



LICENCE

**Electronique Télécommunication et Informatique
(ETI)**

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**ETUDE ET MAINTENANCE DU SYSTEME
GLIDE PATH**

Réalisé Par :

**CHADLI Chaimae
LEMHADRI Rajae**

Encadré par :

P^rA. MECHAQRANE(FST FES)

M. EL ADDOULI(ONDA)

Soutenu le 16 Juin 2014 devant le jury

Pr A. MECHAQRANE (FST FES)

Pr A. AHAITOUF (FST FES)

Pr F. ERRAHIMI(FST FES)

Mr M. EL ADDOULI (ONDA)

Dédicace

A Dieu, le tout miséricordieux et puissant, ton amour, ta miséricorde et tes grâces à nos égards nous ont fortifiées dans la persévérance et l'ardeur au travail.

A nos parents, votre présence et votre soutien nous atoujours encouragées à réussir et donner le meilleur de notre travail.

A nos amis, ceux qui nous ont toujours soutenues et encouragées, pour leur véritable et sincère amour, leur profond respect, on leur souhaite une vie pleine de succès et de bonheur.

A nos professeurs de la faculté des sciences et techniques, et tous les agents de l'Office national Des aéroports.

Enfin, à tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.



Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements dans un premier temps à nos professeurs compétents de la Faculté des Sciences et Techniques, qui nous ont bien préparées théoriquement ainsi que pratiquement durant les trois années passées de notre formation.

Nous tenons à remercier **M^rM. DBIYA** chef du service Radar et Radionavigation, pour son accueil dans sa division, son soutien, son écoute et l'aide qui offre à tous les stagiaires.

Nous remercions notre professeur **M^r A. MECHAQRANE** de la faculté des sciences et techniques, qui a bien voulu assurer l'encadrement de ce projet.

Merci à **M^rM. EL ADDOULI** pour son aide et sa supervision au sein de l'ONDA, et ses efforts fournis afin de passer notre stage dans les meilleures conditions.

Merci à **M^r A. AHAITOUF** et **M^{me}F. ERRAHIMI** d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous présentons enfin nos remerciements à tous les électroniciens de la sécurité aérienne, pour la sympathie qu'ils nous ont adressée au cours de cette période de stage.

Table de matière

<i>Dédicace</i>	2
<i>Remerciements</i>	3
<i>Table de matière</i>	4
<i>Liste des figures</i>	6
<i>Introduction</i>	8
Chapitre 1 :Présentation de l'Office National Des Aéroports ONDA et l'aéroport Fès-Saïs.....	9
I- Présentation de l'ONDA :	10
1. Historique :	10
2. Fiche technique de l'ONDA:	10
3. Missions :	10
4. Les activités de l'ONDA :	11
4.1. Prestations rendues aux compagnies aériennes :	11
4.2. Services rendus aux passagers :	12
II- Description de l'aéroport Fès-Saïs:.....	12
1. Fiche technique de l'aéroport Fès :	12
2. Organigramme de l'aéroport Fès-Saïs :	14
3. Services et Divisions :	14
Chapitre 2 :Présentation de la division technique de navigation	17
I. Introduction :	18
1. Organigramme de la division :	18
2. Services:.....	18
A. Equipements de radionavigation :	21
a. ILS :	21
LOCALIZER :	21
GLIDE-PATH :	22
DME :	22
b. VOR (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range):.....	23
c. Les markers :	23
d. Balisage :	24
e. PAPI :	25
f. Radiobalise NDB :	25
B. Les équipements de radiocommunication :	26
a. Salle technique :	26

b. La vigie	27
c. Bureau de piste :	27
Chapitre 3 :Etude du système Glide Path.....	28
I. Généralités :.....	29
II. Fonctionnement du Glide Path:.....	30
1. Types du Glide Path :	30
2. Caractéristiques techniques d'un Glide Path de type M :	31
III. Schéma synoptique du Glide Path 2F-M :	31
Alimentation : BCPS.....	33
Emetteur :	33
Moniteur :	34
LRCI (Interface de communication locale ou à distance) :	36
IV. Etude théorique :	37
1. Principe de fonctionnement :	37
A. Etude des signaux modulés : ^[5]	38
B. Etude des signaux des antennes :	42
Antenne Glide Path :	42
Tableau de distribution Glide Path M :	44
Définition des signaux rayonnés:	44
Représentation des signaux:	45
Expression de la DDM:.....	46
2. Principe du récepteur:.....	47
Chapitre 4 :Maintenance du Glide Path	49
I. Introduction :	50
1. Matériels utilisés :	50
2. Maintenance du Glide Path :	50
Préventive :	50
Paramètres relevés :	51
Corrective :	51
II. Etude de cas :	52
<i>Conclusion générale</i>	55
<i>Document annexe</i>	56
<i>Bibliographie</i>	57

Liste des figures

Figure 1: SSLIA	15
Figure 2 : Cellules d'arrivée de l'ONE 22KV.....	19
Figure 3 : Transformateurs triphasés abaisseurs 22KV-380V.....	19
Figure 4 : Groupes électrogènes 250KVA	20
Figure 5 : Les régulateurs	20
Figure 6 : Station ILS : Glide Path+ DME-L+ Station Localizer	21
Figure 7 : les antennes d'un Localizer	21
Figure 8 : Positionnement d'un avion par rapport au localiser	22
Figure 9 : Equipement Glide-Path.....	22
Figure 10 : DME-Route	22
Figure 11 : Station et équipement VOR	23
Figure 12 : Les markers OMI	23
Figure 13 : Balisage lumineux.....	24
Figure 14 : Balisage d'approche + Balisage de seuil de piste	24
Figure 15 : Balisage non lumineux.....	24
Figure 16 : Fonctionnement d'un PAPI	25
Figure 17: Antenne de la balise NDB	25
Figure 18 : Les racks de la salle technique.....	26
Figure 19 : La vigie.....	27
Figure 20 : Instrument Landing System	29
Figure 21: Tableau des caractéristiques techniques du GP	31
Figure 22 : La BCPS et les convertisseurs PSW.....	33
Figure 23: Schéma explicatif de l'Integral Network.....	35
Figure 24 : Schéma explicatif du moniteur	36
Figure 25 : Couverture horizontale du GP	37
Figure 26 : Couverture verticale du GP	37
Figure 27 : Les lobes CSB et SBO.....	38
Figure 28 : La porteuse UHF du GP.....	39
Figure 29 : Signal BF U1(t).....	39
Figure 30 : Signal BF U2(t).....	39
Figure 31: Modèle SIMULINK du signal CSB1	40
Figure 32: Le signal modulé CSB1.....	40
Figure 33 : Modèle SIMULINK du signal CSB2	40
Figure 34: Le signal modulé CSB2.....	41
Figure 35: Modèle SIMULINK du signal SBO.....	41
Figure 36 : Signal modulé SBO.....	41
Figure 37 : Modèle SIMULINK du signal CL.....	42
Figure 38 : Signal CL modulé	42
Figure 39 : Station Glide Path+ Antenne Nearfield.....	43
Figure 40: Représentation des signaux des antennes	44
Figure 41: Tableau de distribution du GP	44
Figure 42: Représentation des signaux: CSB, SBO et CL	45
Figure 43: Diagramme de rayonnement de CSB	46
Figure 44 : Diagramme de rayonnement du SBO.....	46

<i>Figure 45 : Diagramme de rayonnement du signal CL</i>	<i>46</i>
<i>Figure 46 : Représentation de la pente de la DDM.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 47 : Positionnement de l'avion par rapport au Glide.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 48 : Paramètres relevés avec ADRACS.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 49 : Ecran d'affichage du Glide Path</i>	<i>53</i>
<i>Figure 50: Paramètres du moniteur défaillant</i>	<i>53</i>
<i>Figure 51: Configuration de la LG-X sur la LCI</i>	<i>54</i>

Liste des acronymes

AMHS: Aeronautical Message Handling System.

BCPS: Battery Charger Power Supply.

CCR : Centre de Contrôle Régional.

DDM: Difference in Depth Modulation.

ECU: Executive Control Unit.

EMS: Element Management System.

GP: Glide Path.

IATA: International Air Transport Association.

ILS: Instrument Landing System.

INTRFC: Monitor Interface Board.

LCI: Local Control Interface.

LCP: Local Control Panel.

LRCI: Local Remote Communication Interface.

MIA: Monitor Interface Adapter.

MODPA: Modulator Power Amplifier.

NDB: Non-Directional Balise.

NM: Nautical Mile (1NM=1.8Km).

OACI : Organisation de l'Aviation Civile International.

ONDA : Office National Des Aéroports.

PAPI: Precision Approach Path Indicator.

PIR: Portable ILS Recepter.

SDM: Sum of Depths of Modulation.

VCS: Voice Communication System.

VOR: Very high frequency Omnidirectional Radio Range.

Introduction

Selon l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile (OACI), il existe deux types de vol :

VFR (Visual Flight Rules) : Un pilote effectue un vol selon **les règles de vol à vue** lorsqu'il maintient son avion dans une configuration propre au vol (attitude, vitesse) sur sa trajectoire destination en s'orientant par rapport à des repères extérieurs (reliefs, routes, villes...) et à l'aide d'une carte.

IFR (Instrument Flight Rules) : Un pilote effectue un vol selon **les règles de vol aux instruments** lorsqu'il respecte un certain nombre de règles, avec l'aide de ses instruments et du contrôle aérien.

De nos jours, il existe plusieurs systèmes d'aide à la navigation (embarqués ou implantés au sol) tels que : le pilote automatique, le PAPI (Precision Approach Path Indicator), le VOR (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range), l'ILS (Instrument Landing System)...

L'ILS est un moyen de radionavigation utilisé pour l'atterrissage IFR. Utilisé depuis 1947 pour des applications civiles, ce système fournit une aide à l'atterrissage lors d'approches en conditions météorologiques dégradées. Il offre au pilote un guidage de précision dans les plans verticaux et horizontaux jusqu'au point d'impact sur la piste.

Parmi les systèmes ILS, on trouve le système Glide Path (GP) qui est un équipement d'atterrissage qui fournit le plan de descente d'un avion.

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressées en particulier au système GP. Nous avons réalisé une étude des différents blocs qui le constituent et les différents signaux qu'il génère. Nous nous sommes aussi intéressées aux procédures de sa maintenance et de résolution de ses pannes.

Notre rapport comporte les 4 parties suivantes :

- Présentation de l'Office Nationale Des Aéroports et l'Aéroport de Fès-saïs.
- Présentation de la division technique navigation.
- Etude du système Glide Path.
- Maintenance du système Glide Path.

Chapitre 1 :

Présentation de l'Office National Des Aéroports ONDA et l'aéroport Fès-Saïs

I- Présentation de l'ONDA :

L'Office National Des Aéroports (ONDA) est un établissement public à caractère industriel et commercial créé en janvier 1990 par transformation de l'Office des Aéroports de Casablanca, premier établissement autonome de gestion aéroportuaire au Maroc, placé sous la tutelle du Ministère des Équipements et du Transport et le contrôle du Ministère des Finances.

1. Historique :

<u>Avant 1980</u>	L'autogestion directe du secteur aérien par la direction de l'air (Tutelle Ministère du Transport).
<u>En 1980</u>	Les pouvoirs publics créent l'Office des Aéroports de Casablanca, organisme de gestion autonome.
<u>En 1990</u>	L'OAC cède la place à l'ONDA (Office National Des Aéroports) qui entame alors une nouvelle phase de développement.
<u>En 1991</u>	Les attributions de l'ONDA s'élargissent avec le rattachement à ses services du Centre National de Contrôle de la Sécurité Aérienne (CNCSA).
<u>En 2000</u>	Une grande date de la vie de l'ONDA, l'inauguration en octobre par sa Majesté le Roi Mohammed VI du nouveau système Radar et de l'Académie internationale de l'Aviation Civile.

2. Fiche technique de l'ONDA:

Autorité aéroportuaire : Office National Des Aéroports (ONDA).

Directeur General : Monsieur Zouhair ElOufir.

Adresse : Aéroport Mohammed V - BP 52 - 20250 Nouasser.

Tél : 0522 539 140 - 0522 539 040.

Fax : 0522 539 901.

Activité : gestion d'aéroports.

Effectif : entre 1000 et 5000.

Site : www.onda.ma.

3. Missions :

Les missions de l'ONDA résident essentiellement en :

- La garantie de la sécurité de la navigation aérienne au niveau des aéroports et de l'espace aérien sous juridiction nationale.
- L'aménagement, l'exploitation, l'entretien et le développement des aéroports civils de l'Etat. L'embarquement, le débarquement, le transit et l'acheminement à terre des voyageurs, des marchandises et du courrier transportés par air, ainsi que tout service destiné à la satisfaction des besoins des usagers et du public.
- La liaison avec les organismes et les aéroports internationaux afin de répondre aux besoins du trafic aérien.
- La formation d'ingénieurs de l'aéronautique civile, de contrôleurs et d'électroniciens de la sécurité aérienne.

4. Les activités de l'ONDA :

En sa qualité d'établissement public qui assure le développement et l'exploitation des installations aéroportuaires et de contrôle de la circulation aérienne, l'ONDA se positionne en tant que prestataire de services rendus essentiellement aux compagnies aériennes et aux passagers.

4.1. Prestations rendues aux compagnies aériennes :

- **Contrôle de la sécurité aérienne :**

Sur les aéroports, la sécurité aérienne est assurée grâce aux moyens mis en œuvre pour permettre l'approche, l'atterrissage, le décollage, la circulation au sol et le stationnement des aéronefs sur les aérodromes en toute sécurité.

- **Régulation du trafic aérien :**

Cette fonction se traduit par la mise à disposition et la gestion au profit des compagnies aériennes d'un ensemble de ressources aéroportuaires intervenant dans les opérations aériennes (salle d'embarquement, tapis à bagage...).

- **Sûreté aéroportuaire :**

La sûreté étant une priorité pour le transport aérien, l'ONDA y consacre d'importantes ressources dans le respect de la réglementation nationale, ainsi que les normes et les recommandations de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

4.2. Services rendus aux passagers :

L'ONDA met tout en œuvre afin que les passagers soient satisfaits de l'usage de ses installations aéroportuaires, ainsi, l'ONDA veille à rendre accessible l'information aussi bien à distance que sur site aussi il garantit une facilité.

- Information.
- Facilité.
- Commodité.
- Qualité de service.

II-Description de l'aéroport Fès-Saïs:

L'aéroport Fès-Saïs a été inauguré le 28 Avril 1960 par sa majesté le roi MOHAMMED V, accompagné de sa majesté le roi HUSSEIN de LA JORDANIE. Il se situe à la limite de la plaine du Saïs à la porte de plusieurs hauteurs du moyen Atlas.

A l'instar des autres grandes villes du Maroc, Fès bénéficie d'une aérogare inaugurée en 2001.

Au nord, côté ville, se développe le Hall public départ et arrivée, prolonge à chaque extrémité par des bureaux, englobent du côté Ouest, les comptoirs d'enregistrements et du côté Est la salle livraisons bagages, on y trouve de part et d'autre des locaux des compagnies et concessionnaires.

Au sud, côté piste, se trouvant la salle d'embarquement au centre, la salle arrivée passagers du côté Est.

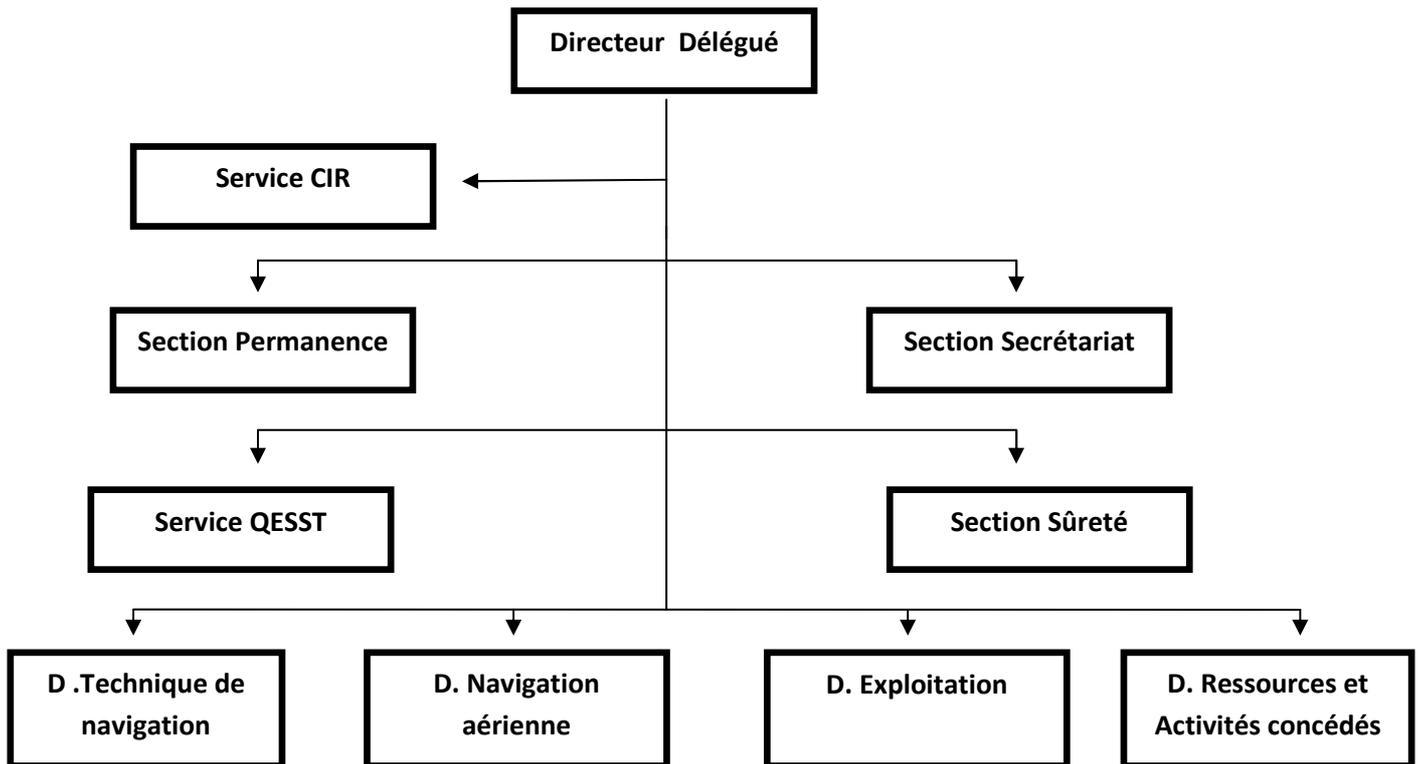
La partie réservée au public se constitue d'une zone réservée aux inspections et visa des passeports surmontée d'une cafeteria.

Le salon d'honneur luxueux bâti sur cette plate-forme, permet d'accueillir les hôtes du royaume et les personnalités avec tous les égards dus à leur rang, suivant la pure tradition marocaine.

1. Fiche technique de l'aéroport Fès :

Code IATA	FEZ
Code OACI	GMFF
TEL	(+212)5 35 6248 00
Fax	(+212)5 35 65 26 64
Horaire de fonctionnement	24h/24 et 7j/7
Effectif personnel	121 cadres et agents
Directeur délégué	Mr. LARHENI Nouredine
Capacité d'accueil actuel	500 000 passagers/an
Extension d'une nouvelle aérogare	98% du travail réalisé Capacité d'accueil : 2 510 000 passagers/an
Orientation de la piste	27 / 09
Superficie d'aérogare	5 600 m ²
Superficie des parkings	34 000 m ² 4 Avions "B737" et 1 Avion "B747"
Superficie zone FRET	375 m ²
Longueur et largeur de piste	Longueur : 3 200 m Largeur : 45m
Equipements Radionavigation	VOR ; DME-N ; ILS (Localizer, Glide Path, DME-L) ; Radiobalise (NDB)
Catégorie ILS	Catégorie II

2. Organigramme de l'aéroport Fès-Sais :



3. Services et Divisions :

- **Section secrétariat :** Cette section a pour fonction de veiller à la bonne marche des services administratifs et assurer les meilleures conditions de travail.
- **Service CIR :** Centre de formation continue des contrôleurs aériens et des électroniciens de la sécurité aérienne. L'objectif de ce centre est de permettre aux collaborateurs de l'ONDA d'acquérir et d'améliorer les connaissances et les compétences pour mieux s'acquitter de leurs tâches, et ce, conformément aux normes et pratiques recommandées.
- **Section Permanence :** Ce service assure une :
 - Représentation continue de la direction de l'aéroport et des services opérationnels.
 - Supervision des activités liées à la gestion aéroportuaire.
- **Section sûreté :** Cette section a pour rôle de :
 - Protéger les passagers, les équipages, le personnel, les aéronefs et les installations aéroportuaires contre les actes d'intervention illicite par la mise en œuvre des mesures et des moyens humains et matériels, conformément aux exigences nationales et internationales en matière de la sûreté de l'aviation civile tout en assurant la sécurité, la régularité et l'efficacité des opérations aériennes.

- Veiller à minimiser les pertes humaines et les dégâts matériels causés par un acte d'intervention illicite en appliquant les mesures du plan de gestion de crise.

➤ **Service QESST** :Ce service a pour rôle de :

- Définir la politique de l'aéroport, les objectifs à atteindre et les déployer aux niveaux appropriés puis suivre les résultats obtenus.
 - Assurer le bon fonctionnement de l'aéroport et l'atteinte des objectifs du système Management Qualité & Environnement Intégré avec le respect de la stratégie globale de l'ONDA.
 - Œuvrer pour une amélioration continue des performances environnementales tout en respectant la réglementation en vigueur.
 - **Division Technique navigation** :Ce service, veille sur l'entretien et la maintenance des installations techniques en s'appuyant sur des techniques modernes et des technologies performantes conformes aux normes et recommandations de l'OACI.
 - **Division Exploitation** :Qui assure le bon fonctionnement de l'aérogare en effectuant le suivi par des actions préventives et correctives, et se charge de l'exploitation aéroportuaire : l'aérogare, le salon royal et le salon V.I.P de l'aéroport Fès-Saïs.
 - **Division Ressources et Activités concédées** : Constitue le service des ressources humaines gérant le personnel, et des services divers : banque, kiosque, cafétéria...
 - **Division navigation aérienne** :Ce service s'occupe du contrôle de la navigation aérienne et de la sécurité des avions, ainsi de la sécurité incendie.
- ✓ **SSLIA**:



Figure 1: SSLIA

Le Service de Sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs (SSLIA) peut être appelé à participer à la prévention et à la lutte contre les incendies ou autres catastrophes

survenant dans les services et les installations de l'Aérodrome et à son voisinage. Ce service assure ses missions 24h/24h, avec un délai d'intervention de moins de trois minutes.

✓ **Unité médicale d'urgence :**

Un bureau de santé est installé à l'aéroport pour le contrôle sanitaire et l'assistance médicale, ces services sont assurés par des officiers de la santé publique.

✓ **Service d'assistance en escale (Handling) :**

Ce service est rendu pour les avions commerciaux et privés par deux compagnies desservant l'aéroport :

- Royal Air Maroc (RAM) : Qui s'occupe de la gestion des vols et des passagers : réservation, renseignement et enregistrement.
- SWISSPORT : Gestion des vols et traitement des passagers des compagnies aériennes.

✓ **Les services annexes à l'aéroport Fès-Saïs :**

Ce sont des services actifs et nécessaires dans chaque aéroport car il s'agit d'une frontière, on trouve :

- **Douane.**
- **Police de frontière :** Chargée du contrôle des visas des passeports ainsi que le contrôle des passagers 24h/24h.
- **Gendarmerie royale :** Veille sur la sécurité de l'aéroport, des avions et des installations s'y trouvant 24h/24h.
- **FRET :** Ce service permet d'assurer le transport de la marchandise par la Royal Air Maroc.
- **Contrôle sanitaire à la frontière (CSF) :** Les aéroports sont associés aux dispositifs de veille sanitaire et de réaction visant à limiter le risque épidémiologique, notamment en cas de pandémie grippale (grippe aviaire à virus H5N1, A H1N1).
- **Station météorologique :** Un service Météo est implanté au sein de l'aéroport pour fournir tous les renseignements météorologiques indispensables à la sécurité de la navigation aérienne. La permanence est assurée 24h/24h.

✓ **Prestataires de services :**

Cantine, transport, nettoyage, collecte des ordures, gardiennage, jardinage.

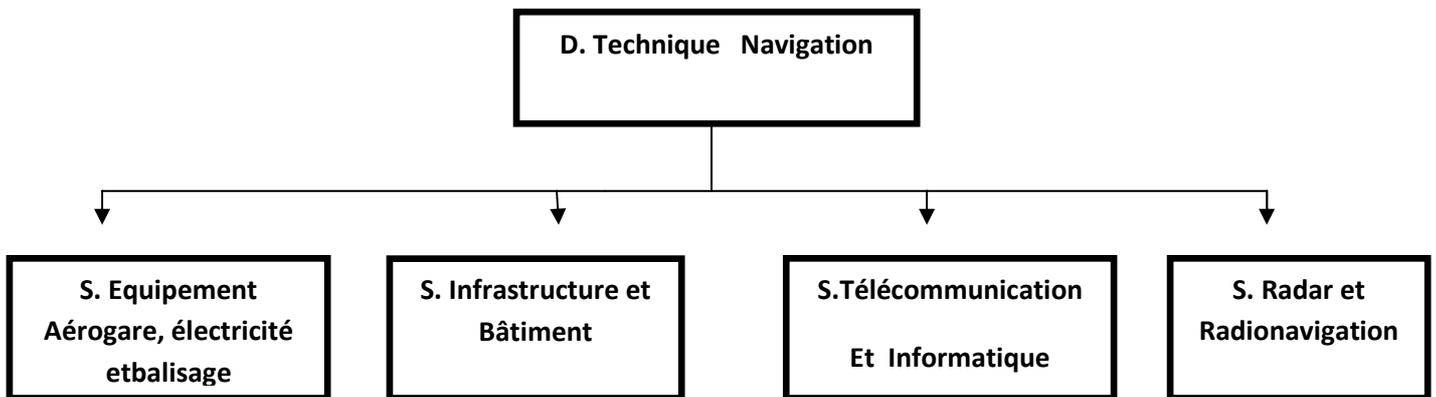
Chapitre 2 :

Présentation de la division technique de navigation

I. Introduction :

Etant affectées à la division technique navigation, nous avons eu l'occasion d'accompagner les électroniciens de la sécurité aérienne dans leurs tâches quotidiennes ce qui nous a aidé à appréhender facilement leur travail.

1. Organigramme de la division :



2. Services:

2.1. Service équipements aérogare, électricité et balisage:

L'aérogare est l'ensemble des bâtiments par lesquels transitent les passagers et leurs bagages et où sont également situés les guichets des compagnies aériennes, les services administratifs de l'aéroport, les services de douane ainsi que les services de sûreté.

➤ Equipements aérogare :

- Système de détection à rayons X.
- Système vidéosurveillance.
- Système de téléaffichage.
- Système de sonorisation.
- Portique magnétique.
- Système de détection d'incendie.

➤ Equipements électriques :

Ces équipements assurent la distribution et la disponibilité de l'énergie électrique à tous les équipements au sein de l'aéroport.

La centrale électrique est le point de départ de toutes les alimentations, où se fait la répartition de l'électricité. Dans la centrale on trouve :

- Deux arrivées ONE : normale et secours de tension 22000V :



Figure 2 : Cellules d'arrivée de l'ONE 22KV

- Deux transformateurs triphasés abaisseurs 22000V/380V :



Figure 3 : Transformateurs triphasés abaisseurs 22KV-380V

Et on trouve comme alimentation secours des groupes électrogènes qui sont des dispositifs autonomes capables de produire de l'électricité, utilisés pour pallier à une éventuelle coupure d'alimentation électrique. Les groupes peuvent être mis en fonctionnement de deux manières : manuellement et automatiquement.

- 250KVA (délai de commutation 12s).
- 200KVA assure la redondance de l'alimentation de l'aérogare.
- 30KVA assure la redondance de l'alimentation du VOR et DME-N.
- 250KVA assure la redondance de l'alimentation des nouveaux bâtiments (CIR), Brigade et Dortoir de la Gendarmerie Royal.



Figure 4 : Groupes électrogènes 250KVA

- Et on trouve des régulateurs qui alimentent tous les feux de balisage lumineux.



Figure 5 : Les régulateurs

2.2. Service Infrastructure et Bâtiment :

Les agents de ce service veillent sur le bon état des surfaces de la piste, le traitement des eaux ainsi que les opérations de désherbage et de jardinage. Les interventions sont effectuées sur les chaussées et les pistes d'aérodrome pour assurer les conditions de sécurité selon les normes.

Les domaines des interventions sont : la peinture, la menuiserie, la plomberie...

2.3. Service Télécommunication et Informatique :

Ce service s'occupe de la maintenance des équipements :

- Réseau local (parc informatique).
- Téléphonie.
- Sonorisation.
- Téléaffichage.
- Vidéosurveillance (système camera).
- Détection incendie.
- Equipement de sûreté : Détecteur à Rayon X, les portiques magnétiques.

2.4. Service radar et radionavigation :

Ce service s'occupe de la maintenance des équipements de radionavigation et radiocommunication.

A. Equipements de radionavigation :

a. ILS :



Figure 6 : Station ILS : Glide Path+ DME-L+ Station Localizer

Le système d'atterrissage aux instruments (ILS) est un moyen de radionavigation utilisé pour l'atterrissage des vols IFR (Instrumental Flight Rules).^[1]

Il comprend :

- Un système de guidage horizontal appelé LOCALIZER.
- Un système de guidage vertical appelé GLIDE-PATH.
- DME.

❖ LOCALIZER :



Figure 7 : les antennes d'un Localizer

Le Localizer fournit les informations de guidage dans le plan horizontal. Ce dernier émet, grâce à un réseau d'antennes (13 antennes) situés dans le prolongement de la piste, une porteuse VHF de fréquence 109.7 MHz modulée par deux basses fréquences 90 Hz et

150Hz permettant ainsi de fournir au pilote une indication d'écart horizontal par rapport à l'axe de piste.

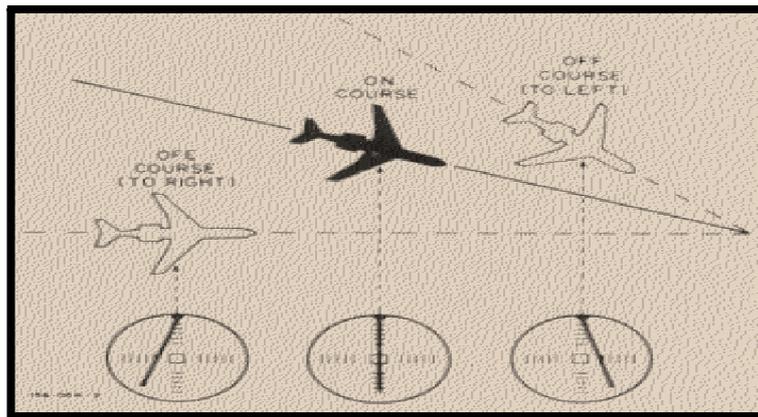


Figure 8 : Positionnement d'un avion par rapport au localiser

Donc si l'aiguille est à gauche (1) c'est que l'avion vole trop à droite, et si elle est à droite (3), c'est que l'avion vole trop à gauche. Dans le cas (2), l'avion est sur l'axe de piste.

❖ **GLIDE-PATH :**



Figure 9 : Equipement Glide-Path

C'est un instrument de navigation ayant une fréquence de 333.2 MHz qui assure un guidage vertical des avions, pour leur permettre une approche suivant un angle de descente correcte, il est implanté à une distance de 120 à 150m. Sa portée est de 10Nm (Nautical Mile=1.8Km), cet équipement sera détaillé par la suite dans le chapitre 3.^[2]

❖ **DME :**

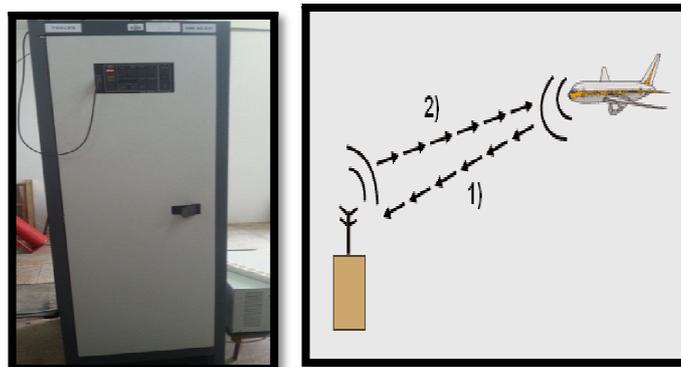


Figure 10 : DME-Route

Le DME est un système radio civil d'aide à la navigation aérienne qui permet de connaître la distance entre un avion et une station au sol qui émet une fréquence appartenant à la gamme de fréquence 960 et 1215 MHz. En saisissant cette dernière sur l'écran récepteur de l'avion, il affiche cette distance en miles nautiques (1Nm=1.8Km).

DME-L (Distance Measuring Equipment – Landing) : D'une puissance de 100 W, associé à un système ILS, en général, il est co-implanté avec le GLIDE Path.

DME-N (Distance Measuring Equipment-Navigation): D'une puissance de 1KW, et il est associé avec le système VOR.^[3]

b. VOR (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range):



Figure 11 : Station et équipement VOR

Le VOR (Radiophare omnidirectionnel hyperfréquence) est un système d'aide à la radionavigation reconnu internationalement pour le guidage des avions à courte et moyenne distance, il fournit une indication appelée « azimuth » qui est l'angle entre la droite Nord magnétique-station et la droite station-avion.^[4]

La gamme de fréquences utilisée est de 108MHz à 117.95 MHz, pour Fès: 115,7 MHz.

c. Les markers :

Ce sont des radiobalisesVHF permettant au pilote de déterminer à quelle distance est le début de la piste. Un marker est composé de 3 balises :Inner marker, Middle marker et Outer marker. Chaque balise est placée à une distance connue du début de la piste.

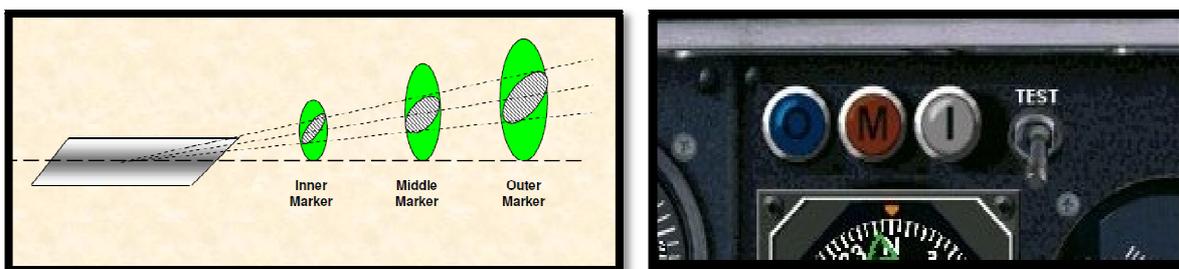


Figure 12 : Les markers OMI

L'instrument du tableau de bord qui permet d'afficher le signal marker est composé de 3 voyants marqués des lettres O-M-I. Chaque lettre est éclairée avec une couleur particulière quand l'avion survole au-dessus d'une balise.

Les markers se sont remplacés par le DME dont l'avantage est de fournir une information continue de distance.

d. **Balisage :**



Figure 13 : Balisage lumineux

- ✓ **Le balisage lumineux :** Permet de reconstituer artificiellement les références visuelles minimales nécessaires aux manœuvres d'approche, d'atterrissage, de circulation au sol et de décollage, il existe plusieurs types de balisage lumineux, par exemple : le balisage d'approche, d'extrémité et le balisage de seuil de la piste.



Figure 14 : Balisage d'approche + Balisage de seuil de piste

Ces dernières sont des lampes simples à halogène, de différentes luminosités.

- ✓ **Balisage non lumineux :** Ce sont des marques blanches sur le sol de la piste.



Figure 15 : Balisage non lumineux

- ✓ **Balisage d'obstacle** : Toute structure élevée doit être obligatoirement balisée par un marquage rouge et blanc ou de manière lumineuse, comme le cas des stations ILS et VOR.

e. **PAPI :**

Est l'indicateur de pente d'approche : un instrument aidant à effectuer une approche correcte (dans le plan vertical) sur un aéroport. Il est généralement situé sur le côté de la piste, environ 300 mètres après le début de celle-ci.

Le PAPI est composé la plupart du temps de quatre lampes en ligne. Lorsque l'angle d'approche est correct, il y a deux lampes de couleur rouge, et deux blanches. Quand l'avion est trop bas, toutes les lampes paraissent rouges, et quand il est trop haut, elles paraissent blanches.

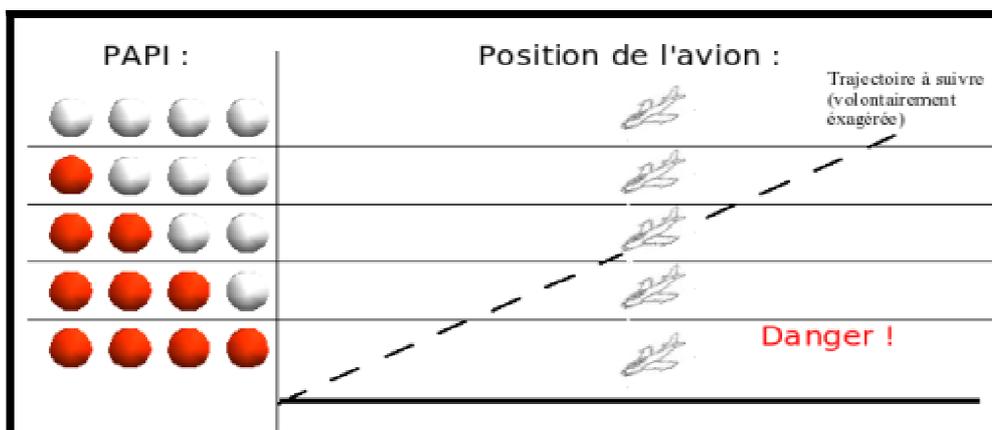


Figure 16 : Fonctionnement d'un PAPI

f. **Radiobalise NDB :**

C'est une station radio localisée en un point identifié, et utilisée en tant qu'aide à la navigation aérienne ou maritime. Le NDB Fès est exploité à une fréquence de 315 KHz. Cette radiobalise émet typiquement deux ou trois lettres déterminées de l'alphabet morse à un intervalle de temps précis, toutes les 15 secondes par exemple.



Figure 17: Antenne de la balise NDB

B. Les équipements de radiocommunication :

a. Salle technique :

Dans cette salle, on peut contrôler les équipements de radiocommunication qui s'y trouvent ainsi que les équipements de radionavigation.

Elle est équipée de tableaux de distribution électrique pour l'alimentation des équipements de cette salle, et des moyens de secours : les batteries et les onduleurs.

Les équipements de la radiocommunication sont:

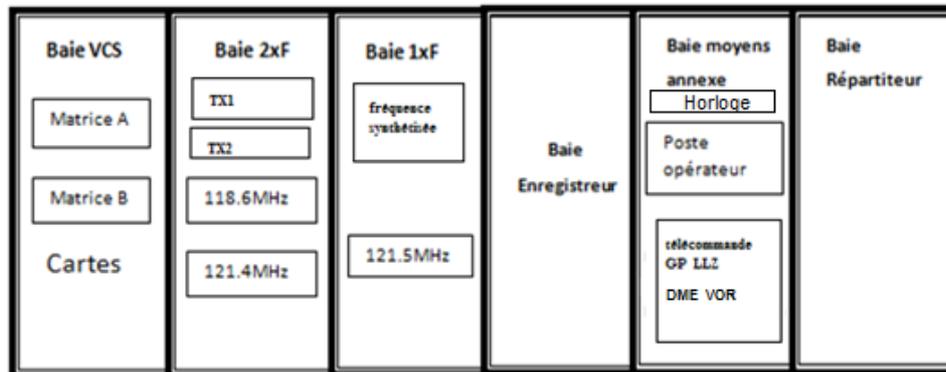


Figure 18 : Les racks de la salle technique

- **Baie VCS :** Elle permet de gérer les postes opérateurs.
- **Baie Radio 2xF:** Cette Baie contient deux émetteurs (normal et secours) de fréquence 118.6 MHz (fréquence d'aérodrome) avec leur basculeur, et deux récepteurs (normal et secours) de fréquence 121.4 MHz (fréquence d'approche) avec leur basculeur.
- **Baie Radio 1xF :** Elle contient deux émetteurs-récepteurs de fréquence réglable et un récepteur de fréquence appelée de détresse de 121.5MHz.
- **Baie enregistreur :** Elle contient deux enregistreurs qui permettent d'enregistrer toutes les communications d'une façon parallèle dans les disques durs.
- **Baie moyens annexe :** Contient une horloge, un poste opérateur, et une télécommande pour commander à distance les équipements de radionavigation (Localizer, Glide Path, VOR et DME).
- **Baie répartiteur:** Toutes les interconnexions « départs et arrivées » des signaux transitent par une baie de répartition. Les blocs utilisés sont de type à insertion et auto-dénudant.
- **Baie d'énergie 24V :** La baie d'énergie comporte un chargeur qui permet d'alimenter la baie VHF et en même temps charger les batteries qui l'alimentent en cas de coupure du secteur. L'autonomie des batteries est de 8H.
- **Onduleur :** Le système d'alimentation 220V ondulé est assuré par un onduleur qui permet l'alimentation des Rack : VCS, Enregistreur, horloge mère et les postes opérateurs. En cas de coupure du secteur, l'autonomie de l'onduleur est de 30min.

- **PC EMS** : Qui permet le réglage de la baie VCS.

b. La vigie

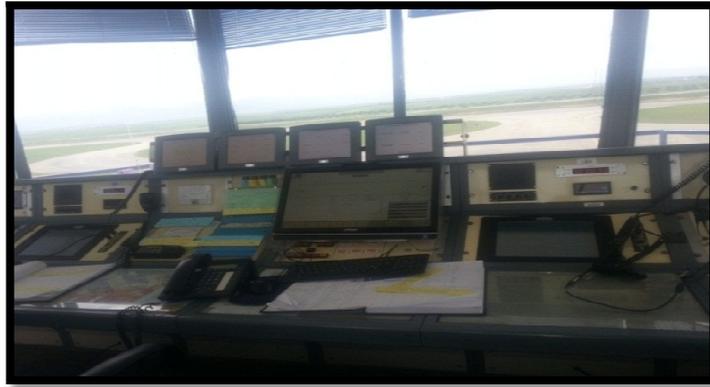


Figure 19 : La vigie

La vigie est placée de manière à pouvoir suivre visuellement les évolutions des avions sur les voies de circulation et sur la piste, se trouvant dans un bâtiment de 18 m de hauteur à l'aéroport Fès-Saïs. Le pupitre de commande comprend les postes opérateurs, la télécommande de balisage de piste, le panneau de visualisation de l'état de fonctionnement des équipements de radionavigation ainsi que les moyens de visualisation des données météorologiques.

Les postes opérateurs permettent aux contrôleurs de communiquer avec les avions et tous les services qui ont un rapport direct avec la sécurité aérienne (le Centre de contrôle régional (CCR), la tour de l'aéroport militaire de Meknès, la salle technique, le bureau de piste, la station météo, la centrale électrique....).

c. Bureau de piste :

A ce niveau on assure les tâches suivantes :

- Emission et réception des messages (Plan de vols, autorisation d'atterrissage, départs et arrivées).
- La communication à la tour de contrôle des renseignements concernant les vols à l'arrivée et au départ.

Il est doté :

- D'un PC pour l'AMHS (Aeronautical Message Handling System) permettant l'émission et la réception des messages (plans de vols, autorisations d'atterrissages, départs, arrivées) utilisant le logiciel CADAS.
- D'un Poste opérateur qui permet aux contrôleurs de faire la supervision.

Chapitre 3 :

Etude du système

Glide Path

I. Généralités :

L'OACI a classifié le système ILS (Instrument Landing System) en trois catégories qui se distinguent par:

- La **PVP** (Portée Visuelle de Piste): est la distance maximale jusqu'à laquelle un pilote, placé sur l'axe de la piste, peut voir les marques ou les feux qui délimitent la piste.
- La **HD** (Hauteur de Décision) : est la hauteur au-dessus du sol, à laquelle la référence visuelle est indispensable pour la poursuite de l'approche.

→ **Catégorie I** (HD=60m et PVP= 800m).

→ **Catégorie II** (HD=30m et PVP= 400m).

→ **Catégorie III A** ($0 < HD < 30m$) et PVP=200m avec référence visuelle durant la phase finale d'atterrissage.

→ **Catégorie III B** (HD=15m et PVP>50m) sans référence visuelle jusqu'au touché des roues (Seule la circulation dans la piste qui se fait à vue).

→ **Catégorie III C** (PVP=0) correspond à un atterrissage automatique.

L'ILS comprend 3 sous- équipements :

- **Localizer** qui fournit l'écart de l'avion par rapport à l'axe de la piste.
- **DME** qui fournit la distance entre un avion et la station sol.
- **Glide Path** qui fournit l'écart de l'avion par rapport à la pente nominale d'approche.

Dans la figure ci-dessous, le faisceau montre la trajectoire d'atterrissage formée par l'intersection du plan horizontal (Localizer) et du plan de descente (Glide Path). En outre les Markers fournissent la distance de l'avion par rapport au début de la piste.

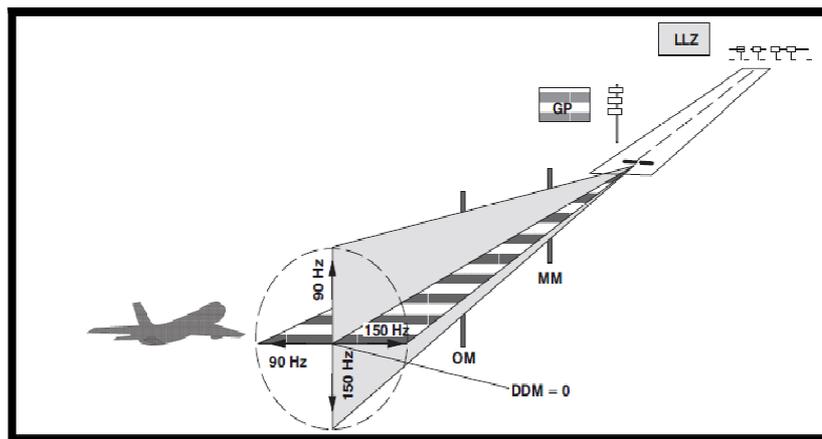


Figure 20 : Instrument Landing System

II. Fonctionnement du Glide Path:

Les antennes du Glide Path situées généralement entre 120 m et 150 m sur le côté de la piste, rayonnent une porteuse UHF de fréquence entre 328 et 336 MHz, modulée par deux basses fréquences 90 Hz et 150 Hz. Le récepteur du Glide Path sur l'aéronef mesure la différence de taux de modulation (DDM) pour permettre au pilote de suivre le plan de descente, faisant un angle de 3° avec l'axe de piste, où la DDM=0.

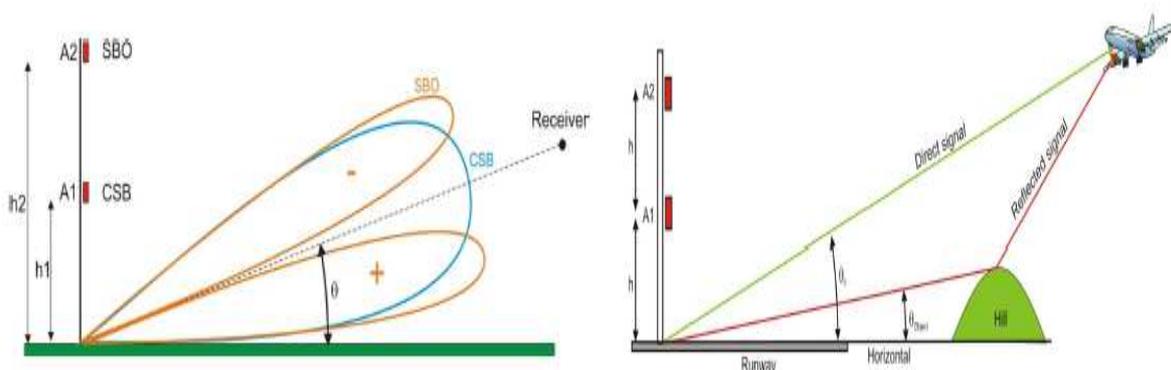
Pour bien comprendre le fonctionnement du Glide Path, nous avons déterminé le rôle de ses composants, et nous avons fait une étude des principaux signaux qui participent à l'élaboration du plan de descente. Pour s'assurer que le signal reçu à l'avion est conforme aux normes définies par l'OACI, nous avons détaillé les procédures de maintenance.

1. Types du Glide Path :

- **Le Glide Path nulle référence** (monofréquence) : utilise deux antennes A1 et A2 :

L'antenne basse A1 rayonne la porteuse ainsi que les bandes latérales correspondant aux modulations 90 Hz et 150 Hz (CSB), ce signal a une intensité de champ maximale sur l'angle de descente θ .

L'antenne haute A2 rayonne uniquement les bandes latérales correspondant aux modulations 90 Hz et 150 Hz (SBO), ce signal est nul sur l'angle de descente θ .



Ce type est sensible aux obstacles qui perturbent la structure de l'axe et nécessite une grande surface de réflexion 800m.

- **Glide Path SideBand référence** (monofréquence) : utilise deux antennes :

L'antenne haute rayonne le signal SBO.

L'antenne basse rayonne les signaux SBO et CSB.

Ce système est sensible aux multi-trajets (réflexions, diffractions, ...), comme le Glide Path nulle référence et les changements météorologiques, mais il exige une surface de réflexion de 700 mètres seulement.

- **Glide Path M à effet de capture** : (bifréquence) Pour remédier aux problèmes de sensibilité aux obstacles, on a ajouté une troisième antenne.

L'aéroport Fès-saïs possède un ILS de catégorie 'II', et un Glide Path du type M d'une fréquence UHF de 333.2 MHz (de marque Thalès).

2. Caractéristiques techniques d'un Glide Path de type M :

Les caractéristiques techniques du GP sont :^[2]

Gamme de fréquences	Entre 328,65 et 335,40 MHz
Portée	18Km
Nombres d'antennes	3 (A1, A2, A3)
Implantation	Entre 120 et 150m sur le côté de la piste
Polarisation	Horizontale
Basses fréquence	90 Hz et 150 Hz
Puissance émetteur	5W
Alimentation secours	48V

Figure 21: Tableau des caractéristiques techniques du GP

III. Schéma synoptique du Glide Path 2F-M :

Les principaux composants du Glide Path 2F-M sont:

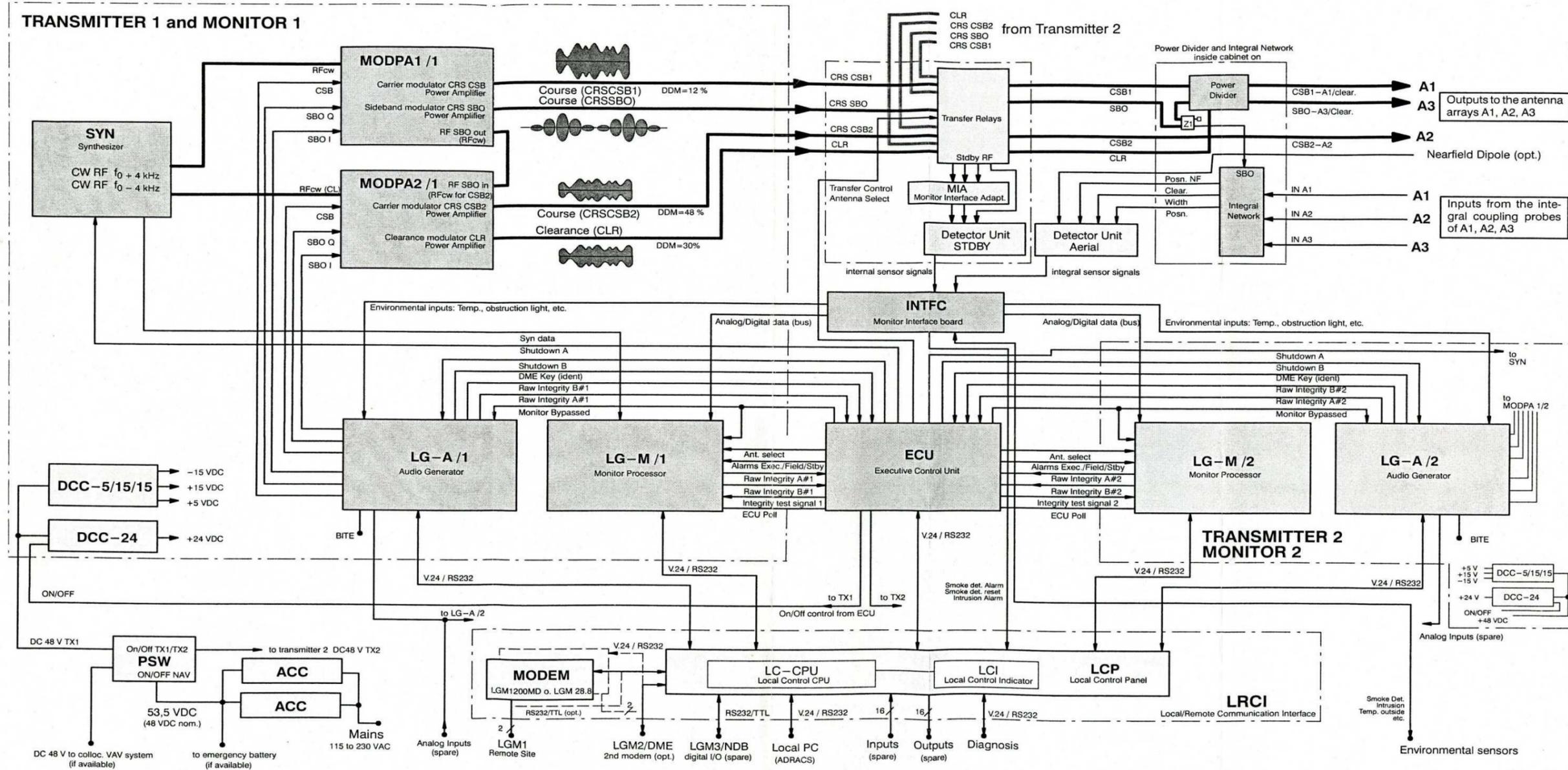


Fig. 1-20 ILS GP-2F active; simplified block diagram (transmitter 2 partly shown)

➤ **Alimentation : BCPS**

La BCPS (Battery Charger Power Supply) reçoit 220 V, alimente l'équipement, charge les batteries de secours et convertit les 220V en 54V, qui sera convertit par les convertisseurs PSW en +24V, ±15V et +5V selon le besoin de chaque carte.



Figure 22 : La BCPS et les convertisseurs PSW

➤ **Emetteur :**

Sa fonction est de générer les signaux HF. Ces signaux sont transmis à, et rayonnés par les antennes. Il se compose des sous-ensembles suivants:

- **Synthétiseur :** Fournit 2 porteuses : une pour le MODPA 1 (course) et l'autre pour le MODPA 2 (clearance). Ces deux porteuses sont décalées de 8kHz.
- **LG-A (Audio Générateur) :** Il fournit les signaux BF suivants :
 - CRS CSB. } MODPA1
 - CRS SBO I. }
 - CRS SBO Q. }
 - CLR CSB. } MODPA2
 - CLR SBO I. }
 - CLR SBO Q. }



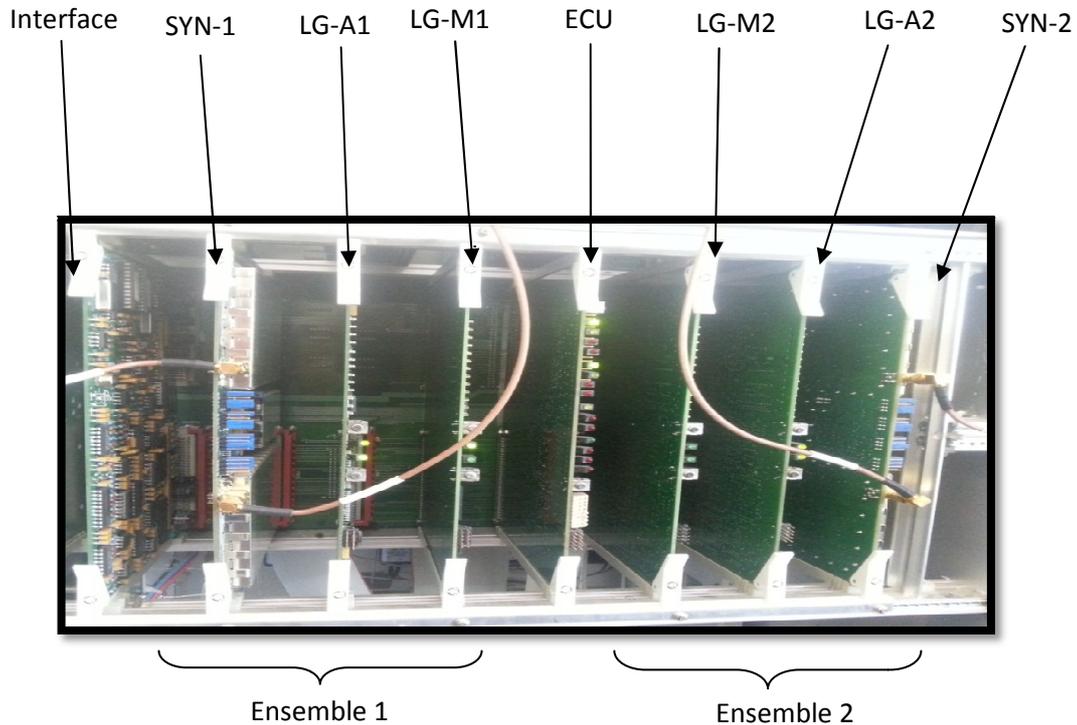
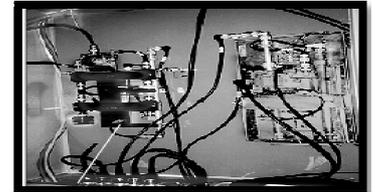
• **MODPA (Amplificateur de puissance/modulateur) :**

Deux modulateurs AM qui effectuent la modulation de 2 porteuses par les différents signaux BF et amplifient les signaux résultants. Ce sont les signaux suivants : CRSCSB1 et CRSCSB2 (Carrier and SideBand), CRSSBO (SideBand Only) et le signal CL (clearance).

- **Relais de transfert :** Ce sont 4 relais qui font le basculement de l'antenne sur l'émetteur 1 ou l'émetteur 2 suite à l'ordre de la carte ECU si un défaut a été détecté.



- **Power divider** : Distribue les signaux entre les antennes :
 - CSB +CL→ A1.
 - SBO+CL→A3.
 - L'antenne A2 est directement alimentée par le signal CSB2.



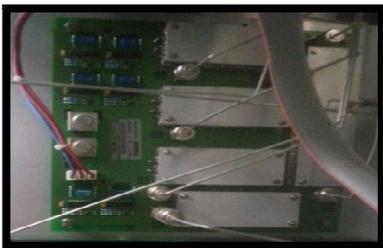
➤ **Moniteur :**

Un équipement de contrôle et de surveillance, il sert à contrôler les émissions en permanence et permet d'avertir en cas de panne.

Il est composé de :

- **Integral network** : Recombine les signaux venants des trois antennes via des probes pour donner les signaux : clearance, faisceau et position.

Ces derniers sont acheminés vers le Detector Unit Aerial.



- Génération du signal clearance :

L'antenne A3 contient le signal SBO et clearance. Pour éliminer le signal SBO, on divise le signal de l'antenne A3 dans un coupleur Z3, un signal SBO en opposition de phase s'ajoute dans le coupleur Z2 pour éliminer le signal SBO et générer uniquement le signal clearance.

- Génération du signal position :

L'autre partie du signal de l'antenne A3 qui reste dans le coupleur s'ajoute au signal de l'antenne A1 dans le coupleur Z4 afin d'éliminer le signal clearance. En sortie on obtient le signal Position.

- Génération du signal faisceau :

L'autre partie du signal dans Z5 s'ajoute avec le signal CSB2 dans le coupleur Z6 et en sortie le signal faisceau est généré.

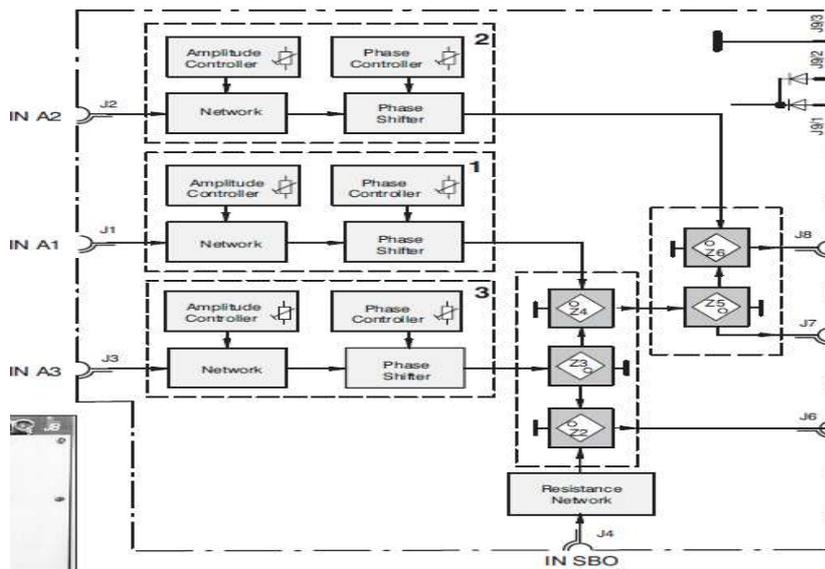


Figure 23: Schéma explicatif de l'Integral Network



- **MIA- G (Adaptateur d'interface du moniteur) :** Recombine et prépare les signaux : CRSCSB1, CRSCSB2 et CRSSBO provenant de l'émetteur Standby (via les Relais de transfert), pour donner les signaux : faisceau et position.

La phase et l'amplitude des signaux SBO et CRSCSB1 sont adaptées, le signal de sortie SBO est ajouté au signal CSB1 atténué, dans un coupleur qui donne le signal Position et un signal qui va être ajouté avec le signal de sortie CSB2 pour donner le signal faisceau. Ces signaux sont envoyés par la suite au Detector Unit.

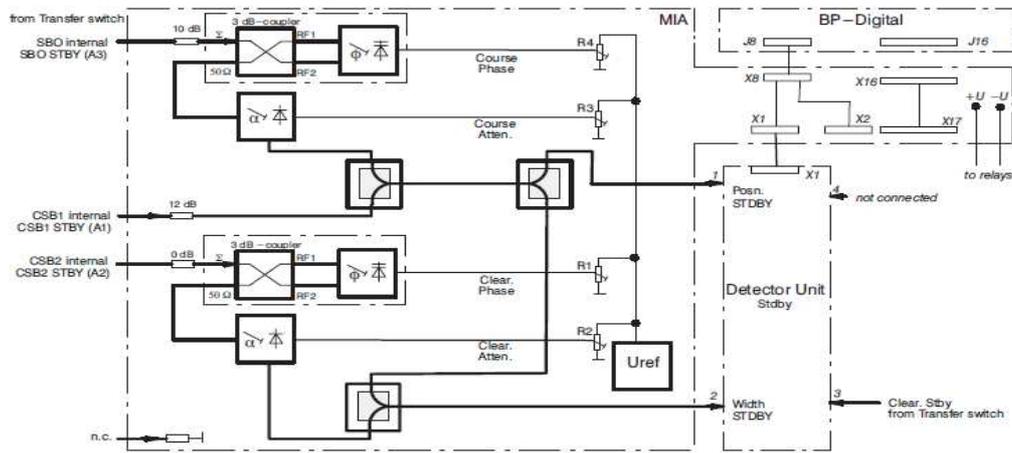
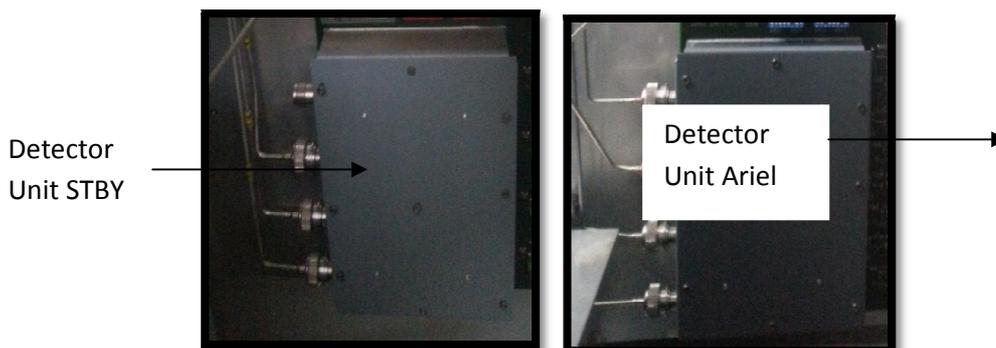


Figure 24 : Schéma explicatif du moniteur

- **Detector Unit :**

- **Detector Unit standby:** Reçoit les signaux : position et faisceau à partir de MIA, et le signal clearance standby provenant des relais.
- **Dectector unit arial:** Reçoit les signaux : position, faisceau et clearance à partir de l'Integral Network et le signal provenant du dipôle nearfield.

Le Detector Unit convertit les signaux HF d'entrée en signaux BF qui sont reçues et traitées parla carte INTFC.



- **INTFC (Interface du moniteur) :** Fournit l'interface nécessaire entre les sous-systèmes électroniques et des détecteurs du champ, cette carte envoie les signaux issus du traitement des signaux en provenance du Detector Unit vers la carte LG-M.
- **LG-M (Processeur du moniteur) :** Mesure en permanence et analyse les signaux en comparant leurs valeurs actuelles aux valeurs limites d'alarme, en cas d'écart la carte ECU est prévenue.
- **ECU (Ensemble de contrôle exécutif) :** Décide les actions de contrôle à exécuter : basculement de l'antenne sur l'émetteur 1 ou l'émetteur 2 ou bien l'arrêt de l'équipement.
 - **LRCI (Interface de communication locale ou à distance) :** Est le point de communication entre les groupes fonctionnels, la LCP et la télécommande. Elle est constituée de :
- **LCP (Panneau de commande locale) :** Local control Panel : permet l'affichage des différents paramètres de l'équipement ainsi de son état (normal, pré-alarme et alarme) via son écran LCI (Interface de commande locale), et contient un processeur (LC-CPU)

responsable du basculement de la clé entre l'état « remote », « local » ou « maintenance ».

- **Modem** : Sert à envoyer les informations à propos de l'état de l'équipement à la télécommande, remplacé actuellement par la radio-link qui envoie les données via des ondes radio, au lieu des câbles.

IV. Etude théorique :

1. Principe de fonctionnement :

La portée horizontale du Glide Path est de 10 NM (18.5 km) à $\pm 8^\circ$ de l'axe de piste et la portée verticale est comprise entre $0,3 \times \theta$ et $1,75 \times \theta$ (θ étant l'angle de la pente nominale de descente).

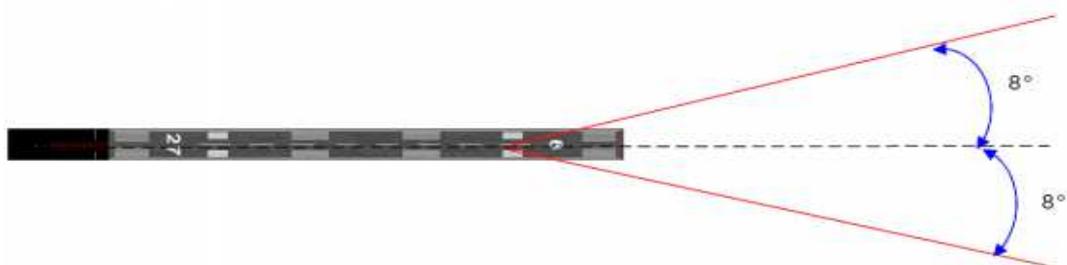


Figure 25 : Couverture horizontale du GP

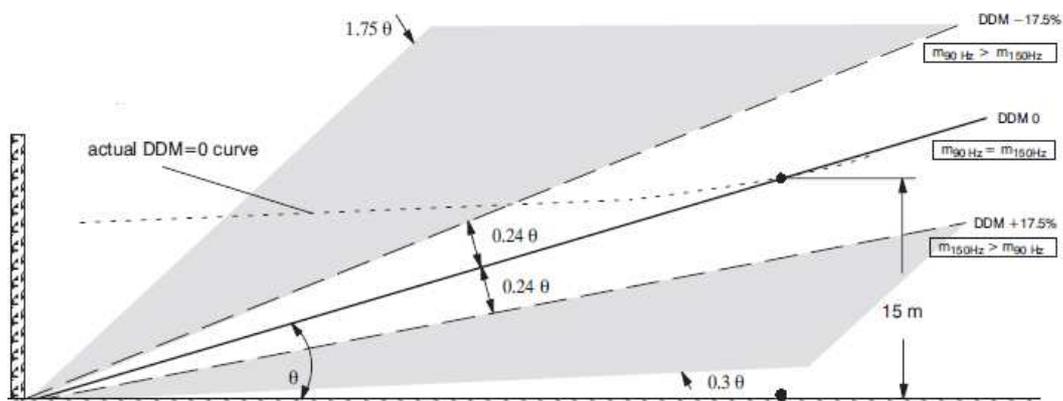


Figure 26 : Couverture verticale du GP

Le secteur défini par les déviations $\pm 0.24\theta$ à partir de l'angle θ (secteur d'alignement), représente le faisceau (course). Les signaux du Glide Path sont formés par la modulation en amplitude d'une porteuse UHF par des basses fréquences 90 Hz et 150 Hz, donnant ainsi deux types d'énergies, à savoir : CSB et SBO qui sont rayonnées de la façon suivante :

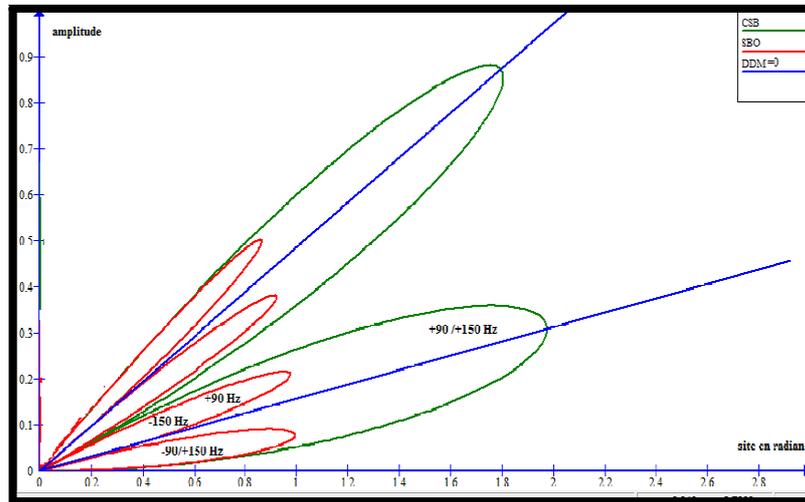


Figure 27 : Les lobes CSB et SBO

- Le premier maximum du diagramme de rayonnement de CSBest au-dessus de l'axe de piste à 3°.
- Le premier nul du diagramme de rayonnement de SBO est à 3° de la piste. Les lobes SBO sont disposés de telle façon qu'au-dessus du plan de descente, le taux de modulation de 90 Hz est prédominant, tandis qu'en dessous du plan de descente le taux de modulation de 150 Hz est prédominant.

Le principe de fonctionnement du Glide Path est basé sur la mesure de la différence des taux de modulation DDM. Ainsi, lorsque l'avion se trouve dans la zone de couverture, l'indicateur d'écart par rapport au plan de descente dévie vers le haut ou vers le bas.

Parmi les nombreuses erreurs auxquelles le système Glide Path est soumis, on peut noter les lobes secondaires des faisceaux radioélectriques, qui fournissent des faux axes. Pour réduire ce phénomène, le Glide Path émet deux signaux : un signal pour le guidage dans le secteur d'alignement (appelé Course) et un signal pour la couverture des faux axes (appelé Clearance). Les fréquences UHF des deux signaux sont très proches, le récepteur de bord effectue la capture du signal le plus fort.

A. Etude des signaux modulés :^[5]

➤ La porteuse course :

La porteuse course est donnée par l'équation:

$$P(t) = \cos(2\pi \times (333.2 \times 10^6 + 4 \cdot 10^3) t) \quad (1)$$

Sur la figure suivante on a représenté le signal P(t) :

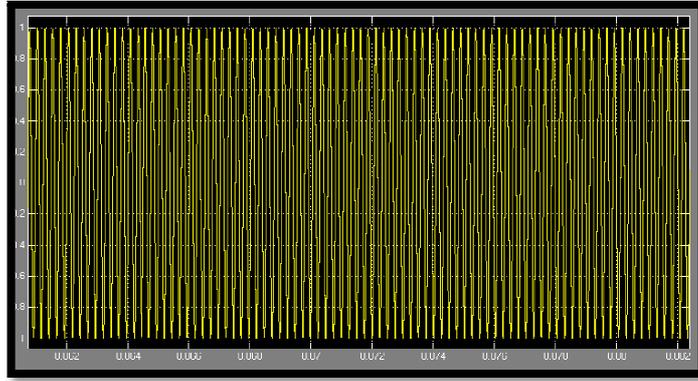


Figure 28 : La porteuse UHF du GP

➤ **Les signaux BF sont :**

Le premier signal BF est le suivant :

$$U_1(t) = \sin(2\pi \times 90t) + \sin(2\pi \times 150t). \quad (2)$$

Ce signal est représenté sur la figure suivante :

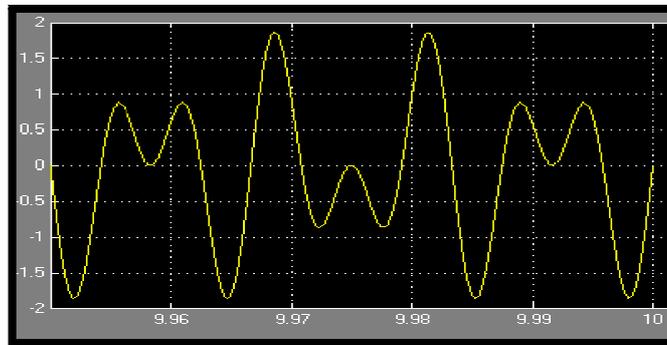


Figure 29 : Signal BF $U_1(t)$

Et le deuxième signal est :

$$U_2(t) = \sin(2\pi \times 150t) - \sin(2\pi \times 90t). \quad (3)$$

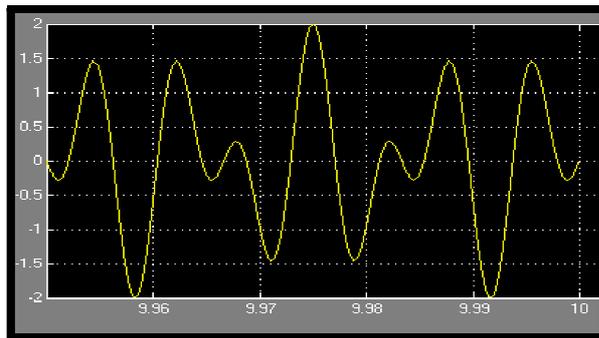


Figure 30 : Signal BF $U_2(t)$

➤ **Modulation de la porteuse avec $U_1(t)$:CRSCSB1 :**

Le signal CSB1 modulé est donné par la formule suivante :

$$CSB1(t) = \cos(\omega t + \Delta\omega t) (1 + 0.34 \sin(\omega_1 t) + 0.46 \sin(\omega_2 t)). \quad (4)$$

Avec $\omega_p + \Delta\omega = 2\pi (333.2 \times 10^6 + 4 \times 10^3)$ rad/s, $\omega_1 = 2\pi \times 150$ rad/s et $\omega_2 = 2\pi \times 90$ rad/s.

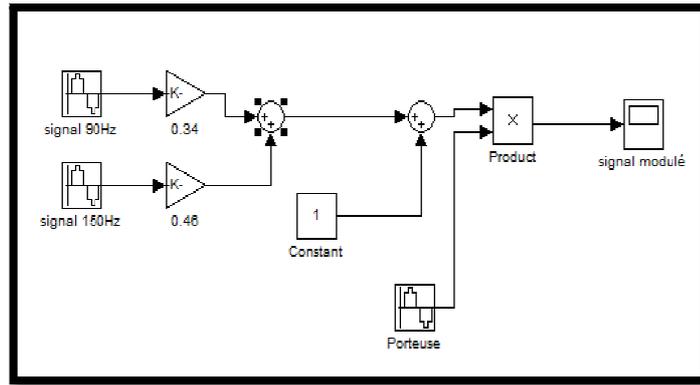


Figure 31: Modèle SIMULINK du signal CSB1

Le signal modulé sous Simulink est le suivant :

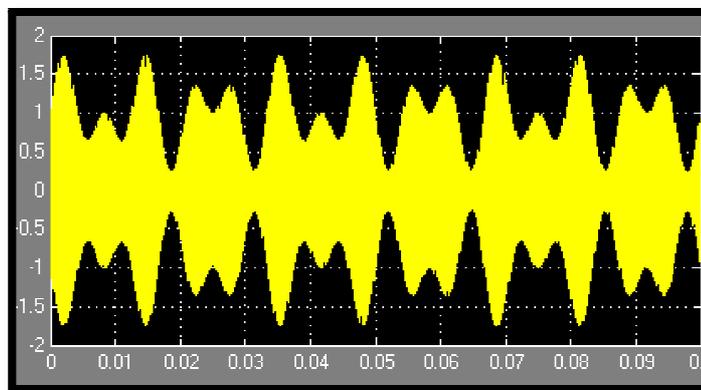


Figure 32: Le signal modulé CSB1

Nous voyons bien qu'on a réalisé une modulation AM, où l'enveloppe contient la porteuse.

➤ **Modulation de la porteuse avec $U_1(t)$:CRSCSB2 :**

L'expression du signal CSB2 est :

$$CSB2(t) = \cos(\omega_p t + \Delta\omega t) (1 + 0.16 \sin(\omega_1 t) + 0.64 \sin(\omega_2 t)). \quad (5)$$

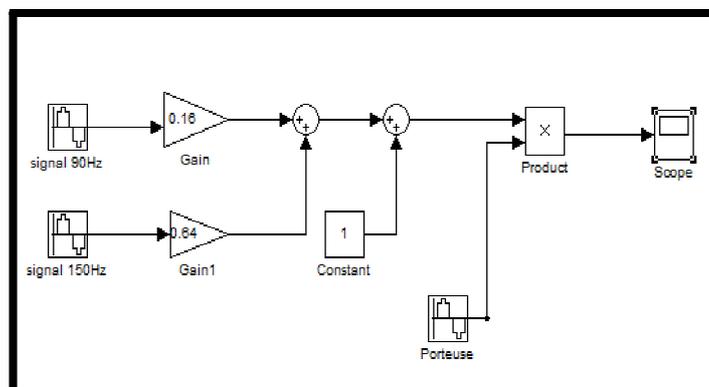


Figure 33 : Modèle SIMULINK du signal CSB2

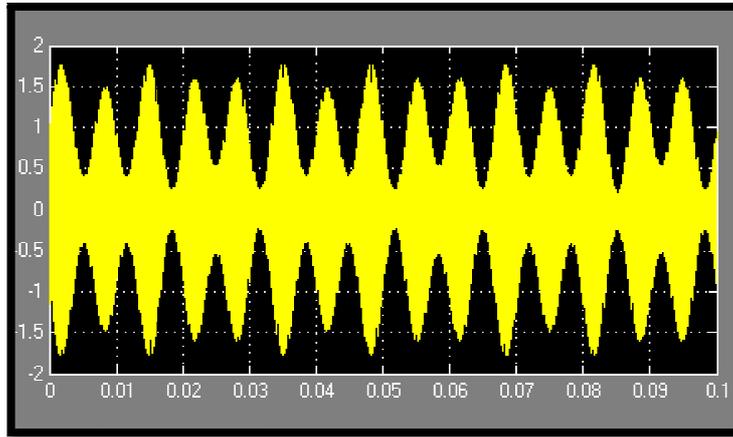


Figure 34: Le signal modulé CSB2

Nous avons obtenu un signal modulé en amplitude avec porteuse.

➤ **Modulation de $U_2(t)$ sans porteuse : CRSSBO**

L'expression du signal SBO est :

$$SBO(t) = 0.116 \cdot \cos(\omega_p t + \Delta\omega t) (\sin(\omega_1 t) - \sin(\omega_2 t)) \quad (6)$$

Avec $\omega_p + \Delta\omega = 2\pi (333.2 \times 10^6 + 4 \times 10^3)$ rad/s, $\omega_1 = 2\pi \times 150$ rad/s et $\omega_2 = 2\pi \times 90$ rad/s.

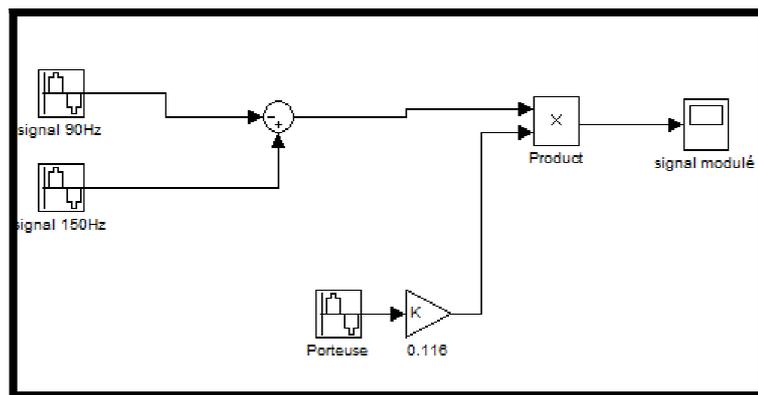


Figure 35: Modèle SIMULINK du signal SBO

Le signal obtenu est le suivant :

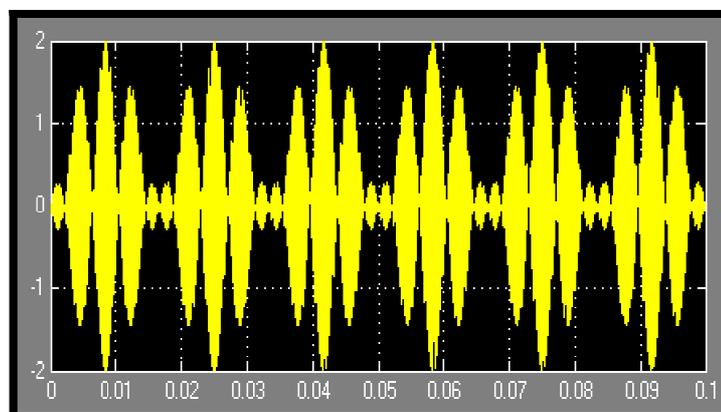


Figure 36 : Signal modulé SBO

Nous avons obtenu un signal modulé en phase et en amplitude simultanément.

➤ **Signal Clearance : CL**

L'expression de la porteuse Clearance est : $P'(t) = \cos(2\pi \times (333.2 \times 10^6 - 4.10^3) t)$. (6)

L'expression du signal Clearance est :

$CL(t) = 0.4 * \cos(2\pi \times (333.2 \times 10^6 - 4.10^3) t) (1 + 0.25 \sin(\omega_1 t) + 0.55 \sin(\omega_2 t))$. (7)

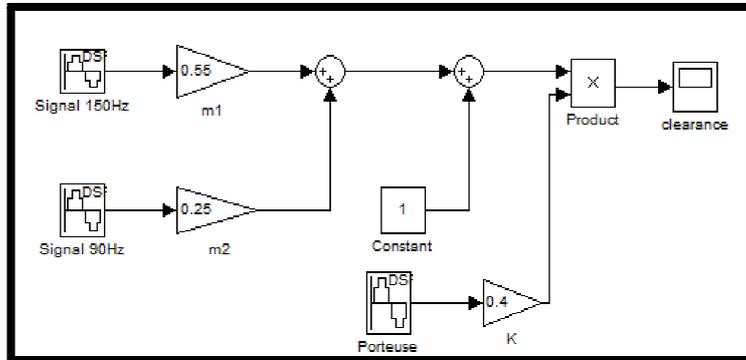


Figure 37 : Modèle SIMULINK du signal CL

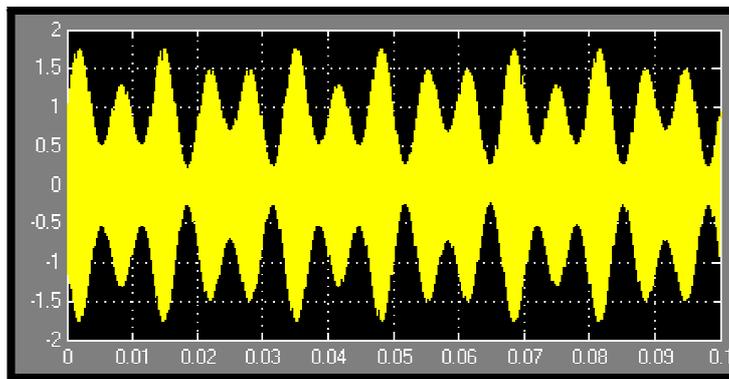


Figure 38 : Signal CL modulé

Le signal obtenu est un signal modulé en amplitude avec porteuse.

B. Etude des signaux des antennes :

○ **Antenne GlidePath :**

La figure ci-dessous montre une station GP avec ses antennes.

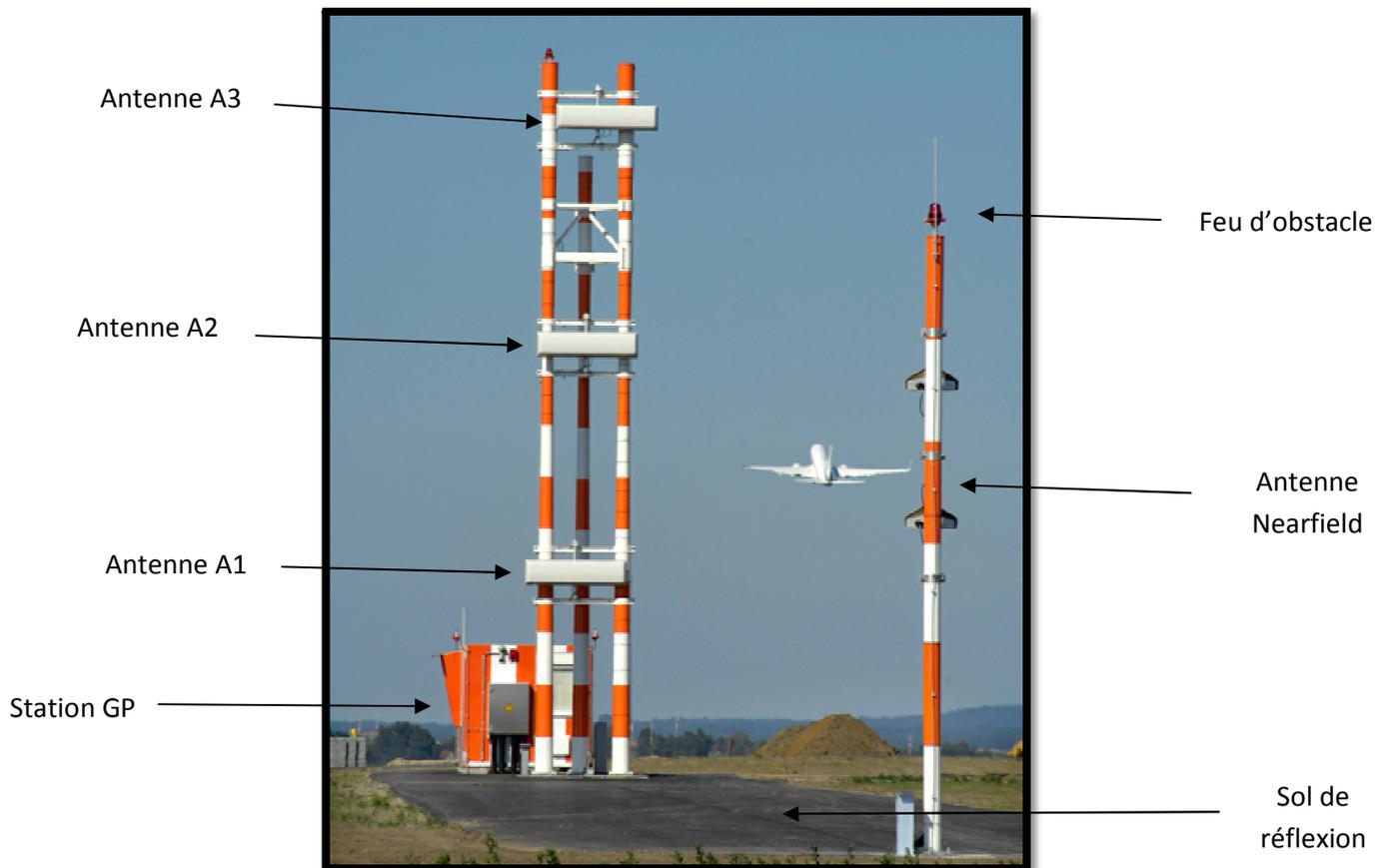


Figure 39 : Station Glide Path+ Antenne Nearfield

A1 : antenne basse est située à une hauteur $h = \frac{\lambda}{4 \sin \theta_d}$ au-dessus du sol (où $\theta_d = 3^\circ$). Pour $\lambda = 4.32\text{m}$. (8)

A2 : antenne médiane, située à une hauteur $h' = 2h$ au-dessus du sol.

A3 : antenne haute, située à une hauteur $h'' = 3h$ au-dessus du sol.

Moniteur Nearfield :

Sa fonction est de surveiller les paramètres de l'axe : niveau HF, DDM, SDM.

Les facteurs de directivité des antennes sont : ^[6]

$$A1 = \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right). (9)$$

$$A2 = \sin\left(\pi \frac{\theta}{\theta_d}\right). (10)$$

$$A3 = \sin\left(\frac{3\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right). (11)$$

Les diagrammes de rayonnement simulés sous Matlab sont représentés sur la figure suivante:

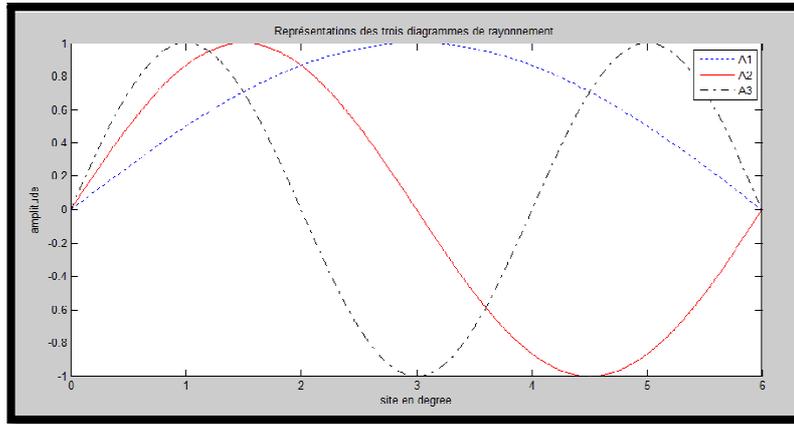


Figure 40: Représentation des signaux des antennes

On remarque que :

- Le signal de l'antenne A1 a une amplitude de champ maximale pour l'angle de descente 3°.
- Le signal de l'antenne A2 a une amplitude de champ nulle pour l'angle de descente 3°.
- Le signal de l'antenne A3 a une amplitude de champ maximale en dessous et en dessus de l'angle de descente 3°.

○ **Tableau de distribution Glide Path M :**

Afin d'obtenir les signaux qui remplissent tous les critères requis pour faire une approche exacte, ces signaux doivent vérifier les conditions suivantes :

Le signal CSB doit satisfaire la condition : diminution importante du rayonnement vers les sites bas.

Le signal SBO doit satisfaire la condition : diminution importante du rayonnement vers les sites bas avec un champ nul pour $\theta = \theta_d$.

Le signal CL doit satisfaire la condition : diminution du rayonnement dans le secteur d'alignement.

Le tableau suivant représente la distribution des signaux du GP pour les 3 antennes.^[6]

			Signal	CSB	SBO	CL
			Antenne			
A3	3h	$\sin\left(\frac{3\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right)$		-1	1	
A2	2h	$\sin\left(\pi \frac{\theta}{\theta_d}\right)$	-1	2		
A1	1h	$\sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right)$	2	-1	1	

Figure 41: Tableau de distribution du GP

✓ **Définition des signaux rayonnés:**

- **SignalCSB:**

Le signal CSB est obtenu à partir du tableau de la figure 40, par la somme des facteurs de directivité des antennes A1 et A2 avec leurs amplitudes.

$$P1(\theta) = 2 \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right) - \sin\left(\pi \frac{\theta}{\theta_d}\right). \quad (12)$$

- **Signal SBO:**

Le signal SBO est obtenu à partir du tableau de la figure 40, par la somme des facteurs de directivité des antennes A1, A2 et A3 avec leurs amplitudes.

$$P2(\theta) = 0.116 * \left[-\sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right) + 2\sin\left(\pi \frac{\theta}{\theta_d}\right) - \sin\left(\frac{3\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right) \right]. \quad (13)$$

- **Signal "CL":**

Le signal CL est obtenu à partir du tableau de la figure 40, par la somme des facteurs de directivité des antennes A1 et A3 avec leurs amplitudes.

$$P3(\theta) = 0.4 * \left[\sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right) + \sin\left(\frac{3\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right) \right]. \quad (14)$$

✓ **Représentation des signaux:**

Les figures suivantes représentent les diagrammes de rayonnement des signaux : CSB, SBO et CL:

▪ **En coordonnées cartésiennes :**

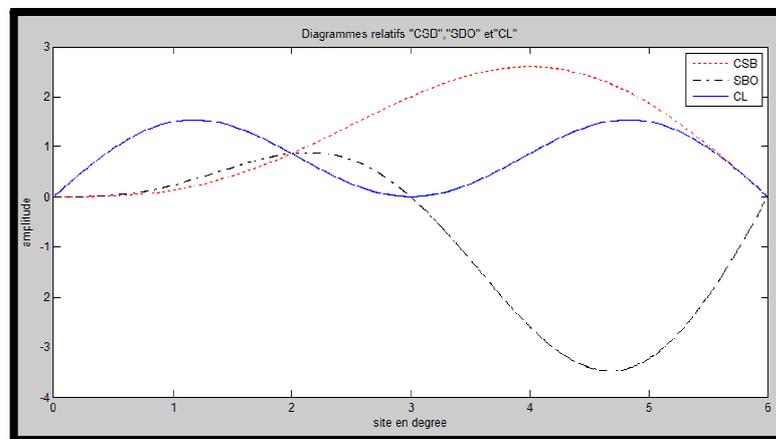


Figure 42: Représentation des signaux: CSB, SBO et CL

- Le signal CSB a une amplitude maximale dans le secteur d'alignement.
- Le signal SBO a une amplitude nulle pour l'angle de descente 3°.
- Le signal CL est faible dans le secteur d'alignement.

▪ **En coordonnées polaires :**

Nous avons simulé les diagrammes de rayonnement à l'aide du logiciel GRAPH.

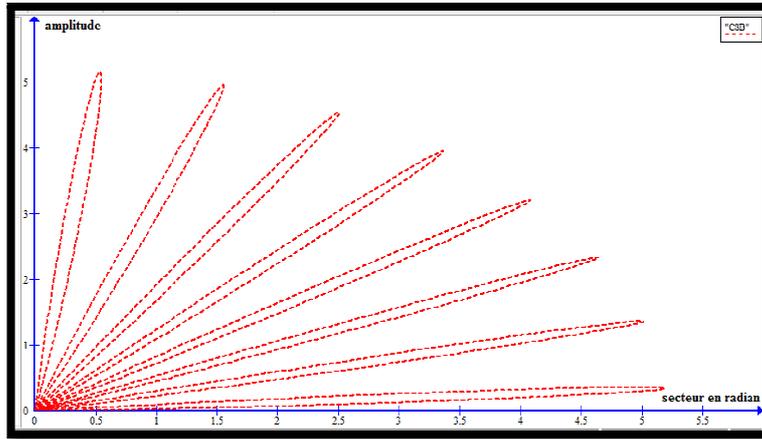


Figure 43: Diagramme de rayonnement de CSB

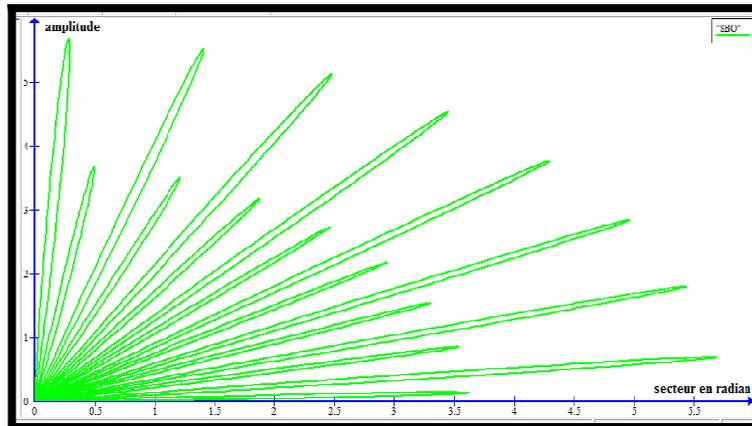


Figure 44 : Diagramme de rayonnement du SBO

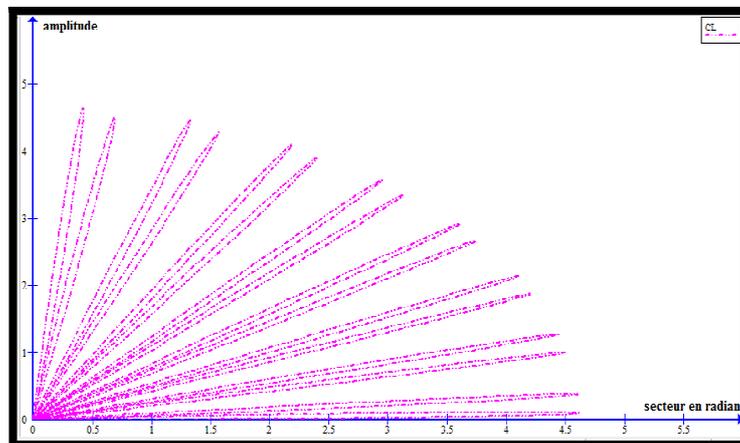


Figure 45 : Diagramme de rayonnement du signal CL

✓ **Expression de la DDM:**

La DDM constitue le signal de guidage exploité par l'aéronef. Elle est donnée par la relation :

$$DDM = \frac{2 * SBO}{CSB} \quad (15)$$

L'expression de la DDM peut être écrite comme suit :

$$\text{DDM}(\theta) = 4k \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{\theta}{\theta_d}\right). \quad (16)$$

Nous obtenons la figure suivante sous Matlab :

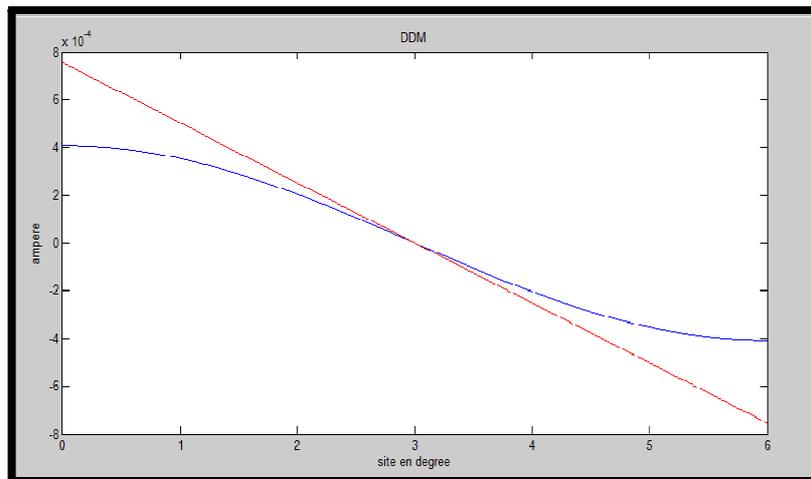


Figure 46 : Représentation de la pente de la DDM

La DDM est linéaire dans le demi-secteur d'alignement.

2. Principe du récepteur:



Le principe pour la réception est extrêmement simple. Il s'agit de comparer les taux de modulation. Pour cela, après détection, les signaux sont appliqués à des filtres ayant pour fréquence de coupure 90 Hz et 150 Hz qui vont en effectuer la séparation. Une fois redressées, les tensions résultantes sont proportionnelles aux taux de modulation de 90 Hz et 150 Hz, et après le récepteur en effectue la différence DDM envoyée à l'afficheur. Le pilote n'a plus qu'à regarder la position des aiguilles sur l'afficheur pour voir sa position par rapport à l'axe d'approche idéal représenté par le centre de l'instrument.

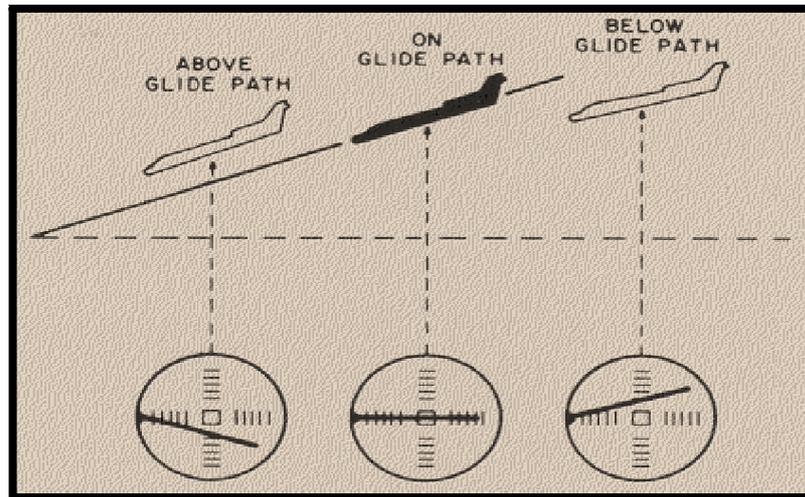


Figure 47 : Positionnement de l'avion par rapport au Glide

→ Au-dessus de la pente nominale : L'énergie reçue du rayonnement du 90Hz est supérieure à celle reçue du rayonnement du 150Hz. L'avion est au-dessus du plan de descente, la DDM est négative et l'aiguille dévie vers le bas.

→ Sur la pente nominale : Les taux de modulation sont égaux. L'avion est sur le plan de descente, la DDM est nulle et l'aiguille est centrée.

→ Au-dessous de la pente nominale : L'énergie reçue du rayonnement du 150Hz est supérieure à celle reçue du rayonnement du 90Hz. L'avion est en dessous du plan de référence, la DDM est positive et l'aiguille dévie vers le haut.

Chapitre 4 :

Maintenance du

Glide Path

I. Introduction :

Il est essentiel de veiller à ce que les signaux émis restent dans la tolérance fixée. L'OACI a recommandé de vérifier tous les principaux paramètres pour empêcher l'émission des signaux erronés, soit par passage à l'émetteur de standby ou arrêt du système.

La détection des défauts dans le GP(Glide Path)peut être effectuée avec le logiciel ADRACS. Les activités de réparation sont destinées à rétablir l'état normal du système défectueux dans les plus brefs délais. Le système est réparé par le remplacement du sous-ensemble défectueux.

1. Matériels utilisés :

- Logiciel ADRACS.
- Oscilloscope.
- Voltmètre.
- Fréquence-mètre.
- Wattmètre.
- Récepteur PIR (Portable ILS Receiver).
- Accessoires (coupleurs, atténuateurs, charges, adaptateurs...).

2. Maintenance du Glide Path :

Pour une bonne protection des équipements que ce soient les équipements radionavigation ou radiocommunication, les électroniciens suivent deux types de maintenance :

♣ Préventive :

Qui consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. Elle se subdivise en maintenance systématique et conditionnelle en prenant des relevés à l'aide du logiciel ADRACS d'une façon périodique :

On vérifie :

Quotidiennement :

- L'état de fonctionnement de la baie (Normal, pré-alarme, alarme, OFF).
- Les paramètres moniteur.
- La climatisation de la salle.
- La propreté de la station.
- Le bon fonctionnement des feux d'obstacle.

Hebdomadairement :

- Les paramètres du moniteur et l'émetteur en service.
- La vérification des batteries.
- Le basculement vers l'ensemble secours.

Mensuellement :

- Les paramètres du moniteur et des deux émetteurs.
- Vérification de la DDM et SDM.

- Test de l'autonomie des batteries.
- Vérification de l'état de l'environnement de la station (état des antennes, présence d'obstacle, désherbage).

Contrôle en vol:

Le contrôle en vol permet de se placer dans des conditions réelles de l'exploitation des signaux ILS dans l'espace. Il est indispensable lors de toute nouvelle installation ILS et périodiquement souhaitable pour contrôler l'évolution des paramètres et pour corriger tout fonctionnement hors tolérances du système tout en testant les paramètres suivants :

- Mesure de l'axe.
 - Mesure des deux bordures du secteur d'alignement.
 - Mesure de la couverture.
 - Vérification des alarmes axe et faisceau.
- Paramètres relevés :

TX 1 - Waveform Data #1		MON 1 - Current Executive Data	
Timestamp	18.11.2013 16:44:11	Timestamp	04.02.2014 10:04:30
CRS CSB1 DDM	-9.85 %	CRS Pos. RF Level	102.1 %
CRS CSB1 SDM	79.7 %	CRS Pos. DDM	-0.1 %
CRS CSB1 RF-Level	4.60 W	CRS Pos. SDM	78.8 %
CRS SBO Amplitude	44.6 %	CRS Width RF Level	102.00 %
CRS SBO Phase	85 deg	CRS Width DDM	17.2 %
CLR DDM	31.70 %	CRS Width SDM	79.9 %
CLR SDM	82.0 %	CLR Width RF Level	101.3 %
CLR RF-Level	0.40 W	CLR Width DDM	28.5 %
CRS CSB2 DDM	-41.00 %	CLR Width SDM	81.9 %
CRS CSB2 SDM	75.3 %	CRS Pos. nearf. RF Level	103.1 %
CRS CSB2 RF-Level	0.75 W	CRS Pos. nearf. DDM	-1.5 %
CRS CSB2 Phase	215 deg	CRS Pos. nearf. SDM	81.0 %
		CRS/CLR RF Frequency diff	8000 Hz
		Monitor auto-calibration	OK
		Executive Monitor BITF	OK

TX 2 - Waveform Data #1		MON 2 - Current Executive Data	
Timestamp	18.11.2013 16:40:25	Timestamp	04.02.2014 10:04:28
CRS CSB1 DDM	-11.00 %	CRS Pos. RF Level	100.2 %
CRS CSB1 SDM	79.9 %	CRS Pos. DDM	-1.1 %
CRS CSB1 RF-Level	4.50 W	CRS Pos. SDM	80.2 %
CRS SBO Amplitude	43.9 %	CRS Width RF Level	100.40 %
CRS SBO Phase	37 deg	CRS Width DDM	17.1 %
CLR DDM	33.00 %	CRS Width SDM	80.2 %
CLR SDM	84.7 %	CLR Width RF Level	99.5 %
CLR RF-Level	0.39 W	CLR Width DDM	28.5 %
CRS CSB2 DDM	-42.62 %	CLR Width SDM	82.1 %
CRS CSB2 SDM	74.3 %	CRS Pos. nearf. RF Level	100.2 %
CRS CSB2 RF-Level	0.66 W	CRS Pos. nearf. DDM	-0.2 %
CRS CSB2 Phase	47 deg	CRS Pos. nearf. SDM	80.1 %
		CRS/CLR RF Frequency diff	8000 Hz
		Monitor auto-calibration	OK
		Executive Monitor BITF	OK

Figure 48 : Paramètres relevés avec ADRACS

♣ Corrective :

Qui consiste à intervenir sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant. Elle se subdivise en une maintenance palliative qui désigne le dépannage et une maintenance curative qui est une réparation durable.

Lors d'une panne de l'équipement GP, les électroniciens visualisent les paramètres de l'équipement à l'aide du logiciel ADRACS pour déduire l'élément défaillant.

Ils suivent la procédure de changement des cartes suivante :^[2]

Cartes à changer	Préparation	Ajustement après changement
SYN	Enlever les câbles RF	Ajuster la fréquence à 333.2MHz à l'aide des cavaliers.
MODPA	Enlever les câbles RF	Vérifier le niveau HF, la DDM, et la phase des signaux modulés.
LG-A	-	Charger la nouvelle carte par son programme firmware, et les données de l'émetteur.
LG-M	-	Charger la nouvelle carte par son programme firmware, et le calibrer.
ECU	-	Vérifier sa configuration software.
MIA	Enlever ses câbles	La réajuster avec l'émetteur STBY.
Detector Unit : -Aerial -Standby	Enlever leurs câbles	-Calibrer le moniteur. -La réajuster avec l'émetteur STBY.
Power Divider Integral Network	Enlever les câbles	Vérifier le niveau HF, DDM, la phase des signaux. Et calibrer le moniteur.
LCP	Enlever les câbles	La reconfigurer.

II. Etude de cas :

Lors d'un contrôle quotidien daté le 23 Avril 2014, une alarme s'est déclenchée au niveau de la télécommande dans la salle technique et un voyant en rouge s'est allumé au niveau de la LCI du GP, ce qui a exigé une intervention immédiate par les électroniciens de la sécurité aérienne. Nous avons eu la chance de les accompagner afin de faire un diagnostic et procéder à la réparation du matériel défectueux.

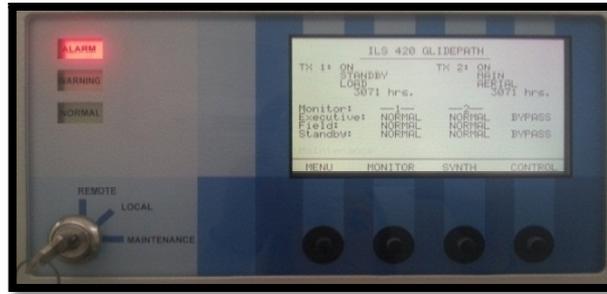


Figure 49 : Ecran d'affichage du Glide Path

Nous nous sommes déplacées à la station Glide Pathet nous avons suivila procédure de maintenance suivante :

- Sur la LCP, nous avons basculé la clé sur la position « Maintenance ».
- A l'aide d'un voltmètre, nous avons mesuré les tensions aux bornes de la BCPS et la PSW et nous avons trouvé :
 - ♣ BCPS : 54V.
 - ♣ PSW : +5V / ±15V / +24V.
 } Etat NORMAL.
- A l'aide du logiciel ADRACS, nous avons fait le basculement sur l'ensemble 2 défectueux et visualisé les paramètres de son moniteur :

File Valid	Valid
Timestamp	23.04.2014 8:32:34
Pre. CRS Pos. RF Level	100.6 %
Post CRS Pos. RF Level	6.1 %
Pre. CRS Pos. DDM	0.0 %
Post CRS Pos. DDM	0.0 %
Pre. CRS Pos. SDM	80.4 %
Post CRS Pos. SDM	1.2 %
Pre. CRS Width RF Level	99.4 %
Post CRS Width RF Level	9.6 %
Pre. CRS Width DDM	1.9 %
Post CRS Width DDM	0.1 %
Pre. CRS Width SDM	80.3 %
Post CRS Width SDM	0.6 %
Pre. CLR Width RF Level	99.8 %
Post CLR Width RF Level	11.5 %
Pre. CLR Width DDM	3.1 %
Post CLR Width DDM	0.1 %
Pre. CLR Width SDM	80.3 %
Post CLR Width SDM	3.0 %
Pre Nearfield Pos. RF level	94.1 %

Figure 50: Paramètres du moniteur défaillant

- Selon la notice de maintenance, nous avons pu situer la panne qui était au niveau de la carte LG-M2.
- Nous avons effectué un « reset » de la carte, mais la panne a persisté après un jour.
- Nous avons procédé au changement de la carte suivant la procédure suivante :

Nous avons :

- ♣ Ouvert l'interrupteur TX1 et TX2 sur PSW.

- ♣ Connecté la carte LG-X avec un PC, à l'aide du logiciel « 420ILSLGX Flash Memory configuration ».
- ♣ Appuyé sur le bouton S4 de la LCI pour accéder au boot de la carte LG-X.

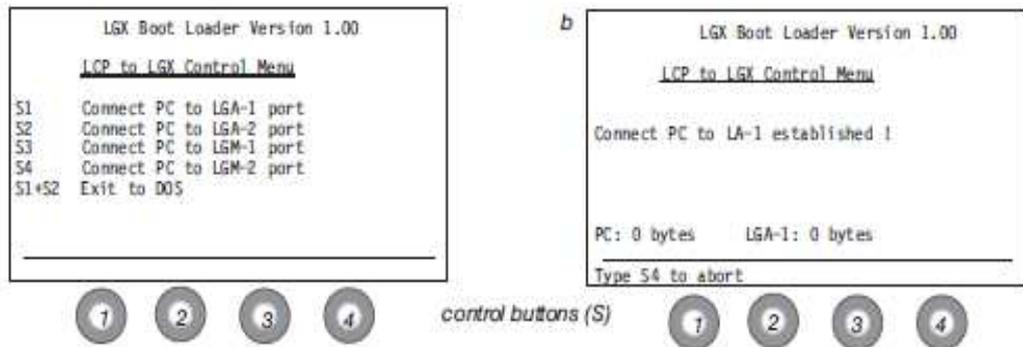


Figure 51: Configuration de la LG-X sur la LCI

- ♣ Choisie connecter le PC avec le port LG-M2 en appuyant sur S4.
- ♣ Inséré un CD comportant le programme « config420.exe » et suivi ses instructions.
- ♣ Appuyé sur le bouton S4 pour confirmer le chargement du programme et les deux LED s'allument en vert.
- ♣ Appuyé simultanément sur S1 et S2 pour quitter le boot.
- ♣ Ouvert puis fermé les interrupteurs TX1 et TX2.
- ♣ Calibré la carte avec les paramètres du moniteur avec ADRACS.
- ♣ Connecté la LG-M avec LRCI à l'aide de la commande « LRCI station Configuration ».

Après avoir effectué ces manœuvres, l'équipement s'est remis en marche avec succès.

Conclusion générale

Le stage que nous avons effectué au sein de l'ONDA dans l'aéroport Fès-Saïs, nous a été une expérience assez riche et intéressante, dans la mesure où il nous a permis de mettre en pratique et de développer les connaissances acquises lors de notre cursus universitaire, ainsi que tirer profit de l'expérience et des compétences des électroniciens de la sécurité aérienne, qui ont le rôle d'installation, la maintenance et le développement des équipements aidant à la navigation aérienne.

Durant la période de notre stage à l'aéroport Fès-Saïs, nous nous sommes intéressées à l'étude des différents équipements radiocommunication et radionavigation, et spécifiquement l'équipement Glide Path du système ILS qui est le sujet de notre projet.

A travers notre travail, nous avons fait une étude descriptive de cet équipement en s'appuyant sur la théorie des signaux et son principe de fonctionnement. Afin de bien comprendre son fonctionnement, nous avons fait une simulation sous MATLAB des signaux résultants des blocs modulateurs, ainsi qu'une simulation sous le logiciel GRAPH des diagrammes de rayonnement des signaux au niveau des antennes.

Lors de notre stage, nous étions face à une panne concernant la carte LG-M dont le diagnostic et la résolution, nous ont permis de développer notre sens d'analyse et de synthèse, nous avons pu appliquer nos connaissances théoriques et acquérir les procédures sécuritaires et techniques qu'il faut suivre.

Au-delà des connaissances techniques que nous avons acquises et des compétences que nous avons développées, cette expérience nous a permis de comprendre la réalité du monde du travail et de prendre un contact direct avec le milieu professionnel.

Enfin, nous estimons que ce stage fut une étape de transition réussie entre les études et le monde professionnel nous tenons à exprimer notre satisfaction d'avoir pu travailler dans de bonnes conditions matérielles et un environnement agréable.

Document annexe

OFFICE NATIONAL DES AEROPORTS SERVICE TECHNIQUE
réf d`envoi :



Aéroport : FES SAISS FEZ_8_E_023/00
Date :

RELEVÉ MENSUEL DU GLIDE

Type d'équipement		Thalès AN 420				
Fréquence / Indicatif		333.2 MHz				
Ensemble en service						
Etat de l'équipement						
Paramètres émission	Signal course			Signal clearance		
	TX1	TX2	TX1	TX2		
DDM1 réf	9.85	11	31.7	33		
DDM 2 réf	41	33	-	-		
SDM1 Réf	79.7	79.9	82	84.7		
SDM2 Réf	82	74.3	-	-		
Puissance CSB1	4.6W	4.5W	0.4	0.39		
Puissance CSB2	0.4W	0.39W	-	-		
SBO Amplitude	44.6	43.5				
	Paramètres	TX1		TX2		Tolérances
		M1	M2	M1	M2	
Axe	Niveau HF	100	99.4	100	99.6	>80%
	DDM	0	0	1.1	1	$\pm 37.5\mu A / \pm 0.038 d d m / \pm 3.8\%$
	SDM	81.2	80.6	81.3	80.7	$\pm 8\%$
Faisceau	Niveau HF	97.8	98.1	99.2	99.6	>80%
	DDM	18.6	18.1	17.6	17.4	$\pm 37.5 / \pm 0.043 d d m / 4.3\%$
	SDM	80.7	80.2	80.4	80.2	$\pm 8\%$
Clearance	Niveau HF	99	99.7	100.7	101	104.6 >80%
	DDM	31	30.3	29.6	28.6	(>190 μA) selon constructeur
	SDM	80.3	80.1	82.2	81.9	$\pm 8\%$
Near Field	Niveau HF	100.5	97.6	100.3	97	>80%
	DDM	1.5	0.2	0.5	0.8	$\pm 37.5\mu A / \pm 0.038 d d m / \pm 3.8\%$
	SDM	80.2	79.9	81	80.4	$\pm 8\%$

Commentaire :

Electroniciens locaux :	Responsable technique :	Service Radionavigation :
-------------------------	-------------------------	---------------------------

Bibliographie

- [1] http://fr.wikipedia.org/wiki/Instrument_Landing_System. 15-04-2014
- [2] NOTICE THALES ILS 420, GLIDE PATH 422 PARTS 1, 2 AND 3. Reference N°83140 55625 Version 2010.
- [3] NOTICE THALES DME 415/435. Version 2010.
- [4] NOTICE THALES CVOR 431. Version 2010.
- [5] Partie théorique: Cours Ecole Nationale de l'Aviation Civile ENAC <http://www.enac.fr/>.07-05-2014
- [6] Cours ENAC : Amplitude Modulation and Vector diagrams.