

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

معهد الطيران و الدراسات الفضائية
Institut d'aéronautique et des études spatiales

قسم الملاحة الجوية
Département de la navigation aérienne



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en aéronautique

Option : Exploitation aéronautique

Organisation d'accueil

Etablissement national de navigation aérienne (ENNA)

Etude théorique d'une balise NDB et l'implantation d'un nouveau ILS à l'aéroport de Béchar

Réalisé par :

BENABDERRAHMANE Souleyman

Promoteur : Mr A.BOUDANI

Encadreur : Mr A.GUELMAOUI

Année Universitaire 2017-2018

Résumé

Ce sujet comprend l'espace aérien et comment ça se divise ainsi que les moyens de la radio navigation et de ses fonctionnements, et la partie pratique est comment installer ILS dans l'aéroport de Bechar et les vérifications mécaniques nécessaires.

Afin de résoudre ces problèmes et d'équilibrer la capacité de demande de l'aéroport, il est nécessaire d'installer ces moyens afin d'assurer un niveau élevé de protection des aéronefs et d'assurer un flux dans l'espace aérien.

Abstract

This topic includes airspace and how it divide, as well as the means of radio navigation and its operations, and the practical part is how to install ILS in Bechar Airport and the necessary mechanical checks.

In order to solve these problems and balance the demand capacity of the airport, it is necessary to install these means to ensure a high level of aircraft protection and to ensure a flow in the airspace

ملخص

هذا الموضوع يتضمن الفضاء الجوي وكيفية تقسيمه و على وسائل الملاحة الجوية المفعلة وطريقة عملها، أما الجزء العملي فهو عن كيفية تثبيت ILS في المطارات والمرجعات الميكانيكية اللازمة له.

من اجل مواجهة هذه المشاكل و موازنة قدرة المطار بالطلب، من الضروري تثبيت هذه الوسائل بهدف ضمان مستوى عالي لحماية الطائرات و تحقيق انسياب في المجال الجوي.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au département d'aéronautique de Blida, ainsi qu'au sein de l'Etablissement National la Navigation Aérienne.

Grand merci à Dieu tout puissant qui ma accorder le don d'achever ce travail.

Je tiens à remercier, toutes les personnes qui ont rendu ce travail possible par leur aide et leurs contributions, ainsi que leurs compétences.

Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants et du personnel du département d'Aéronautique.

Je tiens à adresser mes remerciements à mon encadreur **Mr.GUELMAOUI** Chef projet PDJEA, pour la confiance qui ma accordé, et pour ses conseils et ses encouragements.

Je remercie, **Mr.Boudani**, pour m'avoir guidée, grâce à ces compétences, dans mon travail de recherche, mais aussi pour avoir permis, de réaliser ce travail en tant que promoteur.

Je remercie cardinalement le jury qui a accepté d'examiner mon travail et juger mon comportement.

Tables des matières

<i>Résumé</i>	
<i>Remerciements</i>	
<i>Tables des matières</i>	<i>I</i>
<i>Liste figures</i>	<i>IV</i>
<i>Liste tableaux</i>	<i>VI</i>
<i>Glossaire</i>	<i>VII</i>
Introduction générale	1
Chapitre I : Organisation de l'espace Aérien	
I.1.Introduction.....	3
I.2.Division de l'espace aérien.....	3
I.2.1.Espace aérien contrôlé.....	3
I.2.1.1.Les régions de contrôle (CTA).....	4
I.2.1.1.1.Les régions de contrôle terminal (TMA).....	4
I.2.1.1.2.Les voies aériennes (AWY).....	4
I.2.1.1.2.Zones de contrôle (CTR).....	4
I.2.1.1.3.Région supérieure du contrôle (UTA).....	5
I.2.2.Espace aérien non contrôlé.....	5
I.2.2.1.Région d'information de vol (F.I.R.).....	5
I.2.2.2.Région supérieure d'information de vol (UIR).....	5
I.2.2.3.Espace à statut particulier.....	5
I.2.2.3.1.Zone interdite.....	6
I.2.2.3.2.Zone réglementée.....	6
I.2.2.3.3.Zone dangereuse.....	6
I.2.3.Division verticale de l'espace aérien.....	7
I.2.3.1.Espace aérien inférieur.....	7
I.2.3.2.Espace Aérien supérieur.....	8
I.2.4.Division de l'espace aérien selon les types des classes.....	9
I.3.Les services de la circulation aérienne.....	10
I.3.1.Service d'alerte.....	10

I.3.2.Le service d'information de vol (FIS).....	10
I.3.3 Le service de contrôle (ATC).....	11
I.4 Espace aérien Algérien.....	14
I.4.1 Division de l'espace aérien Algérien.....	15

Chapitre II : Généralité sur la radionavigation

II.1 Introduction	18
II.2 Historique	18
II.3 Classification opérationnel du moyens radionavigation.....	19
II.4 Les instruments de la radio navigation	20
II.4.1 Radiocompas automatique ADF.....	20
II.4.2 Radiophare Omnidirectionnel VHF VOR.....	21
II.4.3 Equipement de mesure de distance DME.....	23
II.4.4Instrument Landing System ILS	25
II.4.5 Système mondial de navigation par satellite (GNSS).....	26

Chapitre III : Système de radio navigation NDB, ADF

III.1 Introduction.....	28
III.2 L'équipement au sol (NDB).....	28
III.2.1 Diagramme d'émission	30
III.2.2 Propagation.....	31
III.2.3 Représentation du NDB sur la carte.....	32
III.2.4 Les avantages et les inconvénients des NDB.....	33
III.3 L'équipement au bord (ADF).....	33
III.3.1 Introduction.....	33
III.3.2 Les antennes.....	34
III.3.3 Le boîtier de commande.....	40
III.3.4 L'indicateur ADF.....	40
III.3.4.1 ADF à cadre fixe :(Modèle RBI- Relative Bearing Indicator).....	40
III.3.4.2 ADF à cadre mobile (Modèle RMI-Relative Magnetic Indicator).....	41
III.3.4.3 ADF à cadre mobile automatique.....	41
III.3.5 Fonctionnement de la détection.....	42

III.3.6 Utilisation en pratique.....	42
Chapitre IV : l'implantation d'un ILS exemple l'aéroport de Bechar	
IV.1 Introduction.....	44
IV.2 Localizer ou radiophare d'alignement de piste (LLZ).....	44
IV.2.1 Principe de fonctionnement du Localizer.....	45
IV.2.2 Variation des taux de modulation d'espace.....	45
IV.2.3 Couverture volumétrique.....	46
IV.2.4 Couverture en azimut.....	46
IV.2.5 Couverture en site.....	47
IV.2.6 Instrument de bord – Récepteur.....	47
IV.3 Implantation du LOC.....	50
VI.4 Vérification de l'implantation mécanique du LOC.....	52
IV.5 Glide path ou radiophare d'alignement de descente (GP).....	53
IV.5.1 Principe de fonctionnement du glide path.....	53
IV.5.2 Variation des taux de modulation d'espace.....	54
IV.5.3 Couverture volumétrique.....	54
IV.5.4 Instrument de bord – Récepteur.....	56
IV.6 d'implantation du GP.....	57
IV.7 Vérification de l'installation mécanique.....	60
Conclusion générale	63
<i>Bibliographi</i>	<i>IX</i>

Liste des figures

Figure I.1:limites de l'espace aérien inférieur.....	07
Figure I.2:limites de l'espace aérien supérieur.....	08
Figure I.3:Espace aérien contrôlé.....	08
Figure I.4:Organisation de l'espace aérien.....	09
Figure I.5:Découpe de l'espace aérien.....	10
Figure I.6:Services de la circulation aérienne.....	11
Figure I.7:Limitation géographique de la FIR d'Algérie.....	14
Figure I.8:Sectorisation de l'espace aérien Algérien.....	15
Figure I.9:Zones a statue particulier.....	15
Figure.II.1: Lignes de position	18
Figure II.2: information QDM donnée par le VOR	20
Figure II.3: Schéma synoptique d'un récepteur VOR	21
Figure II.4: Principe de DME	23
Figure II.5: Composantes du système ILS.....	24
Figure III.1: Antenne d'une station NDB.....	28
Figure III.2: Diagramme d'émission NDB (polarisation verticale).....	29
Figure III.3: Propagations et champ MF en fonction de la distance	30
Figure III.4: Représentation du NDB sur la carte	31
Figure III.5: Propagation de l'onde électromagnétique plane a polarisation verticale.....	33
Figure III.6: Vue latérale de la propagation d'une onde émise par une antenne verticale ...	34
Figure III.7: Vue de dessus de la propagation d'une onde émise par une antenne verticale.	34
Figure III.8: Maximum de réception par une antenne loop	35
Figure III.9: Minimum de réception par une antenne loop).....	35
Figure III.10: Deux cas de réception maximum par une antenne loop	36
Figure III.11: Deux ondes en concordance de phase (1)/deux ondes en oppositions de phases(2).....	36
Figure III.12: Processus de recherche de position.....	37
Figure III.13: Gisement d'une station NDB.....	38
Figure III.14 Indicateur ADF à cadre mobile.....	40
Figure III.15: Indicateur RMI	40
Figure III.16: Antenne cadre (loop).....	41
Figure IV.I: Les différents composants du système ILS	43

Figure IV.2 : Fonctionnement du Loc	44
Figure IV.3: Couverture de loc en azimute	45
Figure IV.4: Couverture de Loc en site	46
Figure IV.5: passage du signal reçue au borde de Loc	47
Figure IV.6 L'aiguille indicatrice est positionnée au centre du cadran	48
Figure IV.7 : L'aiguille indicatrice est positionnée au gauche du cadran.....	48
Figure IV.8 : L'aiguille indicatrice est positionnée à la droite du cadran.....	48
Figure IV.9 : schéma d'implantation du LOC.....	51
Figure IV.10 : Antenne de GP.....	52
Figure IV.11 : Fonctionnement du GP.....	53
Figure IV.12 : Couverture de GP en azimut	54
Figure IV.13 : Couverture de GP en site	54
Figure IV.14 : passage de signal reçue au borde de GP.....	55
Figure IV.15 : l'aiguille est positionnée au centre du cadran.....	55
Figure IV.16 : l'aiguille est positionnée au haut du cadran.....	56
Figure IV.17 : l'aiguille est positionnée au bas du cadran.....	56
Figure IV.18 : Schéma d'implantation du GP.....	59
Figure IV.19 : Vérification du décalage avant des antennes.....	59
Figure IV.20 : Vérification du décalage latéral des antennes.....	61

Liste des tableaux

Tableau I.1: Type de vol avec service de circulation aérienne rendue.....	13
Tableau I.2: La classification des secteurs aériens.....	15
Tableau IV.1: Site d'implantation	49
Tableau IV.2: Piste d'installation	49
Tableau IV.3: Caractéristique générale du Localizer	49
Tableau IV.4: Les Points d'implantation de la station LOC	50
Tableau IV.5: coordonnées géographique.....	50
Tableau IV.6: Liste d'appareils de mesure utilisés dans l'implantation	50
Tableau IV.7: Site d'implantation du GP	56
Tableau IV.8: Piste d'implantation	57
Tableau IV.9: Caractéristique générale du Glide Path.....	57
Tableau IV.10: Les points d'implantation de la station GP	57
Tableau IV.11: Coordonnées géographique	57
Tableau IV.12: Liste d'appareils de mesure utilisés dans l'implantation	58
Tableau IV.13: Le décalage calculé avec une FSL de 0.48°	61
Tableau IV.14: Le décalage calculé avec une SSL = 0°	61
Tableau IV.15: Hauteur calculé avec une FSL de 0°	62

Glossaire

ACC	:	Centre de contrôle régional (CCR).
ATC	:	Contrôle de la circulation aérienne.
AWY	:	Voies Aériennes.
AIP	:	Publication Information Aéronautique.
ATS	:	Services de la circulation aérienne.
CTA	:	Région de contrôle.
CTR	:	Zone de contrôle.
CCR	:	Centre de control Régional.
D	:	Zone dangereuse.
DME	:	Dispositif de mesure de distance.
E.N.N.A	:	Etablissement National de la Navigation Aérienne.
FIR	:	Région d'information de vol.
FIS	:	Service d'information de vol.
FL	:	Niveau de vol.
GND	:	Niveau de sol.
IFR	:	Règles de vol aux instruments.
MSL	:	Niveau moyen de la mer.
MHZ	:	Mégahertz.
OACI	:	Organisation International de l'Aviation Civile.
P	:	Zone interdite.
R	:	Zone réglementée.
RCC	:	Rescue Coordination Center.
RNAV	:	Navigation de surface.
RVSM	:	Réduction des minimums de separation verticale.
SAR	:	Search And Rescue.
TMA	:	Région de contrôle terminal.
TWR	:	Voie de circulation.
UTA	:	Région supérieure du contrôle.
UIR	:	Région supérieure d'information de vol.
VFR	:	Règle de vol à vue.
VHF	:	Très haute fréquence.

VOR	:	Radiophare omnidirectionnel VHF.
AIP	:	Aeronautic Information Publication
ATP	:	Aeronautical Information Publication
AOC	:	Airline Operational Communication
GND/MSL:		Ground/Meat Sea Level
GNSS	:	Global Navigation Satellite System
HF	:	High Frequency
BLS	:	Bande latérales seules
CSB	:	Carrier Side Band
DDM	:	Différence des taux de modulation
DME	:	Distance Measurement Equipment
GP	:	Glide Path
GPS	:	Global Positioning System
ILS	:	Instrument Landing System
NDB	:	Non Directional Beacon RAD
RAP	:	Radioalignement de descente Radioalignement de piste
RVR	:	Runway Visibility Range
SDM	:	Somme des taux de modulation SIMLOG
NM	:	Nautical Mile

Introduction générale

L'ENNA (Etablissement National de la Navigation Aérienne), sur qui repose la responsabilité en termes de sécurité sur le plan aérien est composée de nombreux départements, parmi eux, le département de la radionavigation, qui a essentiellement pour rôle d'assurer le bon fonctionnement des différents instruments au sol et de répondre aux normes exigées par l'OACI

Au tout début de l'aviation, les vols étaient contraints à être effectués que par temps clair, c'est alors que les vols aux instruments (IFR) débarquèrent, créèrent un rebondissement et une évolution remarquée dans le domaine de l'aéronautique, de grands progrès ont été effectués au fil des années, L'aéronautique est un domaine très exigeant, où n'importe quel dysfonctionnement ou la moindre erreur peut provoquer des catastrophes ce qui compromettrait la sécurité.

La radioélectricité fut d'abord utilisée dans la navigation maritime (navires) puis pour les avions et c'est ainsi que naquit la radionavigation, technique révolutionnaire, utilisant des ondes radio pour obtenir une information de position.

L'aéroport de Bechar occupe une position géographique stratégique du fait qu'elle se trouve entre le Nord-ouest et le grand sud d'Algérie ainsi que son emplacement par rapport aux axes importants du trafic aérien qui relie le moyen orient avec le continent Américain.

Le présent manuscrit résume un travail de recherche effectué dans le but d'éviter problème est la détermination des retards des vols. Ce dernier est lié à la sécurité des aéronefs qui est le premier principe recommandé par l'OACI. Afin de maintenir cette sécurité établir des taux de retards minimum qui engendrent une minimisation de coûts pour les compagnies aériennes, il est organisé de la manière suivante :

Chapitre I, nous avons procéder d'abord à enrichir nos connaissances par des notions de base qui décrivent l'espace aérien en générale.

Chapitre II, en passe à la description générale des moyens de radionavigation qui sont encore actifs.

Chapitre III, nous fait une étude théorique de fonctionnement de Systèmes de radionavigation NDB, ADF,

Introduction générale

Chapitre IV, nous démontrant l'implantation de nouveau moyen (ILS) qui peuvent répondre à terme aux besoins de l'aéroport.

I.1.Introduction :

Le nombre d'avions circulant dans le ciel étant devenu considérable Engendrant une progression continue du trafic aérien et en raison d'avoir une bonne gestion de ce dernier aux différentes échelles géographiques. Viens l'importance de savoir la division et le type d'espace aérien ainsi que les zones aériennes constituant qu'on va détailler ci-après.

I.2.Division de l'espace aérien :

L'espace aérien peut être divisé sur la base des services de la circulation aérienne qui sont spécifiés et différents en régions ou zones, en deux types [1] :

- Espace aérien contrôlé.
- Espace aérien non contrôlé.

L'espace aérien peut être aussi divisé :

- Verticalement : en espace supérieur et inférieur.
- selon : les classes d'espaces

I.2.1.Espace aérien contrôlé :

Espace dans lequel un vol bénéficier des services rendus par l'organisme chargé de contrôle de l'espace dans lequel il est entré.

Un espace aérien n'est contrôlé que pendant les horaires de fonctionnement de l'organisme chargé d'y assurer le service de contrôle de la circulation aérienne,aux heures de fermeture de l'organisme de control l'espace aérien est dit non contrôlé ,l'espace aérien contrôlé [2] comprend :

- Les régions de contrôle CTA.
 - Les régions de contrôle terminal TMA.
 - Les voies aériennes AWY.
- Les zones de contrôle CTR.
- Les régions supérieures de contrôle UTA.

I.2.1.1. Les régions de contrôle (CTA) :

Sont déterminées de manière à englober un espace aérien suffisant pour contenir les trajectoires des aéronefs en régime de vol IFR et au profit desquelles on juge nécessaire d'exercer la fonction de contrôle, leurs limites inférieures doivent être fixées à une hauteur d'au moins 200 m (700 pieds) au-dessus du sol ou de la mer [2].

Dans la CTA on distingue :

I.2.1.1.1. Les régions de contrôle terminal (TMA) :

Région de contrôle établie au carrefour de routes ATS, Situées au-dessus d'un ou plusieurs aérodromes importants, les TMA peuvent être un espace contenant des trajectoires d'arrivées et de départs d'un ou plusieurs aéroports.

I.2.1.1.2. Les voies aériennes (AWY) :

Sont les routes du ciel Elles résultent de la nécessité d'exécuter la fonction de contrôle sur les itinéraires aériens à grande distance, elles se présentent sous la forme. Des tubes dans lesquels les appareils sont strictement contrôlés et séparés, aussi bien verticalement que horizontalement. Équipée d'aide à la navigation.

Désignation des AWY :

Les AWY sont désignées par une couleur suivie d'un numéro d'identification.

A- Ambre (Ambre).

B- Bleue (Bleu).

G- Verte (Green).

R-Rouge (Red).

W-Blanche (White).

- Les AWY « A » et « B » ont une orientation générale Nord / Sud.
- Les AWY « G » et « R » ont une orientation générale Est / West.
- Les AWY « W » sont voies aériennes saisonnières.

I.2.1.1.2. Zones de contrôle (CTR) :

C'est un espace aérien contrôlé qui s'étend verticalement à partir de la surface de la terre jusqu'à une limite supérieure spécifiée. Et en projection horizontale jusqu'au 5 NM au

moins du centre d'un ou des aérodromes intéressants, et dans toutes les directions d'approche possibles [3].

I.2.1.1.3.Région supérieure du contrôle (UTA) :

Afin de limité le nombre de régions de contrôle que les aéronefs volant a haute altitude aurait à traverser, il a été créé une région de contrôle supérieur englobant tout l'espace aérien supérieur, l'UTA ayant pour base le niveau FL195, et pour sommet le FL460. [3]

Remarque : dans ce type d'espace nous n'avant pas des voies aériens AWY.

(Voir figure I.3 et I.4)

I.2.2.Espace aérien non contrôlé :

Les espaces aériens non contrôlés sont des espaces de trafic moindre, ou l'intervention des services de la circulation aérienne est limitée à l'information et l'alerte, il se divise en :

- Région d'information de vol F.I.R.
- Région supérieure d'information de vol U.I.R.

I.2.2.1.Région d'information de vol (F.I.R.) :

Régions dans lesquelles les services d'information de vol sont assurés, leurs limites géographiques sont déterminées en fonction des caractéristiques de portée du moyen de liaison au sol, ils sont généralement adjacents.

I.2.2.2.Région supérieure d'information de vol (UIR) :

Une région supérieure d'information de vol (UIR) englobe l'espace aérien située à l'intérieure des limites latérales d'un certains nombres de FIR.

Elle a été crée a fin de limiter le nombre de régions d'information de vol (FIR) que les aéronefs volant a très grande altitude aurait a traversées.

I.2.2.3.Espace à statut particulier [4]:

Ce sont des aériens réservés à une utilisation spéciale à des besoins de la défense nationale, à certaines catégories de manœuvres a savoir :

- Des espaces à procédures par réacteur : ce sont des espaces conçues pour le décollage et l'atterrissage des avions militaires.
- Des volumes propres d'aérodromes.
- Des secteurs de descente.
- Des pinceaux de montée.
- Des zones réservées d'aérodromes.
- Pour cela, il existe pratiquement trois types des zones à statuts particuliers, zones dangereuses, réglementaires et interdites.

I.2.2.3.1.Zone interdite :

L'établissement d'une zone interdite devrait être soumis à des conditions particulièrement strictes, car l'usage de cet espace absolument interdit aux survols de toutes aéronefs, la pratique générale consiste donc à n'établir ce type de zones que pour protéger des installations importantes d'un état, les complexes industriels critiques dont les dommages, qu'entraîne un accident d'avion risquerai de prendre des proportions catastrophiques ou des installations particulières sensibles qui sont indispensables pour garantir la sécurité du pays.

On les identifier par une lettre « P » suivie d'un numéro.

I.2.2.3.2.Zone réglementée :

Ce sont des zones définies au dessus du territoire ou des eaux territoriales d'un état, le vol des aéronefs y est subordonné à certaines conditions spécifiées qui peuvent aller jusqu'à l'interdiction de pénétration.

Une zone réglementée protège les activités militaires, elle peut être perméable à l'aviation civile, un processus de coordination doit être établie dans ce cas entre les organismes militaires et civil intéressées .l'aéronef sera sous la responsabilité du gestionnaire de cette zone.

On les identifie par une lettre « R » suivie d'un numéro de la zone.

I.2.2.3.3.Zone dangereuse :

Certaines zones ont un caractère particulièrement dangereux pour la navigation aérienne au vu de l'activité qui s'y déroule .la pénétration dans une zone dangereuse

réclame une vigilance accrue du pilote et dans certain cas il est souhaitable de l'éviter lorsqu'elle est active.

Les zones dangereuses en espace supérieur ne sont pas gérées de la même façon qu'en espace inférieur.

Dans les lettres d'accord avec les organismes militaires, il est précisé que pendant les créneaux d'horaires d'activité, ces zones sont imperméable au trafic civile même si dans les règles de l'air rien n'interdit d'y pénétrés.

On les identifie par une lettre « D » suivie d'un numéro de la zone.

I.2.3. Division verticale de l'espace aérien [5] :

En fonction de ce qu'on a déjà vu l'espace aérien est devisé en deux étages bien distincts :

I.2.3.1 .Espace aérien inférieur :

Il va de 450m la surface de la terre ou de l'eau jusqu'au niveau FL245, voir figure I.1.

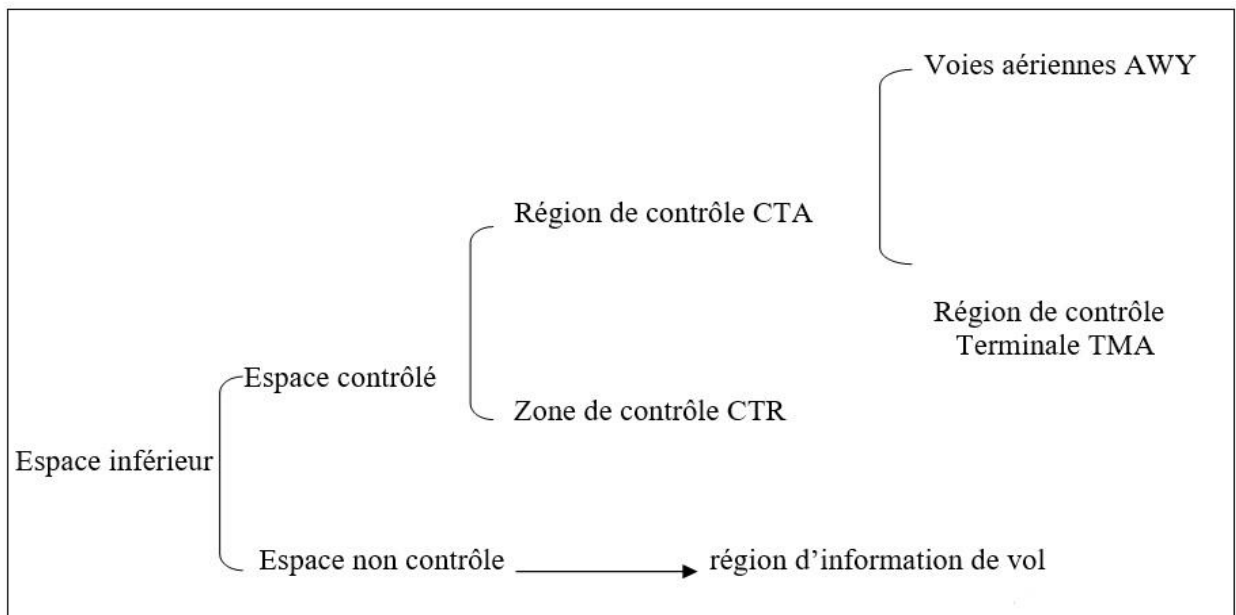


Figure I.1 : limites de l'espace aérien inférieur.

I.2.3.2.Espace Aérien supérieur :

Il va du niveau FL245 sans limitation de plafond voir (figure I.2).

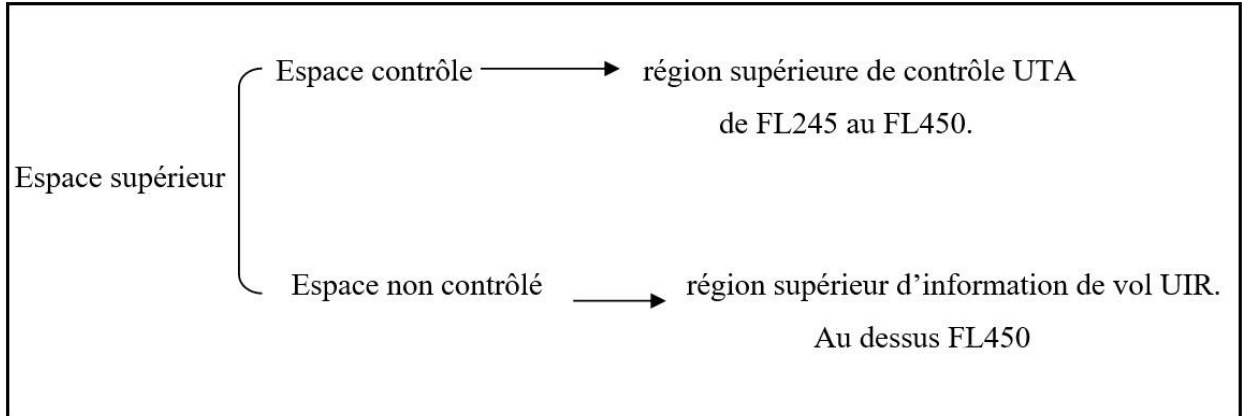


Figure I.2 : limites de l'espace aérien supérieur.

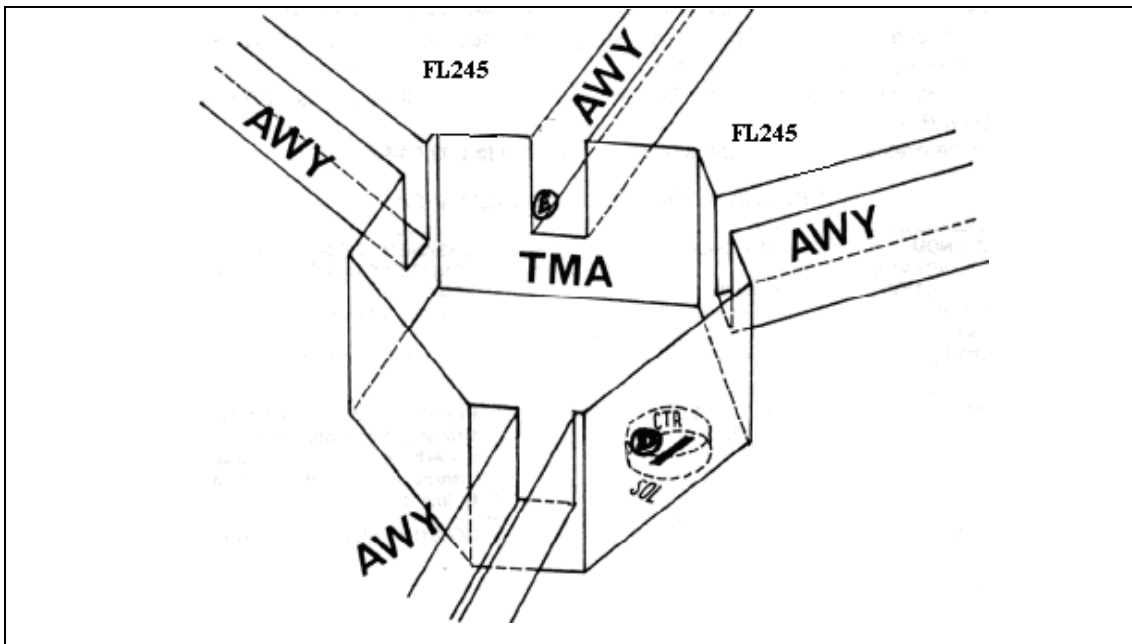


Figure I.3 : Espace aérien contrôlé.

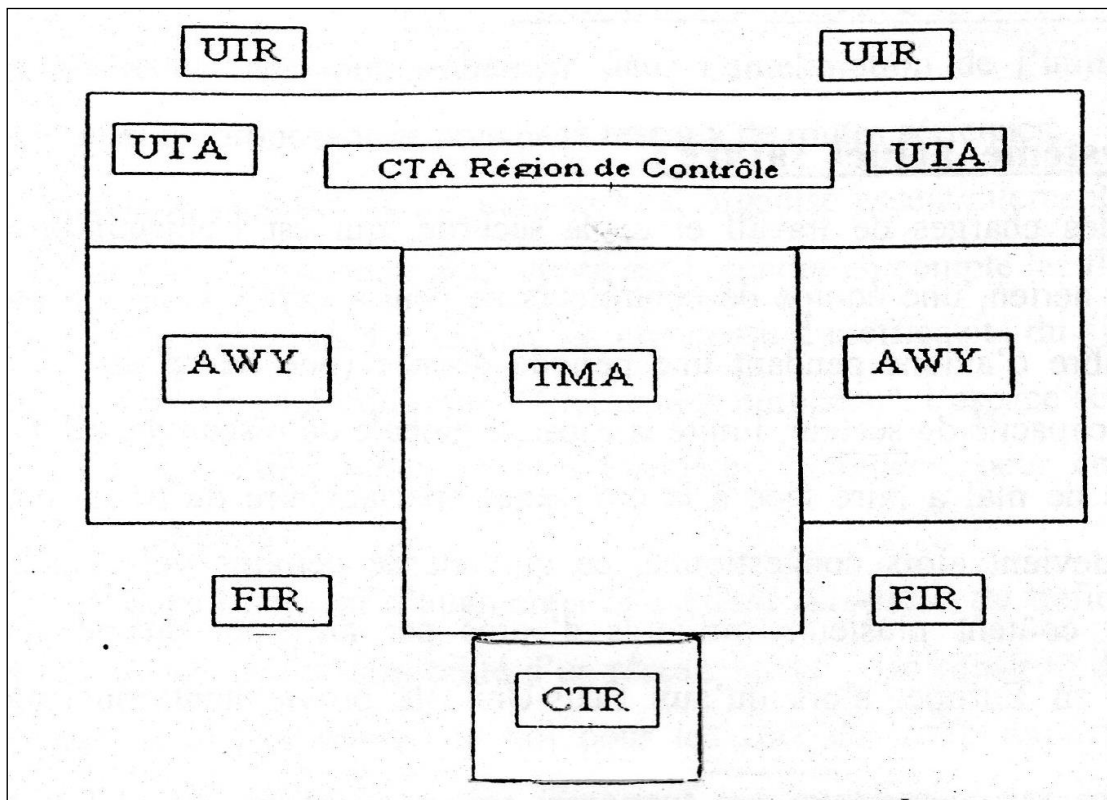


Figure I.4 : Organisation de l'espace aérien.

I.2.4. Division de l'espace aérien selon les types de classes [5] :

L'espace aérien peut être divisé en portions d'espaces dont elles prennent une indication de classes sous formes de lettres, à chacune correspond un niveau de contrôle particulier et des exigences particulières.

Par ordre de service décroissant, ces classes d'espace sont A, B, C, D, E, F et G.

- Les CTR : Elles sont généralement de classe D ou E.
- Les TMA et CTA : contiennent les trajectoires IFR de départ et d'arrivée. Ils peuvent être de classe A, B, C, D ou E, le plus souvent de classe D ou E.
- Les AWY : Elles sont de classe D au-dessus de niveaux FL115 et de classe E En dessous.

La figure (I.5) ci-après donne une vue plus précise est comprend les classes d'espace.

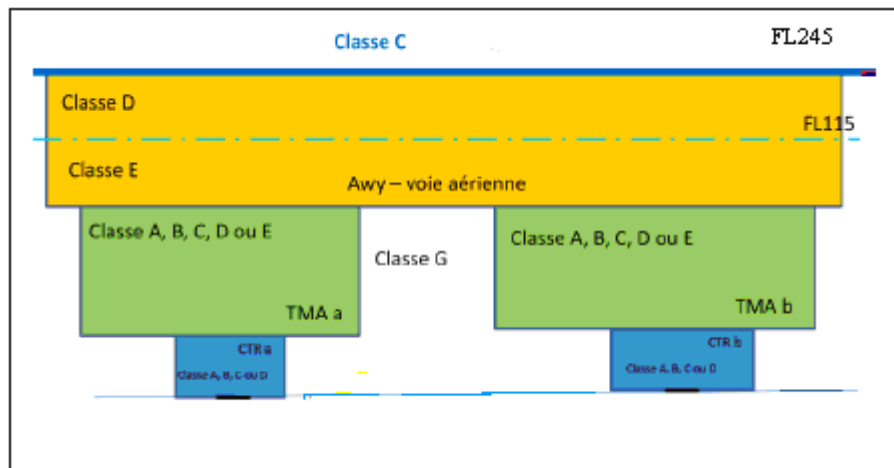


Figure I.5 : Découpe de l'espace aérien.

I.3. Les services de la circulation aérienne :

Conformément au paragraphe 2.3 de l'annexe 11 à la convention relative à l'aviation civile

Internationale, les services de la circulation aérienne sont subdivisés en trois :

- le service de contrôle,
- le service d'information de vol.
- le service d'alerte.

Commençons par détailler le service commun à tous les types d'espace, à savoir le service d'alerte.

I.3.1. Service d'alerte :

Sa mission principale est de déclencher l'alerte auprès des organismes de recherche et de sauvetage auprès des Centres de Coordination de Sauvetage (RCC) lorsque les aéronefs ont besoin d'aide (aéronefs ne s'étant pas reporté dans les délais réglementaires ou ayant envoyé un message ou signal d'urgence ou de détresse). Les Centres de Coordination de sauvetage (RCC) déterminent les moyens à mettre en oeuvre et organisent les opérations de recherche et de sauvetage dites opérations recherche et sauvetage (SAR).

Tous les services ATC sont tenus d'assurer le service d'alerte.

I.3.2. Le service d'information de vol (FIS) :

Le rôle de ce service est de délivrer toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols. Il permet de disposer durant le vol de renseignements concernant les conditions

Météorologiques sur le parcours, l'état des aérodromes et des installations radioélectriques, la présence éventuelle, si elle est connue par l'organisme, d'un aéronef dont la trajectoire pourrait

Interférer avec celle d'un autre appareil. L'information de vol peut aller jusqu'à la transmission de suggestions des manoeuvres pour empêcher les collisions.

Le service d'alerte et le service d'information de vol sont fournis pour tous les aéronefs se trouvant à l'intérieur d'une région d'information de vol FIR.

I.3.3. Le service de contrôle (ATC) :

L'Objectif général du service de contrôle est d'empêcher les abordages aériens entre les aéronefs, d'accélérer et de régulariser la circulation aérienne et d'empêcher les collisions sur l'aire de manoeuvre entre les aéronefs qui évoluent au sol et les obstacles (grue, véhicule, etc. ...).

En fonction de la phase du vol, le service ATC a été subdivisé en trois parties :

- Le contrôle d'aérodrome (décollage/atterrissage).
- Le contrôle d'approche (en évolution).
- Le contrôle en route (évolution/croisière).

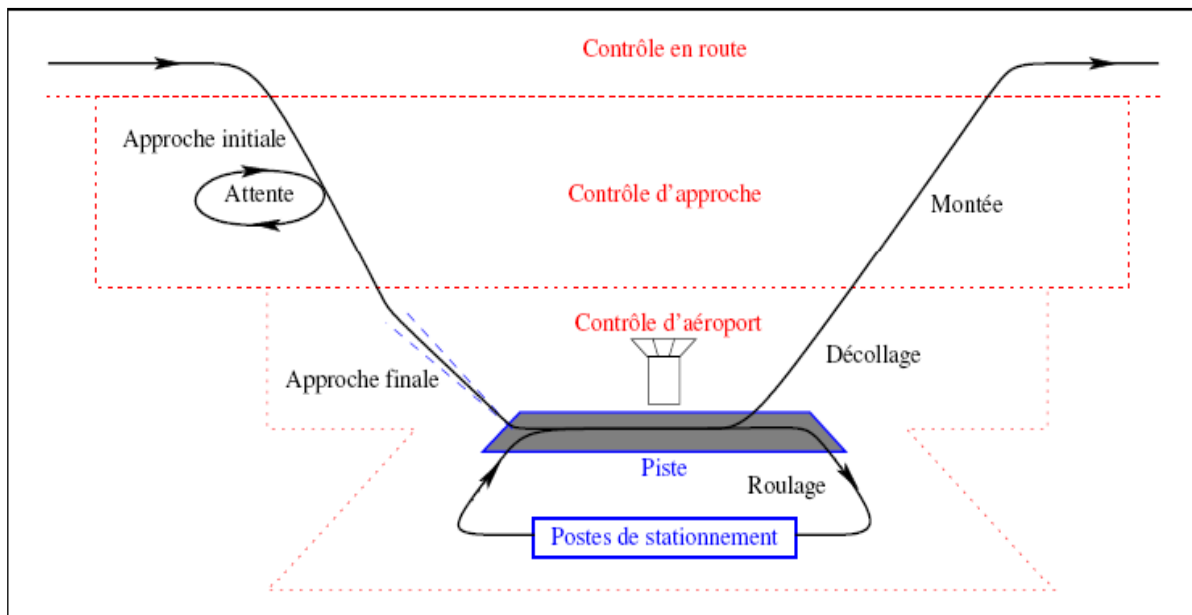


Figure I.6 : Services de la circulation aérienne

a) Le contrôle d'aérodrome :

Fournit le contrôle sur les aérodromes et leurs abords immédiats ainsi que le contrôle de la circulation des aéronefs et des véhicules au sol afin d'éviter les collisions. Il est assuré à partir de la tour de contrôle TWR.

b) Le contrôle d'approche :

Également fourni au voisinage des aérodromes. Le travail des contrôleurs aériens consiste à ramener les aéronefs entrants de leur point d'entrée dans la zone d'approche jusqu'à la piste ou la limite avec le contrôle tour de contrôle, et à guider les aéronefs au décollage, depuis leur transfert par la tour de contrôle jusqu'à leur point de sortie de la zone d'approche, tout en respectant les cadences d'utilisation des pistes.

c) Le contrôle en route :

Le contrôle en route prend en charge tout le trafic (national et international) qui pénètre dans sa zone de responsabilité. Il concerne généralement les aéronefs en phase de croisière (en Algérie le centre de contrôle régional de Charba est le seul centre qui assure les services de la C.A. pour toute la FIR Alger).

Après décollage et pendant son évolution, le passage de l'aéronef d'un organisme à un autre obéit à des règles de coordination et de transfert bien définies. Le contrôleur recevra la coordination relative à un vol, par message ou par téléphone, entre dix à vingt minutes avant que ce vol n'arrive dans son secteur.

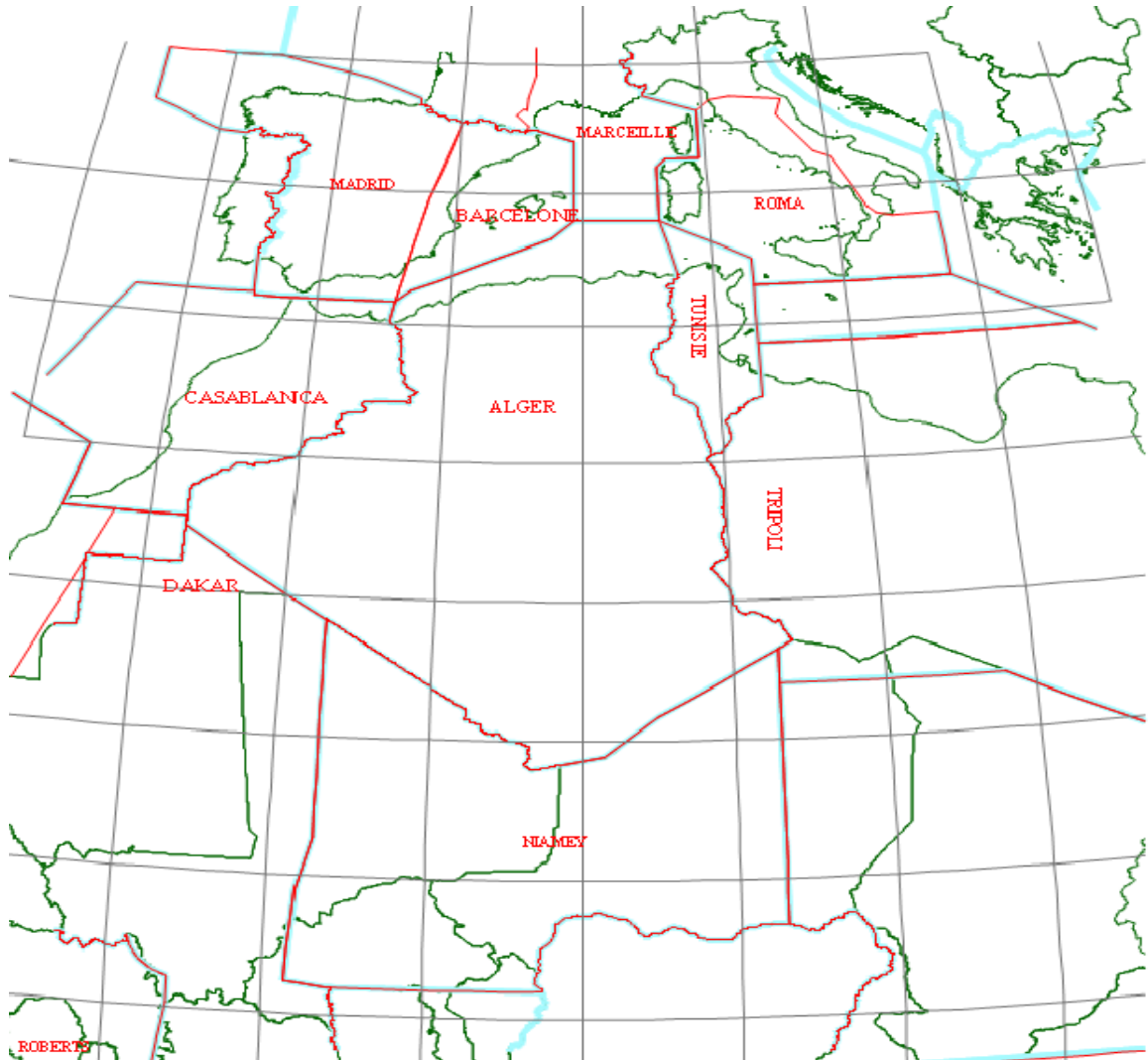
Le tableau ci après est un récapitulatif des conditions auxquelles sont assujettis les aéronefs avec service de la circulation aérienne rendue dans les diverses classes d'espace aérien.

classe	Type de vol	Séparation assuré entre A/C	Service assuré	Autorisation ATC obligatoire
A	IFR seulement	Tous aéronefs	ATC	OUI
B	IFR	Tous aéronefs	ATC	OUI
	VFR	Tous aéronefs	ATC	OUI
C	IFR	IFR et IFR IFR et VFR	ATC	OUI
	VFR	VFR et IFR	1) ATC pour la séparation des aéronefs IFR ; 2) Information de trafic VFR/VFR	OUI
D	IFR	IFR et IFR	ATC avec informations de trafic au sujet des vols VFR	OUI
	VFR	Sans objet	Information de trafic entre les vols VFR et IFR (et, sur demande, avis d'évitement de trafic)	OUI
E	IFR	IFR et IFR	ATC avec information de trafic au sujet des vols VFR dans la mesure du possible	OUI
	VFR	Sans objet	Information de trafic dans la mesure du possible	NON
F	IFR	IFR et IFR	Service consultatif service d'information de vol	NON
	VFR	Sans objet	Service d'information de vol	NON
G	IFR	Sans objet	Service d'information de vol	NON
	VFR	Sans objet	Service d'information de vol	NON

Tableau I.1 : Type de vol avec service de circulation aérienne rendue.

I.4.Espace aérien Algérien :

L'espace aérien Algérien plus communément appelé FIR Alger est au dessus de la république Algérienne Démocratique et Populaire qui a une position géographique entre 19°N de latitude et de 9°W jusqu'au 12°E de longitude .Il est contigu aux FIR(s) Marseille, Barcelone et Séville au Nord et adjacent a l'ouest a la FIR Casablanca a l'Est à la FIR Tunis et Tripoli, au Sud a la FIR Dakar et Niamey (voir figure I.7).



FigureI.7 : Limitation géographique de la FIR d'Algérie.

I.4.1.Division de l'espace aérien Algérien :

A l'intérieur de la FIR d'Alger existe quatre classes d'espace A, D, F et G .Cette FIR a été divisée en sept (7) secteurs représenté dans la figure I.8 qui sont :

Les trois (03) secteurs du nord (TMA Est, TMA Alger, TMA Ouest) sont des espaces contrôlés Au sein duquel le contrôleur prend directement en charge le trafic. .

Trois (03) secteurs du Sud (Sud Est, Sud Centre, Sud-Ouest) sont des espaces consultatifs Au sein duquel le contrôleur n'intervient pas directement, il informe le pilote et lui propose une solution, cependant la décision revient au pilote .le contrôleur lui donne des suggestions de manœuvres.

Le secteur Sud –Sud est un espace non contrôlé.

Au sein de chacun de ces espaces se trouve des zones ou le survol est dangereux voir (Figure I.9).

Exemples :

- DAR 49 à BOUSFER.
- DAD 74 TAFRAOUI « entraînement ou pilotage : voltige vrille..... ».
- DAP 60 d'OURGLA.

Ces secteurs sont classés comme indiqué dans le tableau suivant :

N ' secteur	Secteurs	classe	Limite inférieure	Limite Supérieure
01	TMA ALGER Supérieur	A	FL 245	FL 450
01	TMA ALGER Inférieur	D	450 m GND/MSL	FL 245
02	TMA Est	D	450 m GND/MSL	FL 450
03	TMA Ouest	D	450 m GND/MSL	FL450
04	Sud - Centre	F	GND/ MSL	UNL
05	Sud -Est	F	GND/ MSL	UNL
06	Sud -Ouest	F	GND/ MSL	UNL
07	Sud - Sud	G	GND/ MSL	UNL

Tableau I.2 : La classification des secteurs aérien [7].

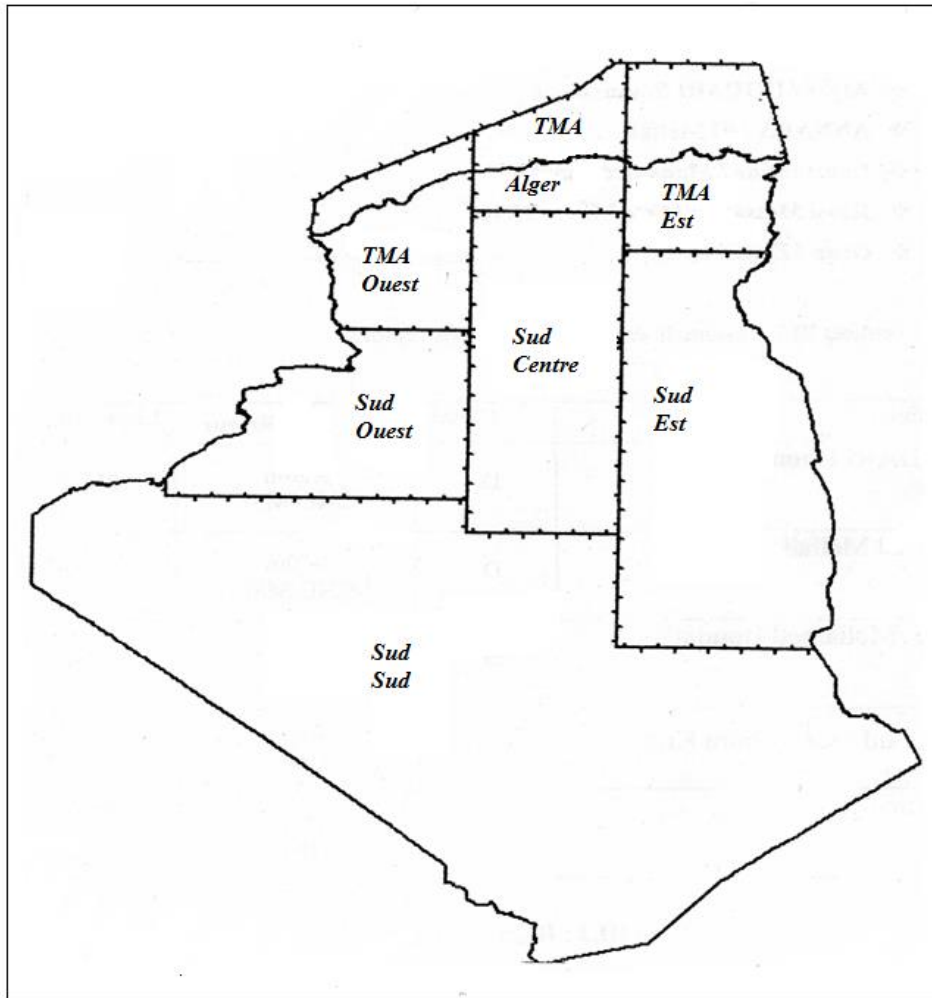


Figure I. 8: Sectorisation de l'espace aérien Algérien.

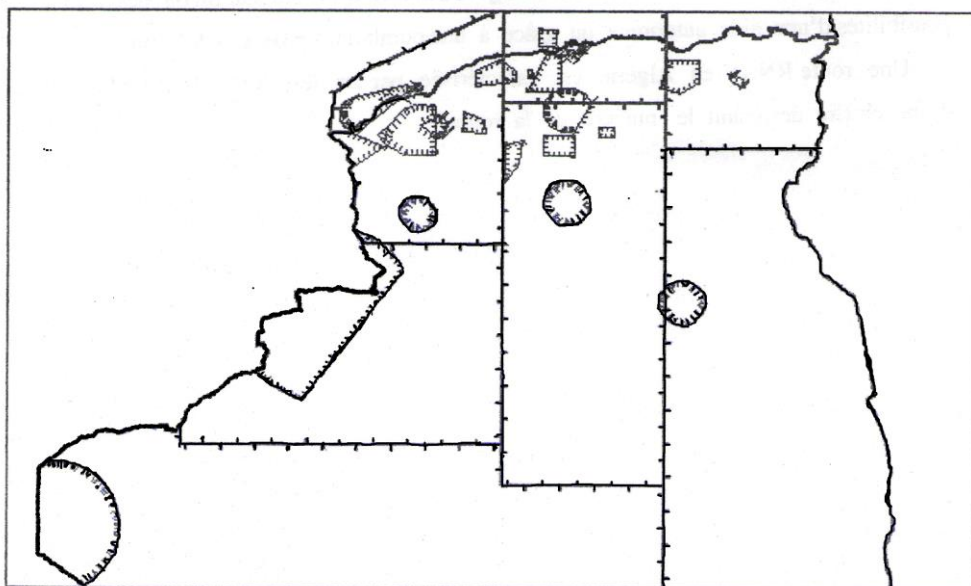


Figure I. 9: Zones à statut particulier.

II.1 Introduction :

La radionavigation est un type de navigation utilisant les propriétés des ondes radioélectriques elle nécessite des équipements extérieurs à l'avion, généralement des émetteurs placés au sol ou des satellites ainsi que des équipements embarqués à bord de l'aéronef, pour fournir des indications fiables sur la position de l'avion dans l'espace.

Dans ce chapitre nous allons étudier un type de navigation qui utilise les propriétés des ondes radio électrique, ce type nécessite des équipements extérieurs à l'avion généralement les émetteurs placés au sol et les équipements embarqués à bord de l'aéronef, des récepteurs « intelligents » à la disposition du pilote.

II.2 Historique :

De nombreux systèmes de radionavigation se sont succédés, voici leur classification historique :

- 1920 : apparition du radiocompas (Non Directionale Beacon) NDB
- 1935-1940 parutions du radar
- 1940-1945 créations des premiers systèmes hyperboliques qui sont LORAN et le decca. Deux années après le VOR fut homologué, puis ça était le tour de l'ILS.
- Durant les années 2000, le GPS démarqua mais hélas, il n'a pas été homologué.

L'utilisation des ondes radio comme aide à la navigation est simultanée à la découverte des antennes à cadre directionnel et de la radiogoniométrie associée.

Dès 1912 ce type de positionnement était utilisé par les navires en Atlantique Nord pour se positionner en utilisant les radiophares. La détermination d'un point se fait en mesurant la direction de deux radiophares ou plus avec un radiocompas, le navigateur détermine un point probable par triangulation. Ces radiocompas se sont perfectionnés jusqu'aux modèles actuels encore largement utilisés en aéronautique ADF (Automatic Direction Finder).

En radionavigation, la position est donnée par l'intersection de lignes de position (LOP) définies radioélectriquement.

Une ligne de position correspond à un signal radioélectrique constant ou à une caractéristique de ce signal qui reste constante (amplitude, phase, taux de modulation...). Les lignes de position classiques sont :

- Lignes de position circulaires,
- Lignes de position hyperboliques,
- Lignes de position orthodromiques.

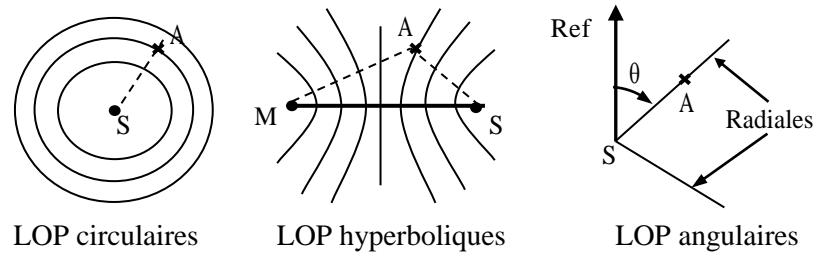


Figure II.1: Lignes de position

L'apparition du GPS, depuis plusieurs années vient progressivement de remplacer les moyens de navigation classiques.

II.3 Classification opérationnel du moyens radionavigation

Les aides radioélectriques sont classées en fonction de leur utilisation celle-ci détermine leur implantation et leur portée :

- **Aide à grande distance ($D > 300\text{NM}$)**

Les aides à grande distance sont utilisables pour la navigation long-courrier au-dessus des grandes étendues désertiques ou maritimes. La précision attendue est de 5 à 10 NM.

Ces aides peuvent utiliser que les fréquences VLF, LF ou MF.

- **Aides a moyenne distance ($D < 300\text{NM}$)**

Les aides à moyenne distance sont utilisées pour la navigation sur routes aériennes et dont la précision est de quelques NM ou quelque degrés. Les fréquences utilisées sont: la MF (radiophares) mais surtout la VHF et l'UHF (VOR/DME). Dans ce cas la portée est limitée à la visibilité radioélectrique et fonction de l'altitude de vol.

- **Aides à courte distance**

Les aides à courte distance sont utilisées dans les régions et voisinage des aérodromes les aides a moyenne distance (radiobalises VOR, DME) sont utilisées mais complétées par des aides spécifiques à l'atterrissage (ILS, OCA) capables de précision supérieures. [6]

II.4 Les instruments de la radio navigation

II.4.1 radiocompas automatique ADF

La goniométrie au sol en moyenne fréquence n'est plus pratiquée par contre la goniométrie est toujours utilisée à bord des avions, sous forme automatique (radiocompas automatique) à partir d'émissions LF-MF au sol radiophares L (Locator) et radiobalise NDB (Non Directional Beacon) [7]

Le radiocompas automatique de bord est un indicateur embarqué de gisement. Il fait partie des aides à la navigation courte et moyenne distance [8]

Son principe de fonctionnement est le suivant :

- **La station émettrice au sol**

Le NDB transmet grâce à une antenne verticale une onde radio en modulation d'amplitude sur une fréquence comprise entre 200 à 1750KHz, les plus utilisées sont entre 200 et 415KHz.

L'onde du signal suit la courbure de la terre, ce qui permet une réception à basse altitude et sur de grandes distances. Le signal ne nécessite pas une portée optique pour être reçu.

- **A bord de l'avion**

L'ADF reçoit les signaux de deux antennes de l'avion : l'antenne cadre et l'antenne de lever de doute.

La tension induit par l'onde électromagnétique qui provient du NDB est captée par le cadre et acheminée vers le récepteur. Ce récepteur, par un système électronique transmet la position du cadre à l'aiguille de l'ADF.

L'antenne cadre indique la direction de la balise par rapport à l'axe de l'avion. Mais elle ne permet pas de déterminer si on se dirige ou si s'éloigne d'une station NDB.

L'antenne de lever de doute fournit cette information et aussi la réception audio lorsque la fonction ADF n'est pas requise.

Sur les avions modernes, et ce depuis assez longtemps, l'antenne cadre a été réduite considérablement en dimension et elle inclut une antenne de lever de doute

- **Réception d'un signal de NDB**

La porteuse de l'émetteur est émise continue, seulement interrompue, à intervalles réguliers, par l'identification en code morse de la balise. Ceci permet de déterminer avec certitude l'origine du signal reçu. [9]

- **Avantage et inconvénients de l'ADF**
- Bonne porte et précision acceptable
- Moyen universel et « tout usages » ; matériel peu complexe et couteux, à bord et au sol.
- Inutilisable par temps très orageux
- Difficilement utilisable à distance, de nuit.
- Faible cout d'installation et d'entretien pour la station au sol.
- Le NDB permet la navigation dans les régions non équipées de couverture VOR.

II.4.2 radiophare omnidirectionnelle VHF VOR

Le but de radiophare omnidirectionnel VOR est de fournir une information de relèvement magnétique (QDM) d'une station d'émission omnidirectionnel au sol qui pourra être lue par le pilote sur un indicateur (figure II.2). Le QDM est le cap magnétique qui permet de rejoindre la station VOR sans vent. Les indications à bord sont indépendantes du cap de l'aéronef.

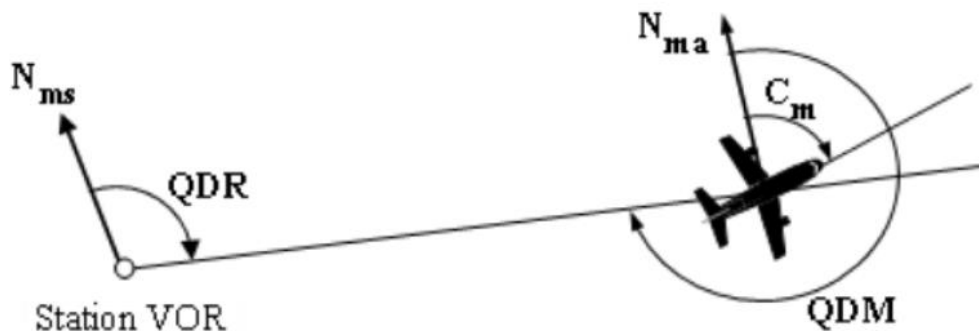


Figure II.2: information QDM donnée par le VOR

Le radiophare émet dans les bandes 108-112 MHz (partagée avec ILS) et 112-118 MHz (exclusive) et dont le signal rayonné définit 360 directions en azimute (radiales) autour de la station, avec une erreur moyenne de 1° à 3°. [7]

L'émission se fait en polarisation horizontale. Un système VOR se compose de :

- Un émetteur au sol
- Un récepteur à bord associé à un instrument qui affiche où l'avion se situe angulairement, par rapport à l'émetteur. [9]

Il fournit le QDR, grâce à la station d'émission et ceci dans toutes les directions.

- **Classification des émetteurs VOR**

Il existe 2 types de VOR, dont le fonctionnement est identique, mais dont l'utilisation détermine l'implantation et la puissance d'émission mise en jeu, c'est-à-dire la portée.

Le T/VOR (terminale VOR) est un moyen radio d'atterrissage et il est donc situé sur l'aérodrome ; la portée est limitée à 50 Km environ; son indicatif comporte en générale deux lettres. Il travaille sur les fréquences de 112 à 117,95 MHz. [10]

- **Principe de fonction de VOR**

Le signal VOR est constitué d'une porteuse VHF dont les modulations portent deux signaux 30Hz avec lequel l'information de QDR va être transmise.

- Un signal 30Hz de référence (REF) dont la phase est indépendante de l'azimut via une antenne omnidirectionnelle.
- Un signal 30Hz dite variable (VAR) dont la phase est égale à l'azimut magnétique de la direction de rayonnement.

A bord, la mesure du déphasage entre ces deux signaux donne l'azimut magnétique de l'avion par rapport à la station QDM.

Au sol : la station VOR émet une porteuse support des signaux : de navigation, d'identification (indicatif morse), d'information (phonie éventuellement).

A bord : ces signaux démodulés par un récepteur VHF sont séparés. Les signaux de navigation sont traités indépendamment puis comparés en phase pour fournir l'indication d'azimut. Cette mesure de phase se fait à 1° et permet donc de définir 360 «radiales».

Ces «radiales» constituent un repère absolu par rapport au sol et l'indication VOR à bord sont indépendantes au cap de l'avion. [7]

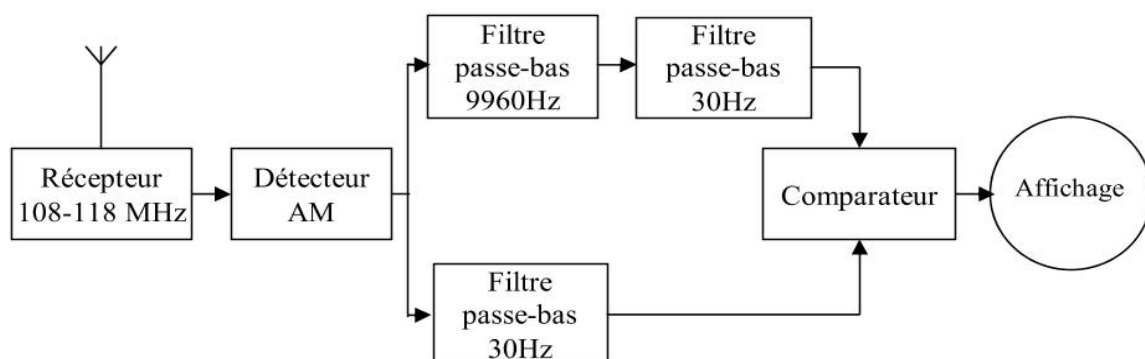


Figure II.3: Schéma synoptique d'un récepteur VOR

La figure II.3 donne un aperçu du fonctionnement du récepteur VOR à bord de l'avion. Tout d'abord, les ondes électromagnétiques VHF sont reçues par l'antenne, le signal de la balise désirée est syntonisé, amplifié et filtré dans les premiers étages du récepteur.

Le détecteur AM (Modulation d'Amplitude) réalise ensuite une démodulation AM de la porteuse afin de récupérer les deux signaux la modulant en amplitude, soit le premier des deux 30 Hz et la « sous porteuse » de 9960 Hz (qui, elle, transporte le second signal 30 Hz, la modulant alors en FM).

La branche du bas est la récupération, par un filtre passe-bas dédié, du premier signal 30 Hz AM.

La branche du Haut est le filtrage passe-bande du signal 9960 Hz, puis la démodulation en fréquence du second signal 30 Hz FM.

La fonction comparateur est là pour calculer le déphasage entre les deux signaux 30 Hz et ainsi pouvoir interpréter l'angle du radial sur lequel se situe l'avion. L'information est ensuite filtrée, pour éliminer les bruits parasites et envoyé vers l'afficheur.

• **Avantages et inconvénients du VOR**

Le VOR est une balise, il peut donc servir un nombre infini d'avion sans risque de saturation comme en radiotéléphonie ; la précision de l'information atteint 2°. Ses caractéristiques sont celles des émissions VHF. L'émission n'est pas perturbée par les éléments atmosphériques ou géologiques (contrairement aux émissions MF) et donne au pilote une information correcte en permanence.

La portée est radioélectrique, donc c'est un système de navigation à courte distance. Elle est limitée à basse altitude

II.4.3 Equipement de mesure de distance DME

Le DME est un moyen de radionavigation qui donne une mesure continue de la distance oblique entre un avion et une balise au sol constituant la station DME. L'équipement de bord mesure le temps d'aller-retour d'impulsions émises à bord, reçues et transmises par la station au sol.

Le DME utilise une portion de bande UHF autour de 1000 MHz soit comprise entre 960 MHz et 1215 MHz. Un système DME se compose de :

- Un interrogateur à bord
- Un transpondeur au sol

Les DME sont généralement placés aux mêmes endroits que les VOR, grâce au couplage du DME à un VOR, on peut connaître la position exacte de l'aéronef ; le VOR indique sa position angulaire par rapport à la balise et le DME donne la distance oblique par rapport à la même balise.

Son principe de fonctionnement est le suivant (Figure II.4) :

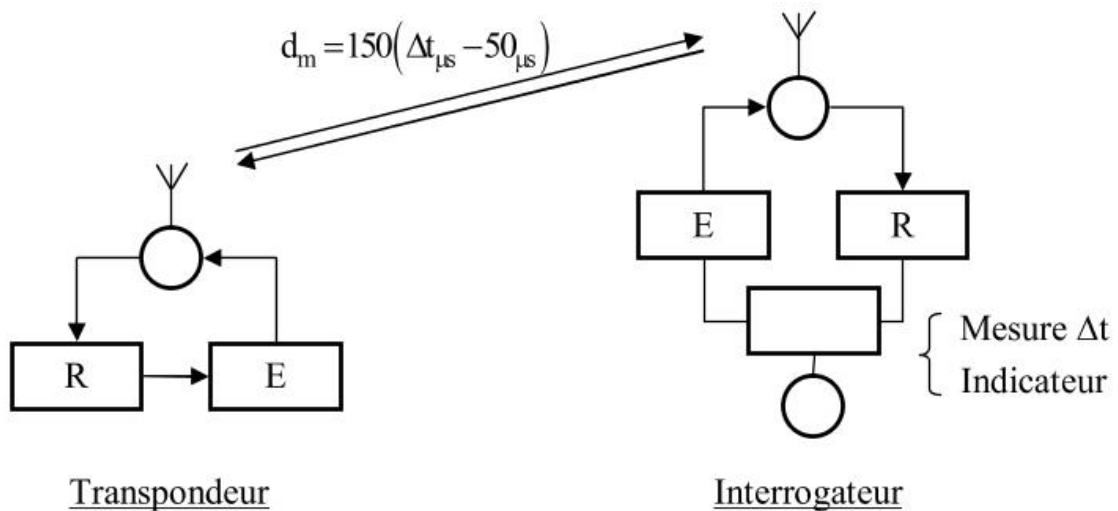


Figure II.4: Principe de DME

- **Interrogateur de bord**

Il permet :

- D'émettre des impulsions courtes de $3,4\mu s$
- De reconnaître et poursuivre les impulsions réponses, mesurer l'intervalle de temps t
- Séparant les impulsions émises et reçues et en déduire la distance d .

- **Transpondeur au sol**

Il permet :

- De recevoir les impulsions d'interrogation de tous les avions, retransmettre des impulsions de réponses avec un retard fixe par rapport aux interrogations de $50\mu s$.
- De transmettre sous forme d'impulsions un indicatif de la station.

II.4.4 Instrument Landing System ILS

L'ILS est un système permettant l'atterrissage aux instruments par visibilité réduite en fournissant une information de situation par rapport à la trajectoire nominale de descente, et une information de distance par rapport au seuil de piste.

[8]

Le système comporte trois équipements distincts (Figure II.5) :

- Localizer (Loc), (LLZ) dit Radioalignement de piste (RAP)
- Glide Path (GP) ou Glide Slope (GS) dit Radioalignement de descente (RAD)
- Les Markers (MKR)

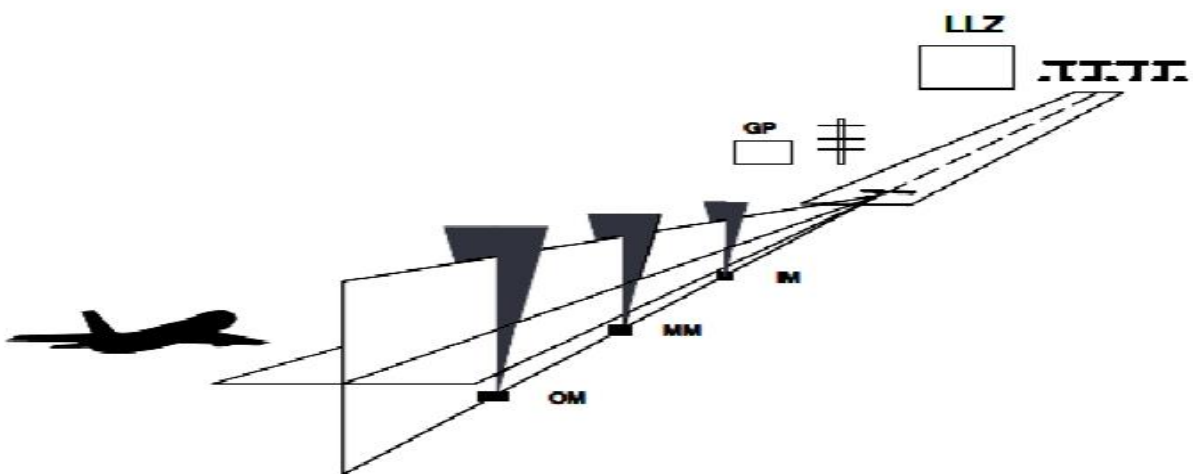


Figure II.5 : Composantes du système ILS

- **Avantages de l'ILS :**

- très grande précision.
- sous certaines conditions (dégagement des aires critiques, séparations accrues entre avions, secours électrique, balisage spécifique, ...), permet de réaliser des atterrissages automatiques et donc de se poser avec des visibilités très faibles.

- **Inconvénients de l'ILS :**

- sensible aux perturbations des faisceaux électriques (par véhicule ou avion au sol ou avion en vol.
- existence occasionnelle de faux axes par réflexion du faisceau sur un relief.
- faisceaux étroits nécessitant une aide pour la capture.

II.4.5 Système mondial de navigation par satellite (GNSS)

Le GNSS fournit aux aéronefs des données de position et des données temporelles. Ces données sont dérivées des mesures de pseudo distance entre l'aéronef muni d'un récepteur GNSS et les sources de signaux basées sur les satellites ou au sol.

- **Éléments du GNSS**

Le service de navigation du GNSS sera fourni à l'aide des éléments suivants, installés au sol ou à bord des satellites ou de l'aéronef, et pouvant être combinés de diverses façons :

- Le système mondial de localisation (GPS) qui est un système de navigation par satellite mis en œuvre par les États-Unis. assurant le service de localisation standard (SPS) qui est le niveau de précision en positionnement, en vitesse et en temps assuré à tout utilisateur du (GPS), quel que soit le point du globe considéré.
- Le système mondial de navigation par satellite (GLONASS) Système mondial de navigation par satellite mis en œuvre par la Fédération de Russie. fournissant les signaux de navigation du canal de précision standard (CSA) qui est le niveau de précision en positionnement, en vitesse et en temps assuré à tout usager du GLONASS, quel que soit le point du globe considéré.
- Le système de renforcement embarqué (ABAS) système qui renforce l'information provenant des autres éléments du GNSS par les données disponibles à bord de l'aéronef et/ou qui l'intègre à ces données.
- Le système de renforcement satellitaire (SBAS) système de renforcement à couverture étendue dans lequel l'utilisateur reçoit l'information de renforcement directement d'un émetteur basé sur satellite.
- Le système de renforcement au sol (GBAS) système de renforcement dans lequel l'utilisateur reçoit l'information de renforcement directement d'un émetteur au sol.
- Le système régional de renforcement au sol (GRAS) système de renforcement dans lequel l'utilisateur reçoit l'information de renforcement directement d'un émetteur faisant partie d'un groupe d'émetteurs au sol assurant la couverture d'une région.

Le récepteur GNSS embarqué système de détermination de la position et du temps, qui se compose d'une ou de plusieurs constellations de satellites, de récepteurs placés à bord des aéronefs et d'un contrôle de l'intégrité, renforcé selon les besoins pour obtenir la qualité de navigation requise dans la phase d'exploitation considérée.

- **Principe de fonctionnement**

Un système de positionnement par satellites fournit sur un récepteur les coordonnées géographiques (longitude, latitude), la vitesse de déplacement et l'heure à son utilisateur. Cette information est obtenue en mesurant la distance à un instant donné entre le récepteur de l'utilisateur et un satellite artificiel dont la position dans l'espace est connue avec précision. En combinant la mesure simultanée de la distance d'au moins quatre satellites, le récepteur est capable par trilatération de fournir la position et l'altitude avec une précision de l'ordre d'une dizaine de mètres et la vitesse avec une précision de quelques cm/s.

III.1 Introduction

Le NDB est une balise radio, omnidirectionnelle. C'est-à-dire que l'émetteur au sol émet un signal avec la même puissance, dans toutes les directions.

Avec ce type de balise, c'est le système embarqué dans l'avion qui détermine alors la direction de l'émetteur à l'aide du système ADF (Automatic Direction Finder).

Le NDB utilisés pour l'aviation sont normalisés par l'annexe 10 de l'OACI qui précise que NDB être exploités sur une fréquence comprise entre 190 kHz et 1750 kHz.

Note : Souvent, les deux termes NDB et ADF sont confondus car ils désignent des appareillages complémentaires. Cependant, le premier désigne l'émetteur au sol, alors que le second est le système de réception embarqué, capable d'indiquer la direction de l'émetteur.

III.2 L'équipement au sol (NDB)

Un NDB est un simple émetteur au sol, peu coûteux et de mise en œuvre relativement simple (c'est son principal avantage).

Il existe plusieurs types de station :

- Les balises de faible portée que l'on appelle « Locator » ayant une portée de 25NM. Leur indicatif est généralement à 2 lettres. Ces balises servent à effectuer des percées IFR et/ou à définir des attentes.
- Les balises NDB radiophare à longue portée. Elles jalonnent les voies aériennes dans certains pays. Leur indicatif est en général à 3 lettres.
- Les émetteurs de radiodiffusion. Ce ne sont pas des balises NDB à proprement dit mais ils peuvent être utilisés comme balise.

Les fréquences exploitées sont officiellement comprise entre 190 KHz et 1750 Khz (avec un espace libre entre 495 kHz et 505 kHz, afin de protéger la fréquence d'appel de détresse internationale maritime de 500kHz).

Cette longueur d'onde possède l'avantage particulier de permettre au signal de suivre la courbure terrestre et ainsi, d'offrir un rayon d'action relativement étendu. Cependant, elle est

Chapitre III Systèmes de radionavigation NDB, ADF

très sensible aux perturbations climatiques, ainsi qu'à l'environnement géographique. De nuit, elle est sujette à des phénomènes de propagation ionosphérique.

La puissance rayonnée des émetteurs NDB varie beaucoup. Communément comprise entre 25 et 100 W (Watt), elle peut atteindre et dépasser 1000 W sur certaines installations (jusqu'à 5 kW).

La porteuse est émise en continu et moduler à intervalles réguliers, par l'identification en code Morse de la balise (modulation A2). Ceci impose alors la présence d'un oscillateur interne au récepteur (BFO pour Beat Frequency Oscillator) qui va créer la « note » de cette identification par « battement » de phase avec la porteuse. Sur certains appareils, le bouton BFO est appelé « Tonalité ». L'identité peut être transmise par un signal de 400 ou de 1020 Hz.



Figure III.1: Antenne d'une station NDB.

Chapitre III Systèmes de radionavigation NDB, ADF

Accessoirement la porteuse d'un NDB peut aussi servir à transmettre :

- ATIS : Automatic Terminal Information Service.
- AWIS : Automatic Weather Information Service.
- AWOS : Automated Weather Observation System.
- ASOS : Automated Surface Observation System
- VOLMET : Meteorological Information Broadcast
- TWEB : Transcribed Weather Broadcast
- PIP : Code morse supplémentaire indiquant une mal fonction du NDB

Certaines installations NDB permettent au contrôleur d'utiliser un micro pour transmettre en phonie sur la porteuse. C'est un système de secours. Le pilote peut entendre via le haut parleur de l'ADF.

III.2.1 Diagramme d'émission

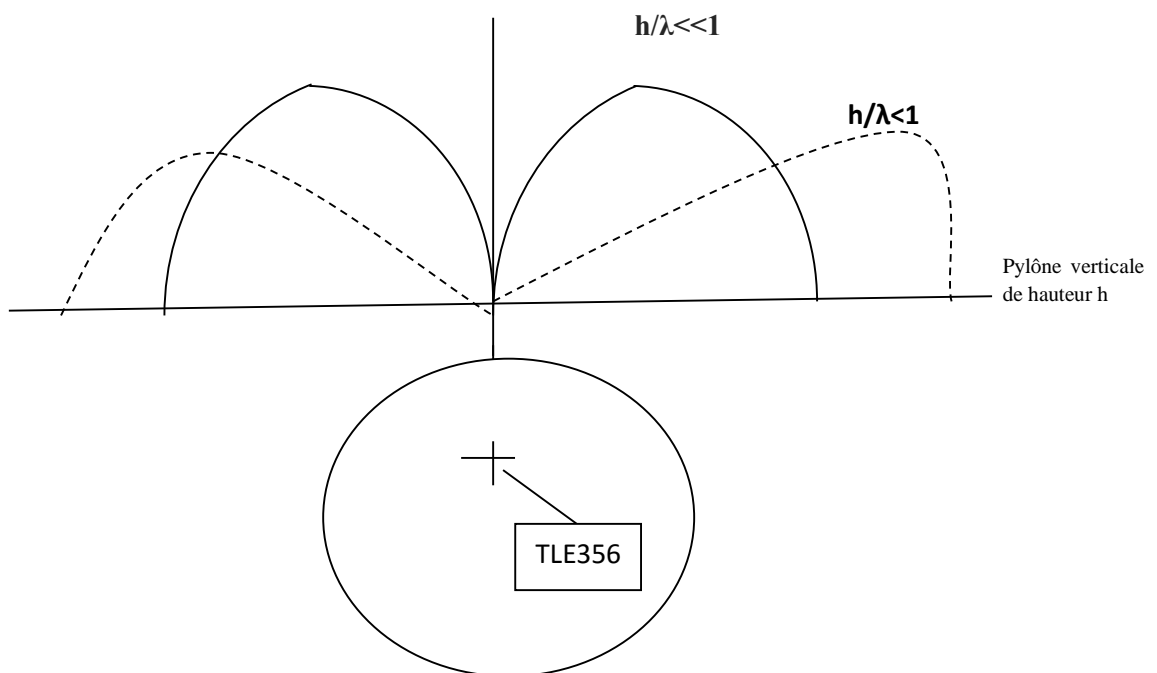


Figure III.2 : Diagramme d'émission NDB (polarisation verticale).

Diagramme d'émission omnidirectionnel en azimut, le diagramme en site dépend du type d'antenne, mais présente toujours un nul à la verticale, en fait un cône de silence à l'intérieur duquel il n'y a pas de signal.

On admet une ouverture du cône de silence à $\pm 45^\circ$.

III.1.2 Propagation

A court et moyenne distance propagation directe jusqu'à l'horizon radio. Au-delà possibilité de recevoir par onde sol, donc à très basse altitude, mais de nuit très grave limitation à cause de l'onde de ciel.

Champ requis :

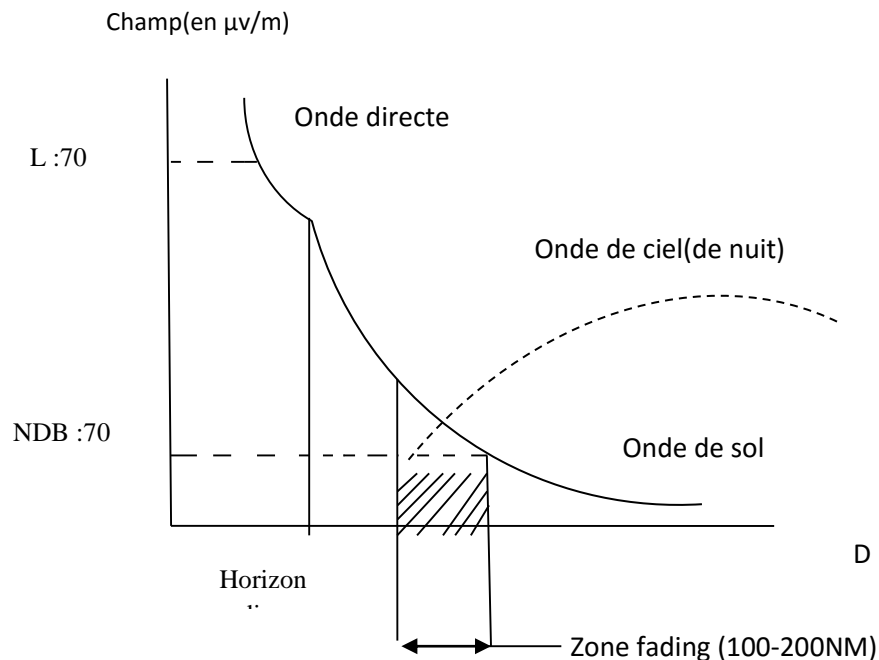


Figure III.3 : Propagations et champ MF en fonction de la distance.

- *Fading c'est-à-dire extinction périodique du signal.*
- *Erreur de nuit par sa composante de polarisation horizontale.*

Zone fading :

La position de cette zone dépend des conditions de propagation ionosphériques mais aussi de l'affaiblissement de l'onde directe au sol. On remarque qu'elle est indépendante de la puissance d'émission (rapport des champs inchangé).

La portée pratique des radiobalises et radiophares :

On considère que l'utilisation sûre du radiocompas exige un champ de $70 \mu\text{v/m}$ avec $S/B > 15 \text{ dB}$. La portée dépend donc de la puissance émise (rapport S/B) mais aussi de la nature du sol (plus grande portée sur mer) et des conditions atmosphériques (portée diminuée aux latitudes basses à fort bruit atmosphérique).

III.2. 3 Représentation du NDB sur la carte

Le symbole d'emplacement des NDB sur les cartes aéronautique est celui représenté ci-dessous.

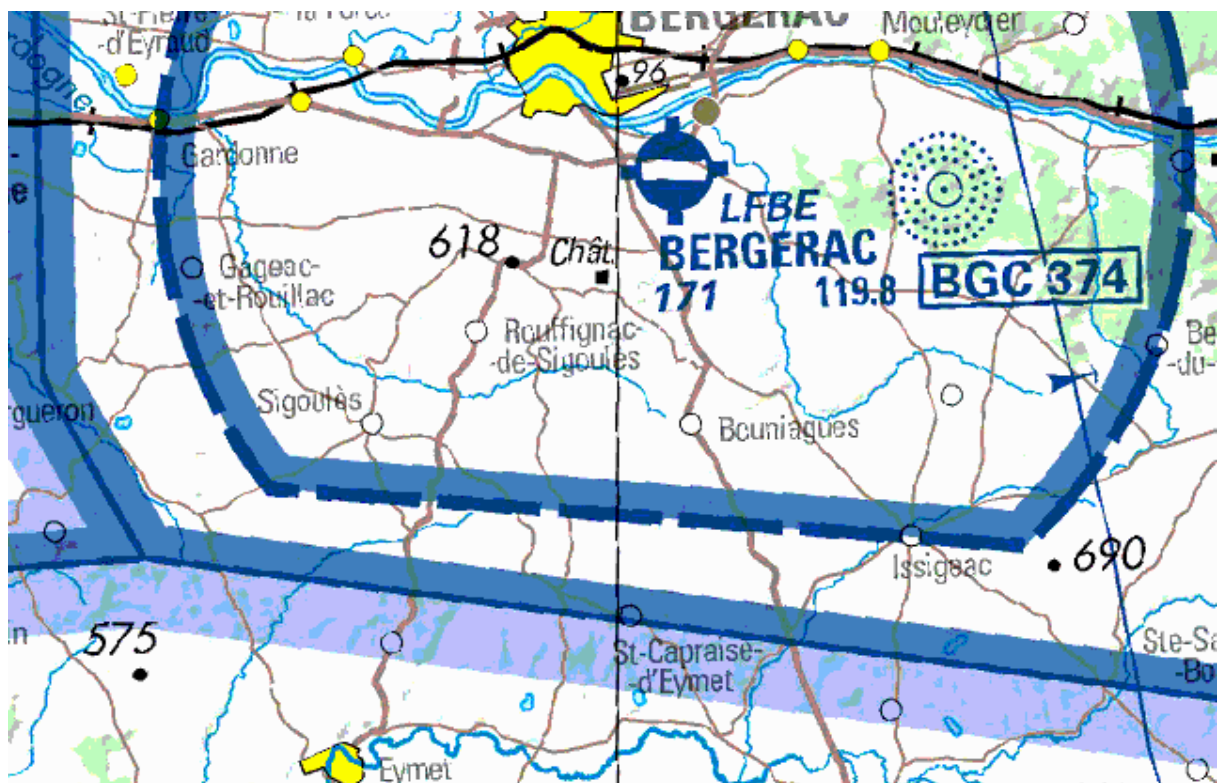


Figure III.4: Représentation du NDB sur la carte.

III.1.4 Les avantages et les inconvénients des NDB

Les avantages des NDB

- Son utilisation est possible pour des portées super-optiques et à basse altitude.
- La matérialisation de la position de l'avion par rapport à la balise est aisée

Les inconvénients des NDB

- L'ADF est très sensible aux parasites atmosphériques tels que les orages
- Les ondes peuvent être réfléchies par le relief (montagnes)
- La précision angulaire est médiocre de l'ordre de 5 à 10°
- L'ADF peut recevoir de nuit une onde directe de surface et une onde réfléchie par les couches ionosphériques. Dans certains cas, les interférences entre ces ondes rendent inutilisable l'ADF.
- La conductibilité des ondes radio change entre la mer et la terre. Il en résulte des déviations d'ondes et donc de direction quand l'avion est au-dessus de la mer.

III.3 L'équipement au bord (ADF)

III.3.1 Introduction

Un des plus vieux types d'aide à la navigation par onde radio est l'ADF (Automatic Direction Finder) ou le radiocompas. Le récepteur ADF, souvent utilisé comme instrument de navigation de secours pour des instruments VHF, comme le VOR, il peut être utilisé lorsqu'il n'y a plus de portée optique permettant d'utiliser certains instruments de navigation ou bien lorsqu'il n'y a pas d'équipement VOR au sol ou à bord. Il est utilisé pour se positionner, recevoir des communications sur basses et moyenne fréquence, naviguer vers une station NDB et suivre une route.

L'utilisation d'un ADF peut avoir beaucoup d'avantages :

- Faible coût d'installation pour la station au sol
- Faible coût d'entretien pour la station au sol
- Avec l'installation des NDB peu coûteuse, beaucoup de petits aéroports peuvent fournir des approches IFR.

- Le NDB permet la navigation dans les régions de terminal ou dans les « airways » de bas niveau ne bénéficiant pas de couverture VOR.

III.3.2 Les antennes

L'ADF reçoit les signaux sur deux antennes, L'antenne cadre et l'antenne de lever de doute. L'antenne cadre, communément appelé loop, est en fait une petite antenne plate sans partie qui bouge. Placé verticalement, ce cadre devient un collecteur d'ondes de sol à effet directif. La tension induite par l'onde électromagnétique qui provient du NDB est captée par le cadre et acheminée vers le récepteur équipé d'un modulateur 50 Hz. Un transmetteur de type synchro, solidaire du cadre, va transmettre grâce à son moteur électrique la position du cadre à l'aiguille de l'ADF. Celle-ci indiquera par conséquent la direction de la balise par rapport à l'axe de l'avion.

Dans l'antenne se trouvent plusieurs embobinages placés à différents angles, cela ne lui permet pas de déterminer si on se dirige ou si on s'éloigne d'une station NDB, L'antenne de lever de doute fournira cette information ainsi que la réception audio.

L'antenne NDB est une antenne verticale à polarisation verticale adaptée à la fréquence d'émission comprises entre 200 et 1750 KHz. Cette gamme de fréquence permet une propagation au-delà de l'horizon.

L'antenne constituera ainsi un véritable radiophare qui pourra guider les avions équipés d'un ADF.

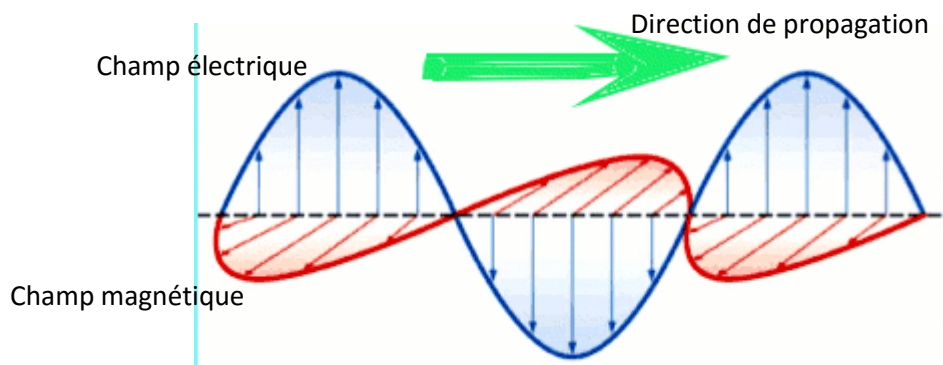


Figure III.5: Propagation de l'onde électromagnétique plane à polarisation verticale.

Chapitre III Systèmes de radionavigation NDB, ADF

Voici une onde électromagnétique (ou radio) comme illustre la figure III.5 qui se propage dans la direction de la flèche. Comme son nom l'indique, elle est constituée d'une partie électrique (en bleu), et d'une partie magnétique (en rouge).

La polarisation suit la direction du champ électrique, Puisque dans ce cas-ci, le champ électrique est vertical, la polarisation est verticale.

L'A.D.F est un dispositif récepteur capable d'indiquer la direction de l'émetteur NDB.

L'antenne utilisée est un loop (une boucle) qui fonctionne comme les antennes ferrite des anciens postes de radio à transistor.

Rappelons que les ondes radios sont des ondes électromagnétiques, on peut donc capter soit leur champ électrique (antenne traditionnelle), soit leur champ magnétique (loop ou antennes ferrite). Les ondes émises par une antenne verticale se propagent comme ceci:

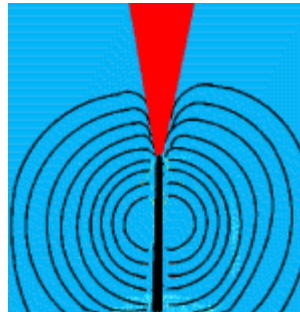


Figure III.6: Vue latérale de la propagation d'une onde émise par une antenne verticale.

Avec au sommet, et s'étendant vers le haut, un cône de silence de plus ou moins 10°. Vue par le dessus, la propagation se fait comme des ronds dans l'eau, comme ceci:

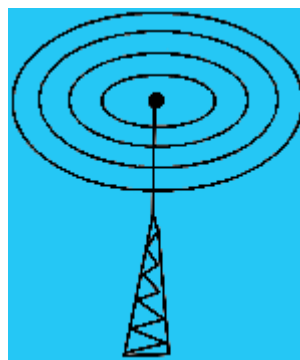


Figure III.7: Vue de dessus de la propagation d'une onde émise par une antenne verticale.

Une antenne de type ferrite ou un loop atteint son maximum de réception lorsqu'un maximum de lignes de flux magnétique est intercepté, donc lorsque l'antenne est orientée de telle façon que les faces du loop soient perpendiculaires à la direction de l'antenne émettrice, comme ceci:

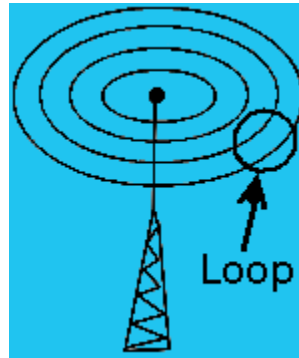


Figure III. 8: Maximum de réception par une antenne loop.

Lorsque l'une ou l'autre face est orientée en direction de l'émetteur, les lignes de flux ne traversent plus la ou les spire(s), et la réception est nulle.

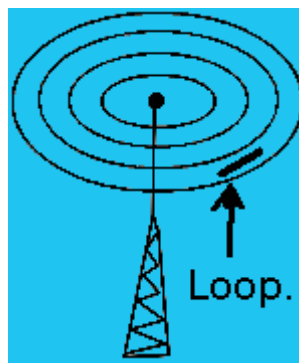


Figure III.9: Minimum de réception par une antenne loop

Toutefois, cela n'est pas suffisant pour connaître précisément, et avec certitude la position de l'émetteur, car pour une antenne loop, le maximum de réception est atteint quel que soit le côté d'où proviennent les ondes pourvu que la direction de l'émetteur soit perpendiculaire à l'axe de la bobine ou de la spire.

En d'autres termes, les deux situations suivantes conduisent toutes les deux à une réception maximale.

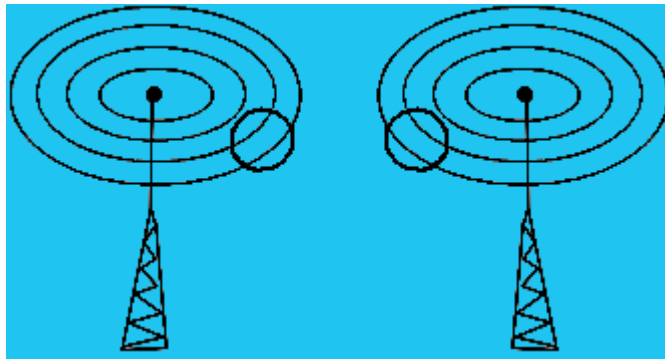


Figure III.10 : Deux cas de réception maximum par une antenne loop

Une seule chose peut différencier ces deux situations: l'opposition de phase.

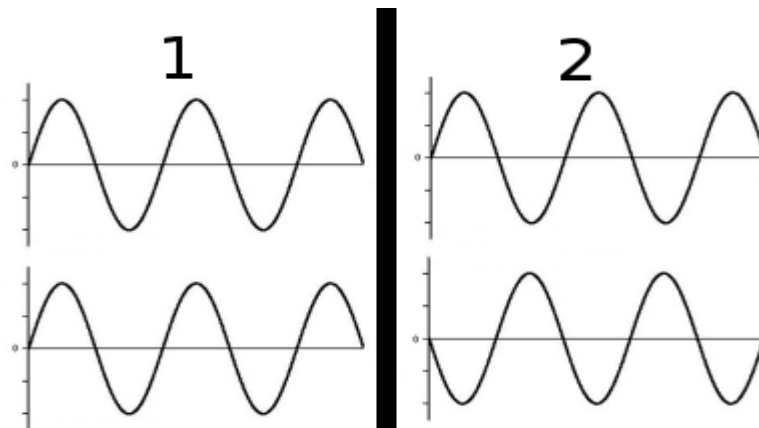


Figure III.11: Deux ondes en concordance de phase (1)/deux ondes en oppositions de phases(2).

Dans la première colonne (à gauche), les deux ondes sont en concordance de phase puisqu'elles peuvent se superposer parfaitement, dans la deuxième colonne (à droite), les deux ondes sont en opposition de phase, car celle du bas est exactement à l'opposé de celle du haut, et si on les superpose, elles s'annulent mutuellement.

De la même manière, selon que l'antenne émettrice sera d'un côté ou de l'autre, le sens d'arrivée du flux magnétique sera inversé, et par conséquent le courant induit dans n'importe laquelle des deux situations sera en opposition de phase avec l'autre.

Cette opposition de phase n'est pas suffisante pour différencier les deux situations car on ne peut connaître la phase qui correspond à la bonne situation.

En rajoutons une antenne traditionnelle verticale qui fonctionne sur la partie électrique de l'onde électromagnétique. Le champ électrique étant vertical (polarisation verticale), aucune variation de position du récepteur dans le plan horizontal n'a pas d'influence sur le sens du champ électrique au niveau de cette antenne. En conséquence, il ne peut y avoir

Chapitre III Systèmes de radionavigation NDB, ADF

aucune opposition de phase dans cette antenne verticale, quel que soit sa position par rapport à l'émetteur (sauf en la retournant la tête en bas).

L'antenne verticale est donc soit en concordance de phase, soit en opposition de phase avec le loop.

Dans un A.D.F. le signal capté par les deux antennes sont mélangés, et amplifiés jusqu'à ce qu'ils soient capable d'alimenter un moteur électrique, et c'est ce moteur électrique qui entraîne la rotation de l'antenne directionnelle (loop).

Dès qu'un signal sera reçu, l'antenne directionnelle se mettra donc à tourner jusqu'à ce que son orientation l'amène à être en opposition de phase avec l'antenne verticale.

A ce moment là, les deux signaux, l'un en provenance de l'antenne directionnelle (loop), l'autre en provenance de l'antenne verticale, s'annuleront mutuellement puisqu'il y a opposition de phase.

Une seule orientation de l'antenne directionnelle par rapport à l'émetteur donne une opposition de phase avec l'antenne verticale (l'autre donne une concordance de phase donc une augmentation du signal). Il n'y a donc qu'une seule orientation du loop qui provoque l'arrêt du moteur.

C'est à ce niveau qu'une vraie différence peut être faite. Une aiguille solidaire du loop tourne en même temps que lui, et s'arrête donc en même temps que lui. L'instrument est construit de manière à ce que l'aiguille indique la direction de l'émetteur lorsque le moteur s'arrête.

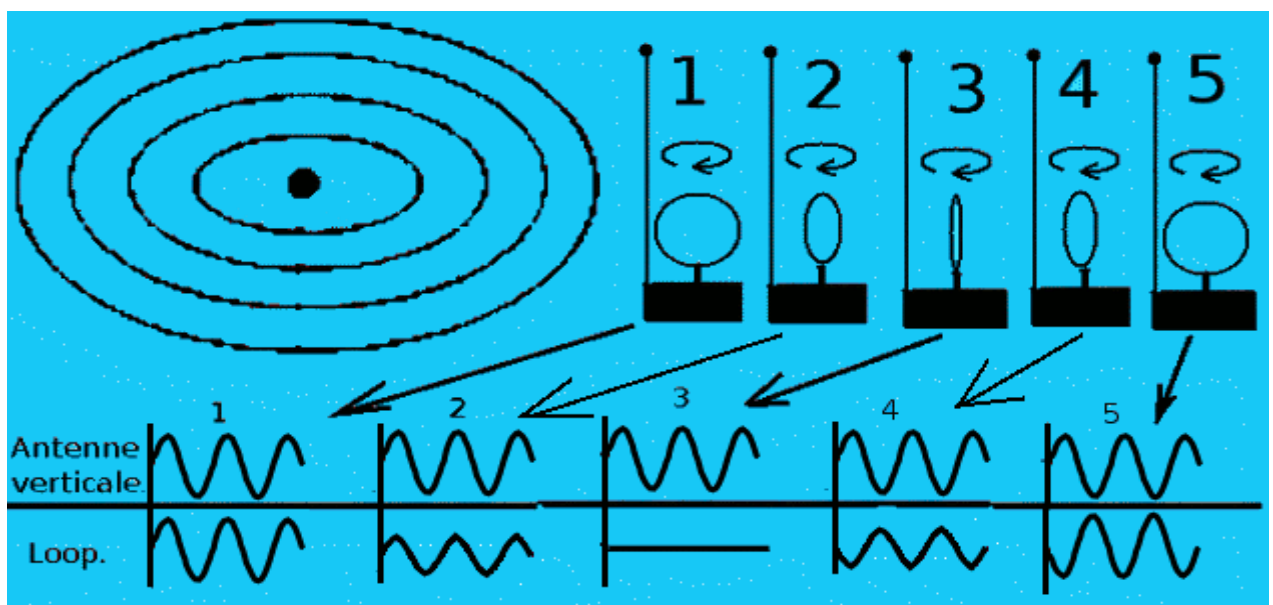


Figure III.12 : Processus de recherche de position.

En 1, le signal de l'antenne verticale et celui du loop sont en concordance de phase, ils sont de même valeur, et donc la somme des deux donne une valeur double de celle d'un signal unique.

En 2, Le signal de l'antenne verticale et celui du loop sont en concordance de phase, le signal du loop est plus faible, leur somme vaut approximativement 1.5 fois celui de l'antenne verticale seule.

En 3, seule l'antenne verticale capte quelque chose, le loop ne capte rien, la somme des deux signaux est égale au seul signal de l'antenne verticale.

En 4 le signal de l'antenne verticale, et celui du loop sont en opposition de phase, cette opposition de phase a pour conséquence que la somme des deux devient une différence, le signal du loop est plus faible que celui de l'antenne verticale, et leur différence donne une valeur plus faible que le signal de l'antenne verticale seule, mais non nulle.

En 5, le signal de l'antenne verticale et celui du loop sont en opposition de phase, ils sont égaux en valeur et leur somme (différence puisque opposition de phase) est donc nulle, et ceci entraîne l'arrêt de la rotation du moteur.

L'antenne verticale de l'A.D.F., permettant de départager les deux possibilités d'orientation qui existaient avec le loop seul, s'appelle **antenne de lever de doute**.

Remarque: sur les A.D.F. modernes, l'antenne directionnelle ne tourne plus, un dispositif électronique remplace cette rotation, ce qui supprime l'usure.

L'aiguille de l'A.D.F. est placée sur un cadran dont les graduations permettent de connaître l'angle que fait l'axe de l'avion avec la direction du N.D.B. (l'antenne émettrice).

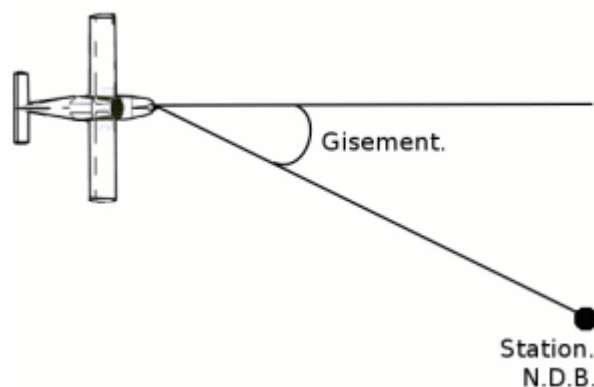


Figure III.13: Gisement d'une station NDB.

III.3.3 Le boîtier de commande

Le boîtier de commande ADF permet la mise en route, la sélection de la fréquence et des différents modes.

Les principales fonctions que l'on y trouve sont :

- ADF : Utilisation des deux antennes. Fonction principale de navigation.
- BFO : Enclenchement de « l'oscillateur de battement » pour écoute de l'identification.
- ANT : Utilisation unique de l'antenne de levée de doute, pour réception de l'ID ou de messages.
- FRQ : Sélection manuelle de la fréquence à utiliser (molette rotative).

III.3.4 L'indicateur ADF

L'indicateur visuel ADF permet un affichage du gisement de la balise.

Il existe différents modèles :

- Cadre fixe ou « RBI » (Relative BearingIndicator)
- Cadre mobile ou « RMI » (Relative MagneticIndicator)
- Cadre mobile automatique ou « RMI » (Radio MagneticIndicator)

III.3.4.1 ADF à cadre fixe :(Modèle RBI- Relative BearingIndicator)

Une aiguille indique où se trouve la station au sol par rapport au nez de l'aéronef. L'instrument est entouré d'une carte de direction magnétique non mobile. Pour l'utilisation d'un tel instrument, il est nécessaire de déterminer le relèvement magnétique d'une station par une formule.

L'instrument est entouré d'une carte de directions magnétiques, non mobile, graduée de 0 à 359°. Pour déterminer le relèvement magnétique, il faut alors effectuer un petit calcul :

$$\text{Relèvement magnétique} = \text{cap magnétique de l'aéronef} + \text{gisement.}$$

Chapitre III Systèmes de radionavigation NDB, ADF

- Relèvement magnétique : Route magnétique à prendre pour rejoindre la station.
- Cap magnétique : Indication d'un compas magnétique.
- Gisement : Angle que fait la direction de la station avec le nez de l'aéronef.

III.3.4.2 ADF à cadre mobile (Modèle RMI-Relative Magnetic Indicator)

Afin d'éviter les calculs lors de la navigation, la carte est une rose des vents mobile et un bouton (HDG) permet de faire coïncider le cap avec le nez de l'appareil sur l'instrument. La lecture donne alors directement le relèvement magnétique de la balise au sol.



Figure III.14: Indicateur ADF à cadre mobile.

III.3.4.3 ADF à cadre mobile automatique

Le terme RMI devrait cependant être réservé aux afficheurs où la rose des vents est asservie par une vanne de flux. Ils procurent effectivement une indication radio (la direction du NDB) et une indication magnétique, la rose des vents s'orientant automatiquement en fonction du cap suivi. On parle alors de Radio Magnetic Indicator.



Figure III.15: Indicateur RMI.

III.3.5 Fonctionnement de la détection

Le récepteur utilise deux antennes, l'une de type « cadre » (ou loop), hautement directive, orientée par un moteur et une seconde fixe et omnidirectionnelle appelée « antenne de levée de doute » qui utilise principalement la composante électrique de l'onde électromagnétique, l'antenne cadre sera sensible à sa composante magnétique. La réception est maximale quand les spires de l'antenne cadre sont alignées dans l'axe de direction de l'émetteur et nulle dans le cas où elles sont perpendiculaire à cette axe.

Un synchro-transmetteur, solidaire du cadre, transmet sa position à l'indicateur qui affiche la direction vers laquelle se trouve l'émetteur.

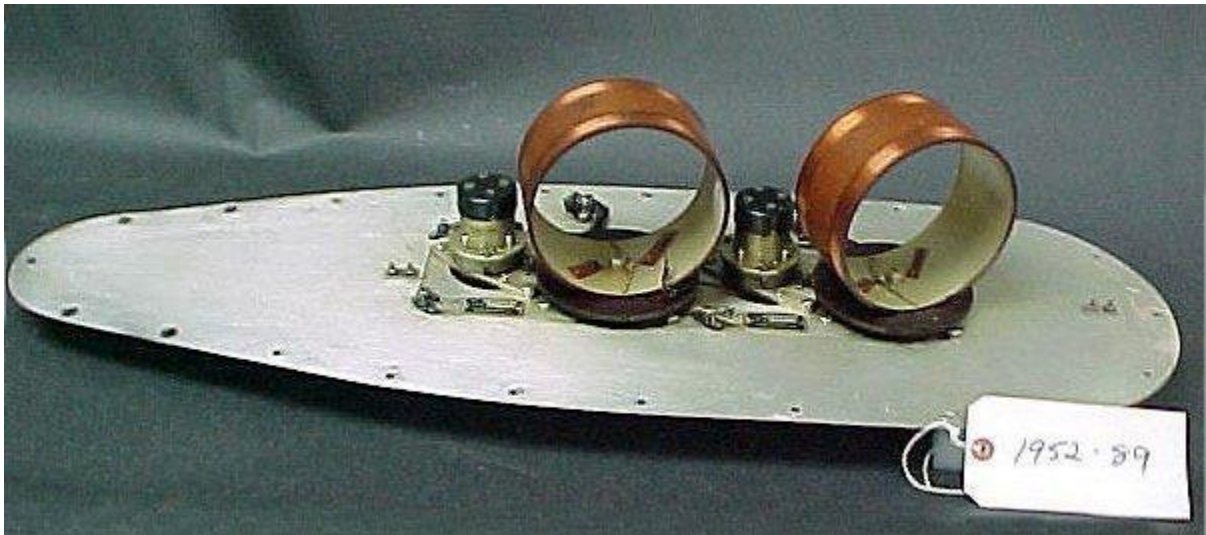


Figure III.16: Antenne cadre (loop).

Les ADF modernes n'utilisent plus de cadre rotatif, mais des groupes de petits dipôles, dont on analyse la phase ou l'amplitude (les deux principes coexistent) des signaux reçus. La direction est calculée et transmise à l'indicateur par le biais de microprocesseurs. Ne plus avoir de pièces en mouvement apporte un gros avantage sur la fiabilité.

III.3.6 Utilisation en pratique

Pour utiliser un ADF afin de se diriger sur un NDB il faut :

- Allumer le récepteur ADF (s'il n'est pas allumé automatiquement)
- Régler la fréquence de l'ADF sur la fréquence du NDB choisi

Chapitre III Systèmes de radionavigation NDB, ADF

- Vérifier l'identification audio de la station.
- Ajuster le cap de l'appareil jusqu'à ce que l'aiguille de l'ADF pointe dans la même direction que le nez de l'avion.

Quand un pilote se dirige vers un NDB, il suit un track magnétique en rapprochement vers le NDB. La valeur du track magnétique est le cap indiqué par l'aiguille de l'ADF pour les modèles automatiques.

Pour s'éloigner d'un NDB, c'est la même procédure, mais on aligne alors la queue de l'aiguille avec le nez de l'avion.

Un ADF pointe toujours en direction de la balise quel que soit la direction de l'appareil.

IV.1 Introduction :

Pour répondre aux besoins spécifiques des utilisateurs et prendre en compte les conditions particulières d'implantation de ce matériel différentes versions ont été développées. L'ILS (Instrument Landing System) est un système d'aide à l'atterrissage aux instruments par visibilité réduite. Les informations délivrées au pilote sont des informations :

- continues de position par rapport à l'axe de la piste Localizer
- continues de position par rapport à un plan oblique de descente aboutissant à la piste Glide Path

- discontinues de distance par rapport au seuil de piste Markers
- continues de distance par rapport au seuil de piste si l'ILS est couplé avec un DME

L'avion est autonome et aucune liaison sol-air n'est nécessaire.

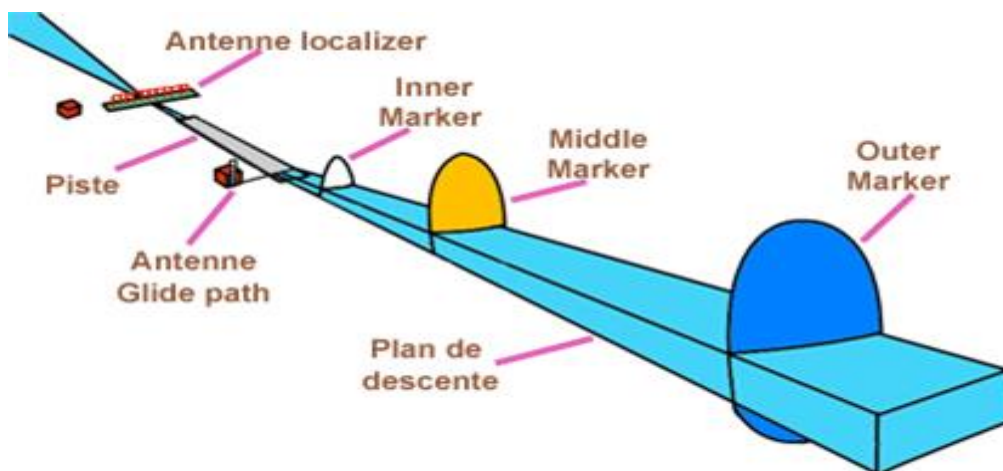


Figure IV.1 : Les différents composants du système ILS

IV.2 Localizer ou radiophare d'alignement de piste (LLZ) :

Le but du localizer est de donner une information continue d'écart dans un plan horizontal (azimut), en émettant grâce à un ensemble d'antennes des signaux radioélectriques dans l'axe de piste.

Les fréquences utilisées se situent dans la gamme VHF entre 108 et 111.95MHz, la progression est de 50KHz ou 150KHz, la première décimale étant toujours impaire 108,1MHz - 108,15MHz - 108,3MHz - 108,35MHz - 108,5MHz - 108,55MHz etc...

Les fréquences du glide path et DME lorsqu'il existe sont dans des gammes de fréquences différentes UHF mais l'utilisateur affiche une seule fréquence, celle du localizer pour utiliser le système de l'ensemble de l'ILS.

Les antennes sont normalement situées à 300m après l'extrémité de piste opposée au point d'impact à l'atterrissage.

IV.2.1 Principe de fonctionnement du Localizer :

Un ensemble d'antennes au sol rayonne une porteuse VHF modulée en amplitude par deux fréquences 90 et 150 hz. Les taux de modulation dépendent de la direction d'émission, de telle sorte que soient délimitées de part et d'autre de l'axe de piste deux zones.

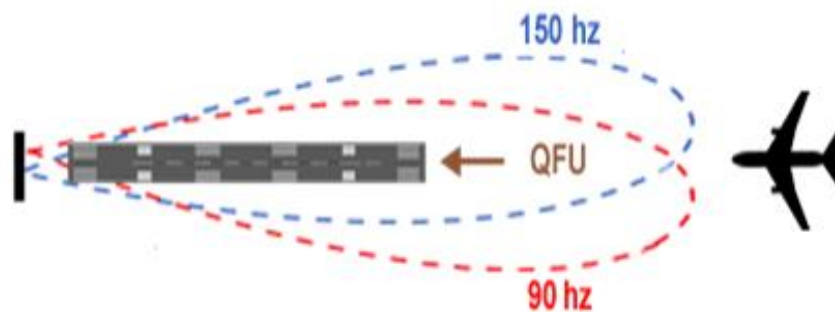


Figure IV.2 : Fonctionnement du Loc

IV.2.2 Variation des taux de modulation d'espace :

Le plan est défini à l'aide d'un signal VHF modulé en amplitude simultanément par du 90 et ou 150 hz. Cette variation respecte les critères suivants:

- La variation des taux de modulation M90 et M150 est symétrique de part et d'autre du plan vertical d'axe de piste:
- Dans ce même plan, les taux de modulation seront égaux : $M90 = M150 = 20\%$

- Par convention, vu du sens d'approche M90 prédominera à gauche et inversement M150 sera prépondérant à droite du plan.

En résumé le positionnement par rapport au plan s'écrit alors:

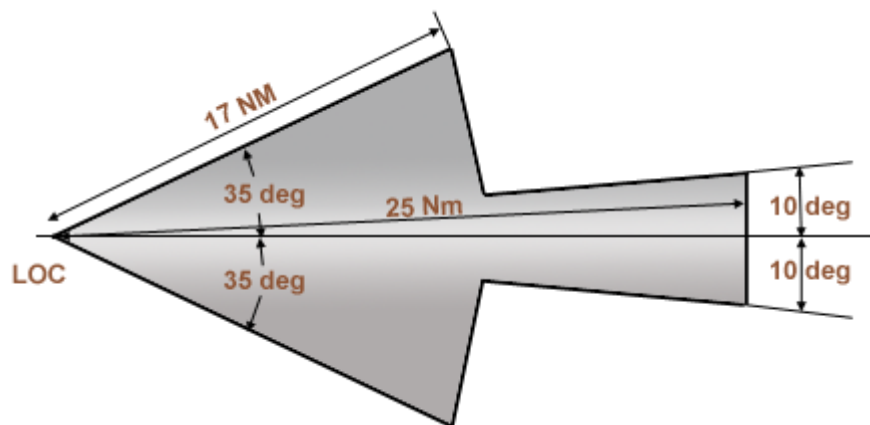
- Zone de l'espace où $M90 > M150$ à gauche du plan.
- Zone de l'espace où $M90 = M150$ sur le plan. (angle=0)
- Zone de l'espace où $M90 < M150$ à droite du plan.

IV.2.3 Couverture volumétrique :

C'est le volume délimité dans l'espace ou les signaux ILS sont normalement reçus. En France, le rayonnement arrière d'un ILS ne peut en aucun cas être utilisé comme un moyen de guidage ou de confirmation de position. En effet, quel que soit le type de matériel, ce rayonnement, lorsqu'il existe, n'est jamais surveillé et peut fournir des informations aberrantes.

IV.2.4 Couverture en azimut

La plage d'utilisation normale du radiophare d'alignement de piste est de $\pm 35^\circ$ sur 17NM, et $\pm 10^\circ$ sur 25NM. Dans certains cas le premier secteur peut même être plus étroit du fait de perturbations dues à l'environnement.



FigureIV.3 : Couverture de loc en azimute

IV.2.5 Couverture en site

Les signaux localizer doivent être normalement reçus à l'intérieur du volume délimité par un plan incliné de 7° sur l'horizontale. Le signal devra être également reçu au plus haut des deux points suivants:

- 600 mètres au-dessus du seuil ou ;
- 300 mètres au-dessus du niveau du point le plus élevé des aires d'approche intermédiaire ou finale.

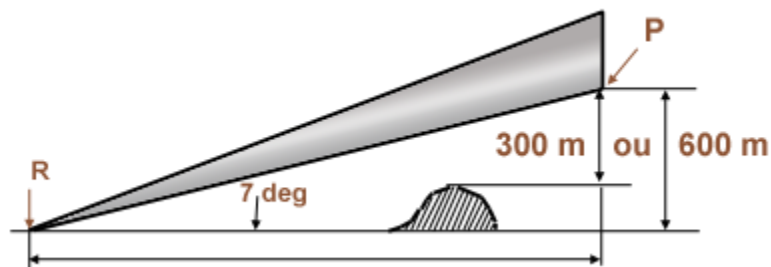


Figure IV.4 : Couverture de Loc en site

IV.2.6 Instrument de bord – Récepteur

L'avion équipé d'une antenne de réception à polarisation horizontale reçoit les signaux du localizer par le même récepteur VHF que pour la réception des signaux VOR.

Une fois le signal capté, il est ensuite démodulé puis envoyé vers:

- Les deux filtres passent bande de 90 Hz et 150 Hz. Ces tensions alternatives 90 et 150 obtenues sont redressées et transformées en tensions continues de V90 et V150. Dans un premier circuit on effectue la différence de ces deux tensions et on obtient une tension proportionnelle à la différence de taux de modulation DDM. Cette tension est utilisée pour dévier l'aiguille de guidage vertical azimut. En effet si le récepteur est régulé par une C.A.G extrêmement efficace, les variations des fréquences 90 Hz et 150 Hz du signal composite ne résulteront que des variations des taux de modulation 90 et 150 du signal d'entrée et non pas de la porteuse.

- Le filtre 1020 Hz pour l'indicatif qui transmet le code Morse d'identification de la station correspondant généralement à 2 ou 3 lettres de l'alphabet transmis au moins 6 fois par minute.

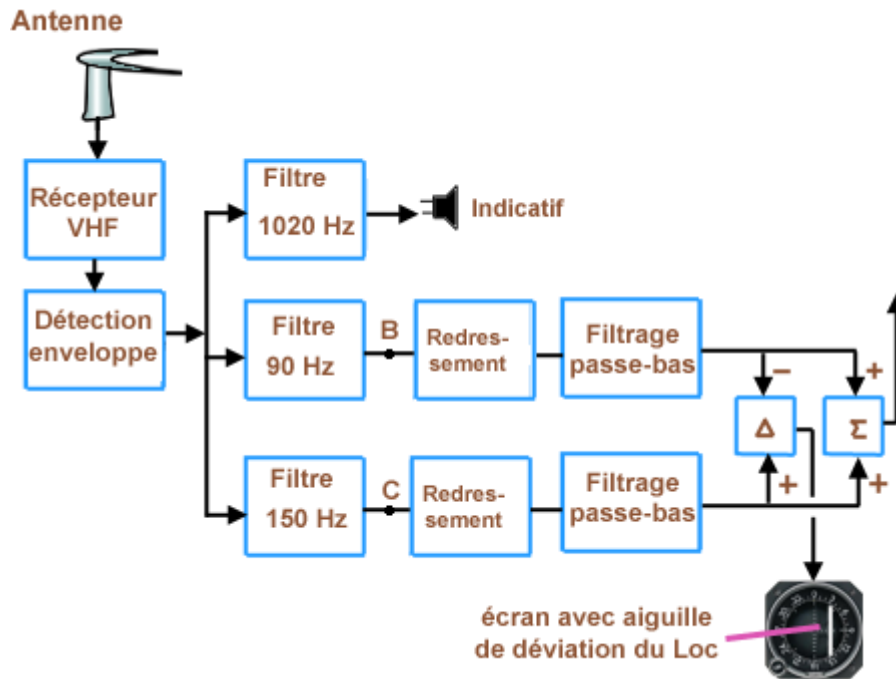


Figure IV.5 : passage du signal reçu au borde de Loc

L'intégrité du signal est évaluée dans un second circuit. En effet on peut remarquer que la somme des modulations SDM reste constante et sensiblement égale à 0,4 dans la zone d'azimut considérée. Toute diminution de SDM entraînera l'apparition d'un drapeau d'alarme Flag.

Lorsque l'avion se trouve sur l'axe de piste, les harmoniques 90 et 150 Hz ont la même amplitude et la DDM est nulle. L'aiguille indicatrice est positionnée au centre du cadran.



Figure IV.6 : L'aiguille indicatrice est positionnée au centre du cadran

Lorsque l'avion se trouve à gauche de l'axe de piste, la tension sortant du filtre 90 Hz est inférieure à la tension du filtre 150 Hz. L'aiguille dévié à droite.



Figure IV.7 : L'aiguille indicatrice est positionnée au gauche du cadran

Lorsque l'avion se trouve à droite de l'axe de piste, la tension sortant du filtre 90 Hz est supérieure à la tension du filtre 150 Hz. L'aiguille dévié à gauche.



Figure IV.8 : L'aiguille indicatrice est positionnée à la droite du cadran

Note: indique toujours le sens de la correction à effectuer, mais n'indique en aucun cas la distance par rapport à l'axe. Seul un écart angulaire est fourni au pilote par l'intermédiaire de 5 points de part et d'autre du centre de l'écran. La pleine déviation correspond à un écart de 2,5° soit 0,5° entre deux graduations.

IV.3 Implantation du LOC :

- **Site d'implantation**

Nom du Site d'implantation	Béchar	Piste d'installation	24-06
		Catégorie de l'ILS	2

Tableau IV.1 : Site d'implantation

- **Piste d'installation :**

Longueur de la piste d'atterrissage (mètre)	3600
Largeur de la piste d'atterrissage (mètre)	45
QFU Préférentiel	24

Tableau IV.2 : Piste d'installation

- **Caractéristique générale du Localizer :**

Localizer	Mono- fréq	Bi- fréq
Fréquence de la station LOC	108.1	
Indicatif de l'ILS	334.7	
Ouverture faisceau	3.57°	
QFU préférentiel	24	

Tableau IV.3 : Caractéristique générale du Localizer

• **Les Points d'implantation de la station LOC**

Position du réseau d'antenne par rapport au seuil 24 (X en [mètre])	300
Position du shelter LOC par rapport au Center Line (Y en [mètre])	65
Position du moniteur champ proche NF par rapport au réseau d'antenne (Z en [mètre])	100
Position de la rose de mesure (R)	150

Tableau IV.4 : Les Points d'implantation de la station LOC

• **Coordonnées géographiques**

	Coordonnées Géographiques
Réseau d'antenne LOC	31°37'45.33"N 002°15'40.30"W
Shelter LOC	31°30'45.33"N 002°10'40.30"W

Tableau IV.5 : coordonnées géographiques

• **Liste d'appareils de mesure utilisés dans l'implantation**

type d'instrument	Marque	Type	N° de série
Récepteur ILS	NORMARC	7710	747
Oscilloscope numérique	Tektronix	TDS 3032C	C020016
Wattmètre analogique	Telewave	44AP	35279
wattmètre numérique	Keysight	V3500A	MY553226004
fréquence-mètre numérique	FLUKE	PM6662	644867
Peak wattmètre numérique	KEYSIGHT	E4416A	MY553226004
Analyseur réseau vectoriel	Anritsu	MS-2024B	153012

Tableau IV.6 : Liste d'appareils de mesure utilisés dans l'implantation

- **Schéma d'implantation du LOC**

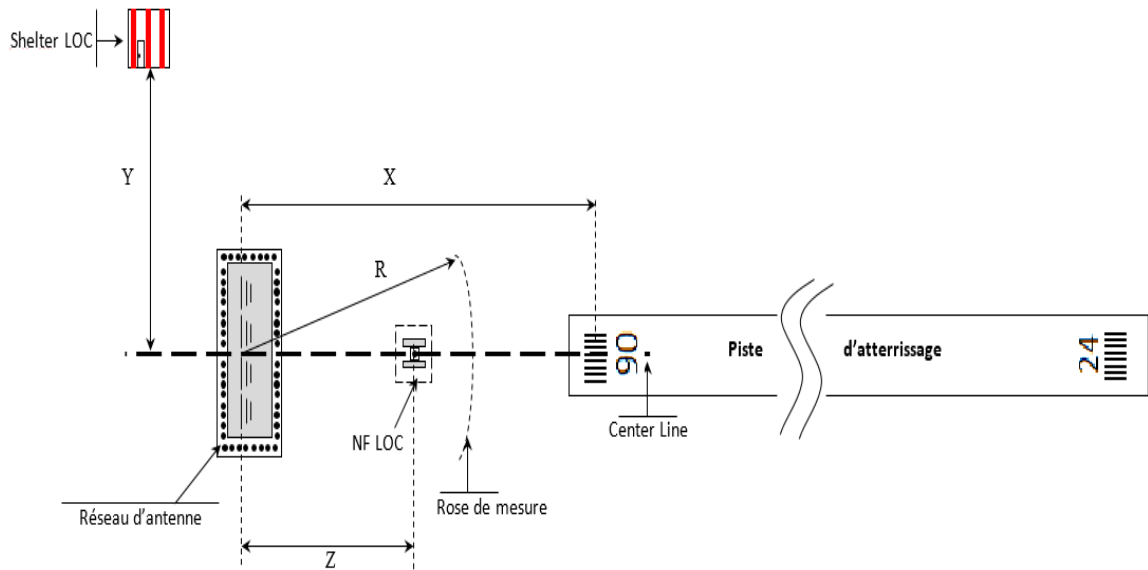


Figure IV.9 : schéma d'implantation du LOC

VI.4 Vérification de l'implantation mécanique du LOC :

- **Contrôle visuel du pointage en azimut des antennes :**

- Le pointage est bien fait
- Le pointage n'est pas bien fait.

- **Vérification de l'alignement des antennes (vertical et latéral):**

- l'alignement est bien fait.
- L'alignement n'est pas bien fait.

- **Vérification de l'espacement entre antennes :**

- l'espacement est correct. (Tolérance d'espacement est de xx mm)
- L'espacement n'est pas correct.

- **Espacement théorique :**

IV.5 Glide path ou radiophare d'alignement de descente (GP) :

Antenna spacing	26.19	20.62	15.69	10.57	6.06	1.90	Meters
	H1	H1	H1	H1	H1	H1	

Le Glide Path est une aide à la navigation courte distance. Son but est de donner une information continue d'écart en grandeur et en signe par rapport à un plan oblique matérialisant le plan de descente. Il est utilisé dans la bande de fréquence UHF entre 328,6 et 335,4 MHz. Chaque fréquence est espacée de 150 kHz et 40 canaux de cette bande sont directement appariés aux 40 canaux du localizer. Il suffit donc de se caler sur une fréquence LOC pour bénéficier automatiquement de l'alignement de descente.



Figure IV.10 : Antenne de GP

IV.5.1 Principe de fonctionnement du glide path :

Le glide path est constitué par un ensemble d'antennes situées généralement entre 120m et 150m sur le côté de la piste, et parallèle au point d'atterrissage (Touchdown), c'est à dire entre 240m et 480m de l'entrée de piste. Un ensemble d'antennes au sol rayonne une porteuse VHF modulée en amplitude par deux fréquences 90 et 150 hz.

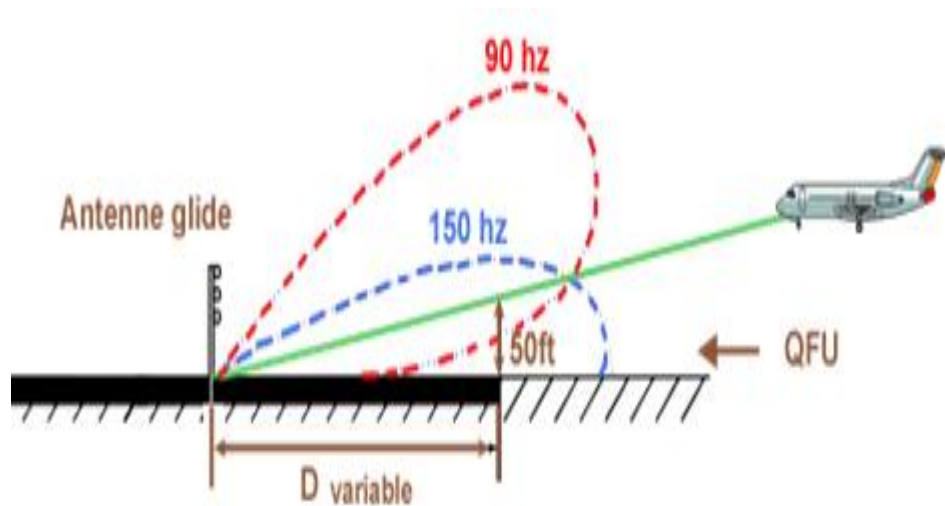


Figure IV.11 : Fonctionnement du GP

IV.5.2 Variation des taux de modulation d'espace

Le plan est défini à l'aide d'un signal UHF modulé en amplitude simultanément par du 90 et ou 150 hz. Cette variation respecte les critères suivants:

- La variation des taux de modulation M90 et M150 est symétrique par rapport au plan oblique de descente à définir.
- Dans ce même plan, les taux de modulation seront égaux : $M90 = M150 = 40\%$
- Par convention M90 prédominera au-dessus du plan de descente et inversement M150 sera prépondérant au-dessous du plan oblique de descente.

En résumé le positionnement par rapport au plan $\theta = \theta_d$ s'écrit alors:

- Zone de l'espace où $M90 > M150$ au-dessus du plan.
- Zone de l'espace où $M90 = M150$ plan de descente ($\theta = \theta_d$)
- Zone de l'espace où $M90 < M150$ au-dessous du plan.

IV.5.3 Couverture volumétrique

• Couverture en azimut

Le même découpage de l'espace est utilisé dans le plan vertical pour assurer le guidage en site. Un secteur où les indications sont proportionnelles à l'écart angulaire par rapport à

l'axe de descente complété par une zone de couverture où les signaux indiquent au pilote sa position par rapport à l'axe de descente. La couverture en azimuth de l'alignement de descente est limitée à 8° de part et d'autre de l'axe de la piste, ce qui est bien inférieur à la couverture de l'alignement de piste en azimuth.

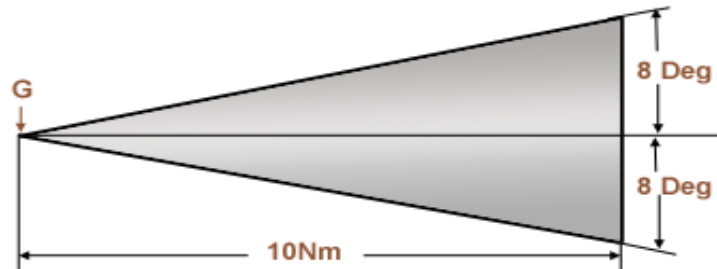


Figure IV.12 : Couverture de GP en azimuth

- Couverture en site

G est le point où le prolongement en ligne droite de l'alignement de descente ILS coupe l'axe de piste.

A est l'angle de site d'alignement de descente ILS (généralement 3 degrés).

Soit une limite de couverture basse de $3^\circ \times 0,45 = 1,35^\circ$, et une limite de couverture haute de $3^\circ \times 1,75 = 5,25^\circ$.

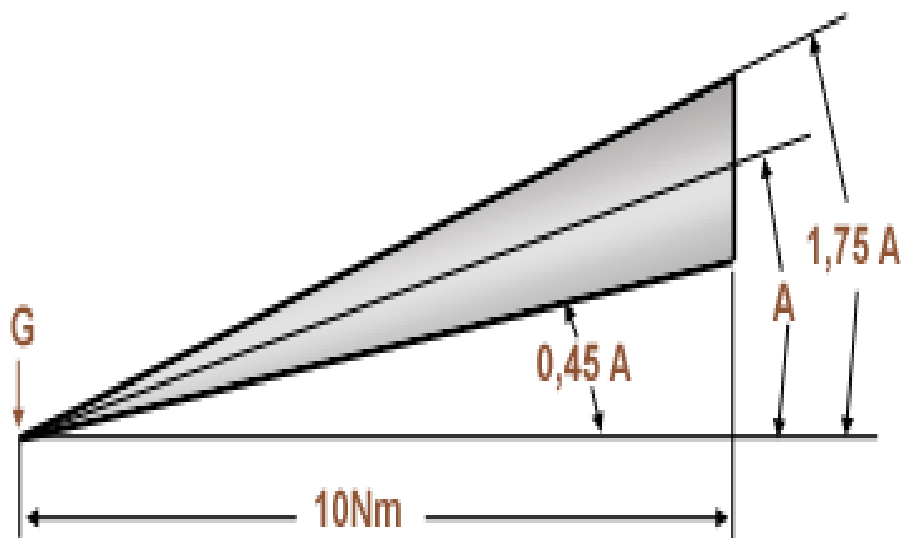


Figure IV.12 : Couverture de GP en site

IV.5.4 Instrument de bord – Récepteur

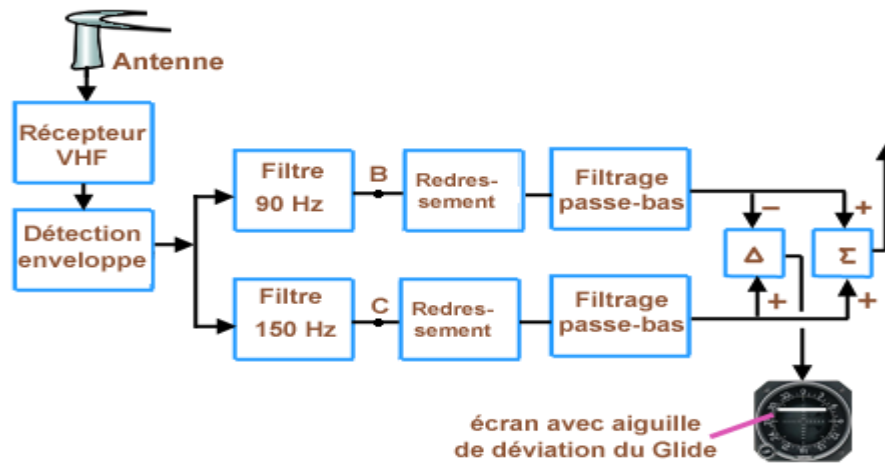


Figure IV.14: passage de signal reçue au borde de GP

C'est un récepteur VHF est identique à celui du Localizer , hormis le filtre 1020 Hz (l'indicatif n'étant retransmis que par le localizer). La sortie de ce récepteur GLIDE est identique à celle du récepteur LOC. L'information d'écart par rapport au plan de descente est fourni au pilote par une barre horizontale qui indique le sens de la correction à effectué.

Lorsque l'avion se trouve sur plan de descente, les harmoniques 90 et 150 Hz ont la même amplitude et la DDM est nulle. La DDM est nulle et l'aiguille est positionnée au centre du cadran.



Figure IV.15 : l'aiguille est positionnée au centre du cadran.

L'avion se trouve en-dessous du plan de descente, la tension sortant du filtre 90 Hz est inférieure à la tension du filtre 150 Hz. La DDM n'est pas nulle et l'aiguille dévie vers le haut.



Figure IV.16 : l'aiguille est positionnée au haut du cadran.

L'avion se trouve au-dessus du plan de descente, la tension sortant du filtre 90 Hz est supérieure à la tension du filtre 150 Hz. La DDM n'est pas nulle et l'aiguille dévie vers le bas.



Figure IV.17 : l'aiguille est positionnée au bas du cadran.

IV.6 d'implantation du GP :

- Site d'implantation :

Nom du Sited'installation	Béchare	Piste d'installation	24-06
		Catégorie de l'ILS	2

Tableau VI.7 : Site d'implantation du GP

- **Piste d'implantaion :**

Pente latérale SSL	-
Pente longitudinale FSL	-
Hauteur de l'antenne A1	-

Tableau IV.8 : Piste d'implantation

- **Caractéristique générale du Glide Path :**

Glide Path	Mono-fréq	Bi-fréq
Fréquence de la station LOC	108.1	
Indicatif de l'ILS	334.7	

Tableau IV.9 : Caractéristique générale du Glide Path

- **Les points d'implantation de la station GP :**

Position du réseau d'antenne par rapport au seuil 24 (X en [mètre])	300 m
Position du réseau d'antenne par rapport à l'axe de piste	120 m
Position du moniteur champ proche NF par rapport au réseau d'antenne (Z en [mètre])	85m
Position du shelter GP par rapport au réseau d'antenne	7 m

Tableau IV.10 : Les points d'implantation de la station GP

- **Coordonnées géographique :**

	Coordonnées Géographique
Réseau d'antenne GP	31°39'21.86"N 2°15'35.74"W
Shelter GP	31°39'21.86"N 2°15'35.74"W

Tableau IV.11 : Coordonnées géographique

• **Liste d'appareils de mesure utilisés dans l'implantation :**

type d'instrument	Marque	Type	N° de série
Récepteur ILS	NORMARC	7710	726
Oscilloscope numérique	Tektronix	TDS 3032C	C020078
Wattmètre analogique	Telewave	44AP	35278
Wattmètre analogique	Telewave	44AP	35279
wattmètre numérique	Keysight	V3500A	MY553226003
wattmètre numérique	Keysight	V3500A	MY553226004
fréquencemètre numérique	Promax	TF930	437214
fréquencemètre numérique	Promax	TF930	437215
Peak wattmètre numérique	Agilent	E4416A	MY553226004
Coupleur directionnel	Agilent	778D	-
Analyseur réseau vectoriel	Anritsu	MS-2024B	-

Tableau IV.12 : Liste d'appareils de mesure utilisés dans l'implantation

- **Schéma d'implantation du GP :**

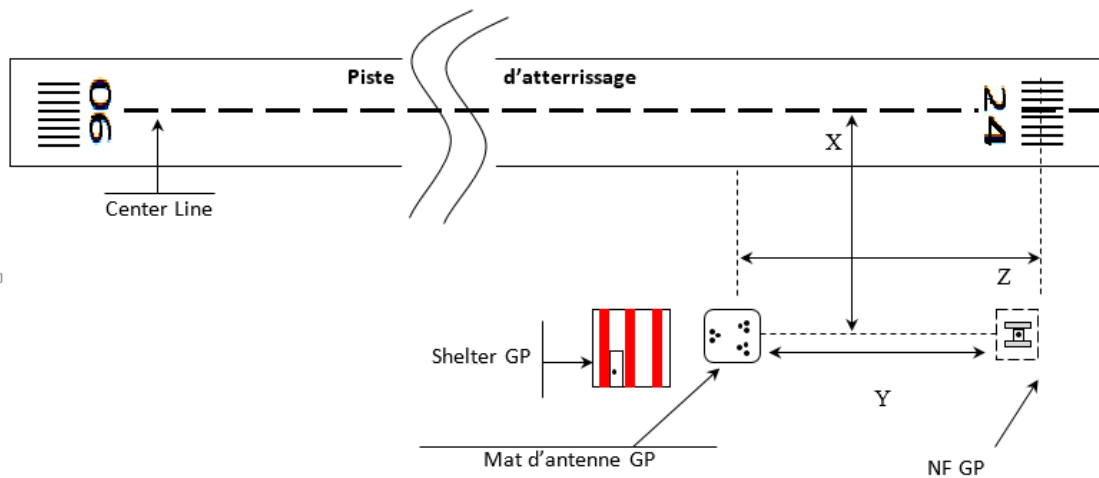


Figure IV.18 : Schéma d'implantation du GP

IV.7 Vérification de l'installation mécanique :

- **Vérification du décalage avant des antennes :**

Les antennes doivent être alignées le long d'une ligne droite, perpendiculaire à la pente avant moyenne (FSL).

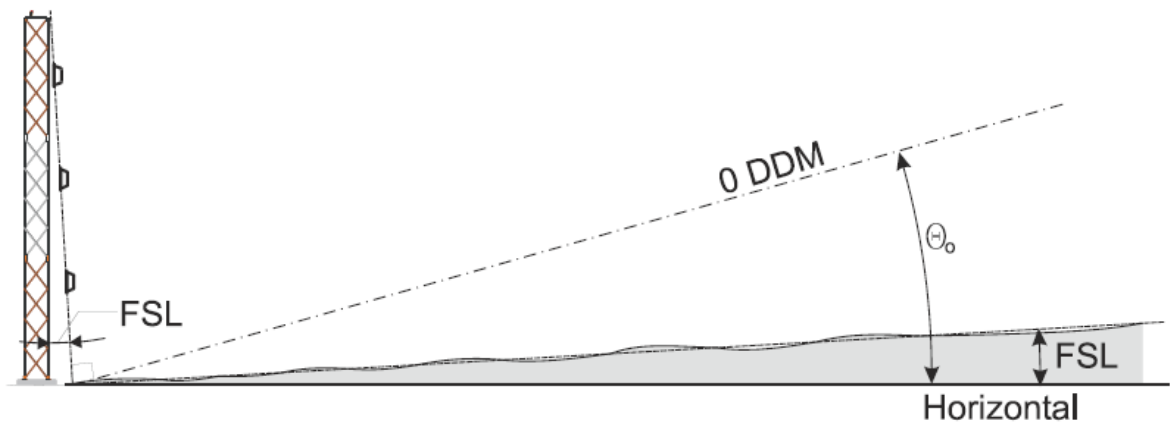


Figure IV.19 : Vérification du décalage avant des antennes

- **Résultat du contrôle :**

- Le pointage est bien fait
- Le pointage n'est pas bien fait.

Si le pointage n'est pas bien effectué indique l'anomalie.

- Le décalage calculé avec une FSL de 0.48° :

Antenne	Décalage latérale des antennes (centimètre)
A1	22.9
A2	0
A3	-

Tableau IV.13 : Le décalage calculé avec une FSL de 0.48°

- Vérification du décalage latéral des antennes :

(L'antenne A3 doit être dirigée vers la piste, A2 au centre du mats et A1 doit être éloignée de la piste):

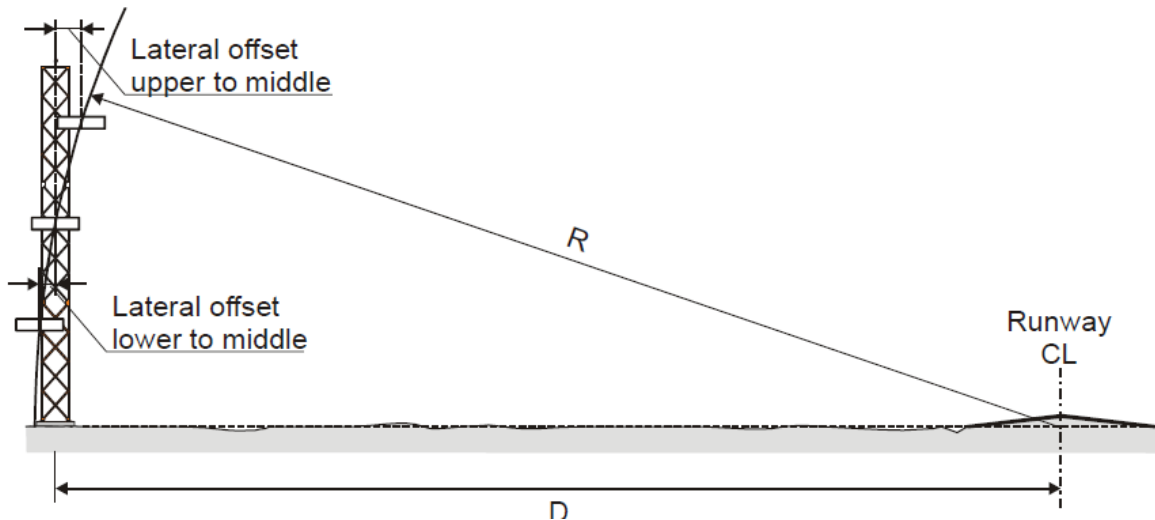


Figure IV.20 : Vérification du décalage latéral des antennes

- Le décalage est bien fait.
- Le décalage n'est pas bien fait.

- Le décalage calculé avec une SSL = 0° :

Antenne	Décalage latérale des antennes (centimètre)
A1-A2	22.9
A2	Au centre du mat GP
A3-A2	-

Tableau IV.14 : Le décalage calculé avec une SSL = 0°

- **vérification des hauteurs d'antennes :**

l'espacement est correct.

L'espacement n'est pas correct.

- **Hauteur calculé avec une FSL de 0° :**

Antenne	Hauteur d'antenne par rapport au sol (mètre)
A1	A1
A2	2 X A1
A3	3 X A1

Tableau IV.15 : Hauteur calculé avec une FSL de 0°

CONCLUSION GENERALE

L'intérêt de ce projet réside dans l'enrichissement et le renforcement des connaissances acquises durant nos études. Nous avons pris comme sujet l'étude théorique de la balise NDB et l'implantation d'un nouvelle ILS Système d'approche aux instruments exemple l'aéroport de Bechar.

Notre objectif était de démontre Comment faire implante un nouvelle ILS, dans le site de Bechar piste 24-06 et de démontre leur importance d'assurance la sécurité des aéronefs. Le système d'approche aux instruments (instrument landing system), est le plus précis des systèmes d'approche actuellement utilisés il comprend un localizr (ou alignement de piste) au bout de piste qui assure l'alignement gauche-droite avec la piste d'atterrissage et un glide slope au cote gauche de la piste qui détermine la bonne trajectoire de descente (généralement de l'ordre de trois degrés).

Ce document n'a pas l'ambition d'être une étude de faisabilité exhaustive qui pourrait aider à une prise de décision quant à l'installation ou pas des moyens proposés (ILS) , mais plutôt d'être une approche préliminaire à l'implémentation de ce concept, en effet après analyse de la situation actuelle et après avoir déterminé les attentes de cette implémentation, nous avons abouti à la conclusion qu'à terme L'ILS pourra être un moyen approprié pour les atterrissages dans les zones à moyenne et forte densité de trafic tandis.

Le stage, effectué au sein de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne, a permis d'élargir mes connaissances techniques sur la radio navigation en générale au travers des différentes questions abordées et traitées. L'un des mérites de ce stage a été de nous permettre la compréhension et le diagnostic de l'existant, des besoins, des contraintes et des opportunités qui se présentent à notre pays.

Bibliographie

1. Document OACI 4444 : Quatorzième édition, 2007.
2. Document OACI 9426 : Manuel de planification des services de la circulation aérienne, première édition.
3. EUROCONTROL, Organisation de l'espace aérien en région terminale (Lignes directrices concernant une méthode opérationnelle) , édition A ; 1998.
4. cours 3ème Année ingénieur circulation aérienne.
5. Circulaire d'information aéronautique (Algérie), AIC série A, Février 2007.
6. L. DJOULAH, Etude et réalisation d'une interface graphique du localizer, Mémoire PFE, Université de Blida, 2003.
7. E.SARTORIUS, Radionavigation, Institut France Aviation (Ecole INFRA), Paris, 1972.
8. Cours radionavigation, ESMA, Ecole Supérieure des Métiers de l'Aéronautique, Édition 01- 06.
9. J-P CORBIER, Les Balises De Radionavigation, 2012.
10. B.SERABIAN, La Radionavigation, Editions Du Cosmos, 1969.



Internet:

- <http://www.enna.dz>.
- <http://www.sia-enna.dz>.
- <http://www.icao.int>.
- <http://www.salembie@cenaath.cena.dgac.fr>
- <http://www.eurocontrole.be>.