations;
- diffuser les données de surveillance aux usagers du contrôle de la circulation aérienne.

5.4.2.6. Gestion de réseau :

La gestion de réseau assure la continuité de la surveillance et les services de liaison de données lorsqu'il y a chevauchement des zones de couverture de stations sol voisines. Lorsqu'elles fonctionnent en réseau, les stations sol mode S échangent des données de surveillance pour se transférer mutuellement les cibles et pour maintenir la continuité de la surveillance et la réacquisition rapide des cibles en cas d'interruption temporaire de la liaison. Cette coordination multiradar est dirigée par la fonction de gestion de réseau, selon la carte de couverture des stations sol.

L'étendue et le type de la couverture que doit assurer chaque station sol sont contrôlés par un fichier de données appelé carte de couverture de la station. D'une manière générale, cette carte définit deux limites principales:

- distance maximale à laquelle la station sol doit se trouver pour effectuer le verrouillage appel général en vue de fournir une couverture de surveillance;
- zone dans laquelle la station sol doit fournir une couverture de liaison de données.

5.5. Télécommunication en mode S :

5.5.1. Définitions :

Comm-A. Interrogation de 112 bits contenant le champ de message MA de 56 bits. Ce champ est utilisé dans les communications montantes par les protocoles de message de longueur standard (SLM) et les protocoles de diffusion.

Comm-B. Réponse de 112 bits contenant le champ de message MB de 56 bits. Ce champ est utilisé dans les communications descendantes par les protocoles SLM, les protocoles déclenchés au sol et les protocoles de diffusion.

Comm-B déclenché au sol (GICB). Protocole permettant à l'interrogateur d'extraire les réponses Comm-B émises par une source donnée et contenant des données dans le champ MB.

Comm-C. Interrogation de 112 bits contenant le champ MC de 80 bits. Ce champ est utilisé dans les communications montantes par le protocole de message étendu (ELM).

Comm-D. Interrogation de 112 bits contenant le champ MD de 80 bits. Ce champ est utilisé dans les communications descendantes par le protocole ELM.

Processeur de liaison de données embarqué (ADLP). Processeur embarqué correspondant à une liaison de données air-sol déterminée (par exemple, mode S). Il permet de gérer les canaux ainsi que de segmenter et de réassembler les messages pour le transfert. Il est relié, à une extrémité, aux éléments d'aéronef communs à tous les systèmes de liaison de données et, à l'autre, à la liaison air-sol elle-même.

5.5.2. Services spécifique mode S :

Les services spécifiques mode S sont des services de liaison de données accessibles par une interface spécialisée avec le sous-réseau mode S. Au sol, le réseau de télécommunications aéronautiques (ATN) permet aussi d'accéder à ces services. Étant donné qu'ils fonctionnent avec un minimum d'informations supplémentaires et de retard et qu'ils exploitent efficacement la liaison de données, ils sont particulièrement bien adaptés aux applications ATS.

Il existe trois catégories de services :

a) *Protocole Comm-B déclenché au sol (GICB) :*

Protocole permettant à l'interrogateur d'extraire les réponses Comm-B émises par une source donnée et contenant des données dans le champ MB.

Pour ce service, des données définies, disponibles à bord de l'aéronef, sont chargées à intervalles déterminés dans l'un des 255 registres de 56 bits du transpondeur mode S par un processus serveur de données, par exemple le système anticollision embarqué (ACAS) ou le processeur de liaison de données embarqué (ADLP). Un interrogateur sol mode S ou une unité ACAS peut extraire les données de ces registres en tout temps et les transférer pour retransmission à une application au sol ou embarquée.

b) *Protocoles spécifiques mode S (MSP).*

Protocole qui fournit un service de datagramme restreint à l'intérieur du sous-réseau mode S.

Ce service utilise un ou plusieurs des 63 canaux montants et descendants qui lui sont réservés. Il permet au processeur de liaison de données sol (GDLP) et à l'ADLP d'échanger des données sous forme de paquets MSP courts ou longs.

c) *Protocole de diffusion mode S.*

Procédures permettant à plusieurs transpondeurs ou interrogateurs au sol de recevoir respectivement des messages de longueur standard montante et descendante.

Ce service permet au sol de transmettre à tous les aéronefs un volume limité de données. Dans le sens descendant, la présence d'un message de diffusion est signalée par le transpondeur, et ce message peut être extrait par les systèmes mode S dont la zone de couverture englobe l'aéronef. Le premier multiplet des messages comprend un identificateur permettant de déterminer le type et le format des données.

Dans le cas d'un message de diffusion montant, l'application embarquée ne peut déterminer la source de l'interrogation autrement qu'à partir du code de l'identificateur d'interrogateur (II) ou de l'identificateur de surveillance (SI). S'il y a lieu, cette source doit être identifiée dans le champ de données. Par contre, dans le sens descendant, la source est toujours connue, grâce à l'adresse de l'aéronef.

5.6. Problèmes avec les transpondeurs en mode S :

Le principal problème avec les transpondeurs en mode S est que les pilotes ont parfois tendance à entrer de mauvaises immatriculations dans leurs transpondeurs. Dans ce cas, les performances de l'ACAS II et du radar secondaire de surveillance peuvent être dégradées.

Conclusion

Dans ce document, nous avons pu étudier brièvement les principaux outils de surveillances utilisés dans l'aéronautique civile. D'autres systèmes existent et mériteront quelques explications dans des développements futurs. La visualisation appartient à la fois au présent et au futur.

Pour le contrôleur, sa principale préoccupation est de détecter les conflits, faciliter les communications par des liaisons fiables « air-sol » grâce à des échanges de données. De nombreuses techniques utilisant des échanges de données numériques de surveillance.

Le Mode S est grâce à l'interrogation sélective a permis de résoudre beaucoup de problèmes liés au secondaire classique tel que l'enchevêtrement des réponses. Aussi le mode S avec une quantité d'adresses de 24bits a permis d'avoir beaucoup plus d'adresses qu'un radar mono pulse et éliminer tous les les limites technique de radar SSR classique.

La maillante utilisant le radar secondaire mode S sera effective dans 2 ans au plus tard .ces radars permet installé en tout le territoire notionnel au nombre d'un dizaine de station a fin de 2020.

Listes des annexes :

[1] : doc 9684 ;OACI.

[2] : projet fin d'étude : Étude des futurs systèmes de surveillance.

Elaboré par : **Khamassi Seif eddine et Chebbi Aymen** ;

Encadré par : Mr **Haleb ridha** Université Virtuelle de Tunis (UVT).2010/2011

[3] : mémoire : Etude sur les systèmes radar de contrôle aérien et développement d'un outil de décryptage ASTERIX.

Présenté par : **KHAMASSI SEIFEDDINE**

Encadreur : **Hassen Seddiki** Université Virtuelle de Tunis (UVT).2014/2015

[4] : Site Enna

[5] : mémoire : systèmes de surveillance du contrôle de trafic aérien civil.

Présenté par **P. LEFEVRE** ; Conférence Arts & Métiers, Paris, 2 Février 2015

[6] : www.radartutoriel.eu

Liste des abréviations :

Radar : radio detection and ranging

λ : longueur d'onde

C : célérité de la lumière ($3 \cdot 10^8$)

τ : largeur d'impulsion radar

STC : sensitivity time control

NM : nautical miles

IF : fréquence intermédiaire

VFR : Règles de vol à vue.

IFR : Règles de vol aux instruments.

VMC : Conditions météorologiques de vol à vue.

FL : niveau de vol.

TMA : Région de contrôle terminale.

FIR : Région d'information de vol.

SFC : Surface.

CCR : centre de control régional.

CTR : Zone de contrôle

CTA ; Région de contrôle

AWY : vois aériennes.

SIA : services d'information aéronautique.

SSR ; radar secondaire de surveillance.

PSR : radar de surveillance primaire.

HF : haut fréquence.

GVT : gain variable Temps.

ISLS : Interrogations avec Suppression de Lobes Secondaires.

RSLs : réception avec Suppression de Lobes Secondaires.

MSSR : radar secondaire de surveillance Mono pulse.

ZIT ; zone interdit temporaire.

ZRT : zone règlement temporaire.

SPI : Spécial Pulse Identification.

FRUIT : False Replies Unsynchronised with Interrogator Transmission

ADS : automatique dépendent surveillance.

TCAS : résolution du système d'alerte de trafic et d'évitement des collisions.

ATS : Services de la circulation aérienne.

IRF : fréquence de répétition des interrogations.

ATC : Contrôle de la circulation aérienne.

SLM ; message de longueur standard.

ADLP : Processeur de liaison de données embarqué

ATN : Réseau de télécommunications aéronautiques

MSP : Protocoles spécifiques mode S.

GDLP : processeur de liaison de données sol.

ACAS : système anticollision embarqué

II : identificateur d'interrogateur.

SI : identificateur de surveillance.

OACI : organisation de l'aviation civile internationale.

STDMA : Self-organising Time Division Multiple Access.

SC : Signalling Channels.

SAACTA : système algérien automatique du contrôle du trafic arien.

DAIW : Danger Area Infringement Warning (contrôleur aérien de surveiller).

ARCW: ADS Report Conformance Warning Checking.

RAM : Route Adherence Monitoring (surveillance de la route du plan de vol).