



LICENCE
Electronique Télécommunication et Informatique
(ETI)

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Elaboration d'une procédure de
maintenance du système VOR**

Réalisé Par :

EL GHARBAOUI ACHRAF
ESLIMANI BADR

Encadré par :

P^fA. Mechaqrane (FST FES)

Soutenu le 09 Juin 2014 devant le jury

Pr A. Mechaqrane (FST FES)

Pr M. Jorio (FST FES)

Pr N. Es-Sbai (FST FES)

Dédicace

Nous dédions ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

Nos chères familles, pour leurs affections, patience, et leurs prières.

Nos enseignants.

Nos meilleurs amis pour leur aide, leur temps, leur encouragements, et soutien.

Personnel de « ONDA » .Qui nous ont aidés à améliorer nos connaissances en nous donnant informations et conseils.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci infiniment.

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre gratitude et à témoigner notre reconnaissance à tous ceux qui ont été à l'origine de notre aide et assistance et tous ceux qui nous ont accueillis, soutenu et accompagné durant toute la période de notre stage.

Nous remercions particulièrement **Mr. El Addouli Mohammed** qui nous a consacré du temps pour nous encadrer, et **Mr. Dbiya Mohammed** chef de service radar et radionavigation.

Nous tenons à remercier aussi notre professeur **Mr. Abdellah Mechaqrane** de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, qui a bien voulu assurer l'encadrement de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury **Mr. M. Jorio** et **Mme. N. Es-Sbai** d'avoir accepté juger notre travail.

Nous voudrions aussi exprimer nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce travail et plus particulièrement **les électroniciens de la sécurité aérienne.**



Table des matières:

DEDICACE.....	
REMERCIEMENTS.....	
TABLE DES MATIERES.....	
Table des figures.....	
Tableaux.....	
LISTE DES ACRONYMES.....	
INTRODUCTIONS.....	
Chapitre1 : Présentation de L'office National Des Aéroports (ONDA)-Aéroport Fès-Saïs.	
I _ Présentation de l'ONDA.....	11
1) _ Généralités	11
2) _ Historique.....	11
3) _ Mission.....	12
4) _ Activités.....	12
5) _ Organisation.....	14
II _ Aéroport Fès-Saïs.....	15
1) _ Présentation.....	15
2) _ La fiche technique de l'aéroport Fès-Saïs	16
3) _ Organigramme	17
4) _ Les divisions et les services de l'aéroport Fès-Saïs.....	17
Chapitre 2 : Présentation de la division Technique de Navigation de L'aéroport Fès-Saïs.	
1) _ Introduction.....	22
2) _ Service équipements aérogare, électricité et balisage.....	22
3) _ Service radar et radionavigation.....	24
a) _ Les équipements radionavigation.....	24
➤ ILS (Instrument Landing System).....	24
• _ Localizer.....	24
• <i>Glide-path</i>	24
• <i>DME-L (Distance Measuring Equipment – Landing)</i>	25
➤ VOR (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range).....	25
➤ DME-N (Distance Measuring Equipment-Navigation)	25
➤ Balisage.....	26
b) _ Les équipements radiocommunication.....	26
➤ Salle technique.....	26
4) _ Service infrastructure et bâtiments.....	28
5) _ Service télécommunication et informatique.....	29
Chapitre 3: procédures et maintenance de l'équipement VOR.	
I_ Etude du VOR.....	31
1) _ Introduction.....	31
2) _ Description de la station VOR /DME	31
3) _ Définition et principe du VOR	34
4) _ Etude théorique du VOR	35
5) _ Fonctionnement.....	35

a) _ émission des signaux.....	35
b) _ Réception des signaux	37
6) _ Descriptif des modules du VOR.....	38
a) _ Modules de l'émetteur	40
b) _ Modules du moniteur	42
c) _ Modules LRCI	42
d) _ Modules de l'alimentation électrique.....	43
e) _ Alimentation de secours.....	43
f) _ Antenne.....	43
g) _ Dipôles de moniteur	43
h) _ Description résumée du Schéma fonctionnel	45
II_ Etude da maintenance	47
1) _ Introduction.....	47
2) _ La maintenance préventive	47
a) _ La maintenance conditionnelle	48
b) _ La maintenance systématique	48
3) _ La maintenance corrective	49
4) _ La maintenance améliorative	49
III Procédure de maintenance du VOR.....	50
1) _ procédure de calcul d'erreurs.....	50
2) _ procédure de contrôle en vol.....	52
Chapitre 4 : Etude de cas.....	
1) _ Introduction.....	54
2) _ Maintenance préventive	54
3) _ Maintenance corrective	60
➤ Etude de panne	60
Conclusion.....	
Annexe.....	
Bibliographie.....	
Liste des acronymes.....	

Table des figures

Figure 1 : Organigramme de l'ONDA.....	14
Figure 2 : Organigramme de l'aéroport Fès-Sais.....	17
Figure 3 : Secteur d'arrivée 22000 V.....	23
Figure4: Groupe électrogène.....	23
Figure5: Transformateur triphasé.....	23
Figure6: Les 13 antennes du Localizer	24
Figure7: L'antenne du glide-path.....	25
Figure8:Lampe de balisage	26
Figure9 : Balisage lumineux.....	26
Figure 10 : Les racks de la salle technique.....	27
Figure 11: Télécommande des équipements Radionavigation.....	28
Figure12: la station VOR\DME	31
Figure13:Transformateur abaisseur de la station VOR /DME.....	31
Figure 14:Groupe électrogène de la station VOR /DME.....	32
Figure 15: VOR et DME.....	32
Figure 16: Radio Link.....	32
Figure 17 : Batteries de secours.....	33
Figure 18 : Stabilisateur.....	33
Figure19: Mesure de l'angle azimut.....	34
Figure 20: Principe de la navigation en route du VOR.....	34
Figure 21: Angle de phase dans différentes directions.....	35
Figure 22:Diagramme de rayonnement.....	36
Figure 23:Modulations de la sous-porteuse et de la porteuse.....	36
Figure 24: Spectre de fréquence du VOR.....	37
Figure 25: Synoptique d'un récepteur VOR.....	37
Figure 26 : Vue arrière de VOR.....	38
Figure 27 : Vue frontale du VOR.....	38
Figure 28: Emplacements de montage dans le bâti de l'émetteur VOR.....	38
Figure 29: Disposition de contrôle du sol à huit points.....	43
Figure 30: Vue d'ensemble des modules et du flux des signaux de l'installation CVOR.....	44

Figure 31: Schéma de base d'une installation VOR	45
Figure 32 : Méthode de maintenance.....	47
Figure 33 : Planning de maintenance préventive de l'aéroport Fès-Sais.....	54
Figure 34 : Vue des paramètres à l'aide du logiciel « ADRACS ».....	55
Figure 35 : Fiche du relevé Hebdomadaire.....	56
Figure 36 : Vue de la courbe d'erreurs calculer par le logiciel « ADRACS ».....	57
Figure 37 : Fiche 1\2 du relevé mensuel.....	58
Figure 38: Fiche 2\2 du relevé mensuel.....	59
Figure 39 : La courbe d'erreurs.....	61
Figure 40 : La déviation du dipôle sinus.	62
Figure 41 : La déviation du dipôle cosinus.....	63
Figure 42 : La déviation du des deus dipôles croisé.....	63
Figure 43: Tige de l'antenne directionnelle.....	64
Figure 44: Paramètre « Azimut alignement ».....	64

Tableaux

Tableau 1 : Fiche technique de l'aéroport Fès-Sais.....	16
Tableau 2 : l'emplacement de chaque carte dans le bâti VOR.....	40
Tableau 3: Procédure de calcul d'erreurs.....	51
Tableau 4 : Les erreurs mesuré à l'azimut.....	60

Liste des acronymes

ADRACS: automatic data recording and control system.

AITA: association international du transport aérien.

AMHS: aeronautical message handling system.

BCPS: battery charging power supply.

BF: basse fréquence.

CCR : centre de contrôle régional.

CSB: carrier and side band.

DME: distance measuring equipment.

ESA : électroniciens de la sécurité aérienne.

ILS: Instrument landing system.

LCP: local control panel.

LRCI: local\remote communication interface.

MON: moniteur

OAC : Office des Aéroports Casablanca.

OACI : organisation de l'aviation civile internationale.

ONDA : Office National Des Aéroports.

ONE: office nationale d'électricité.

REF: référence

RF: radio frequency (HF).

SBA: side band A.

SBB: side band B.

SSLIA : Service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs.

TX: Emetteur.

UHF: ultra high frequency.

VAR: variable.

VCS: Voice communication system

VHF: veryhighfrequency.

VOR: Very high frequency omnidirectional Radio Range.

VSWR: Voltge Standing Wave Radio.

Introduction

Dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin d'étude, on a eu l'occasion d'effectuer un stage au sein de l'aéroport Fès-saïs, et plus précisément au service technique de navigation.

Au cours de ce stage, qui a duré deux mois, on a pu enrichir notre formation professionnelle et mettre en pratique nos connaissances acquises lors de notre formation.

Durant la période de notre stage, on a pu connaître l'importance des équipements de radionavigation placés au sol. Ces équipements sont généralement des émetteurs qui, combinés avec des récepteurs « intelligents » embarqués à bord des avions, permettent à définir ou confirmer une position et donnent aux pilotes la possibilité de réaliser une navigation sans avoir besoin de référence visuelle. Vue leur importance primordiale, les équipements de radionavigation au sol nécessitent une maintenance rigoureuse.

L'objectif de notre travail consiste en l'établissement d'une procédure de maintenance de l'équipement VOR (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range). Cet équipement a pour fonction de fournir une information d'azimut permettant au pilote de voler d'une station VOR à une autre au moyen de trajectoires préprogrammées.

Pour bien accomplir notre tâche, nous avons réalisé, en premier lieu, une étude de cet équipement, et nous avons par la suite simulé une panne de cet appareil et décrit les différentes étapes pour y remédier.

Notre rapport de stage, est constitué de trois grandes parties :

- Présentation de l'Office National Des Aéroports ONDA et de l'aéroport Fès-Saïs.
- Présentation de la division technique de navigation.
- Procédures et Maintenance de l'équipement VOR.

Chapitre1:
Présentation de l'Office Nationale
Des Aéroports
Et de l'aéroport Fès-Sais

I Présentation de l'ONDA :

1) Généralités :

L'office National Des Aéroports (O.N.D.A) est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. il est soumis à la tutelle technique du ministère des transports et au contrôle financier de l'état. la création de cette organisme devrait répondre aux nouveaux impératifs d'exploitation et de gestion en ayant égard à la complexité des équipements techniques et des innovations introduites dans le secteur aéroportuaire. Ceci a permis toujours aux cadres et aux techniciens d'exprimer pleinement leurs compétences et de développer leurs savoir-faire.

2) Historique :

Quatre dates marquent le développement du secteur du transport aérien marocain.

Vers 1973 : l'autogestion du secteur fut évoquée pour la première fois.

En 1980 : les pouvoirs publics créent l'Office des Aéroports de Casablanca, organisme de gestion autonome.

La mission initiale de l'OAC était d'assurer la gestion des aéroports de Casa-Nouasseur, Casa-Anfa et Til-mllil. Le dynamisme de son équipe de cadres et de techniciens lui permet de maîtriser rapidement les aspects du fonctionnement de la plate-forme et de mettre en place les structures et les outils indispensables à une gestion moderne. Très vite Casablanca s'impose comme un modèle au niveau national et comme une plate -forme appréciée par les compagnies aériennes pour la sécurité de ses installations.

Compte tenu des performances réalisées par l'OAC, il se voit confier dès **1987** la gestion de 6 groupes d'aéroports (Agadir, Marrakech, Tanger, Fès, Rabat et Oujda). Les aéroports de Laâyoune, d'AL-Hoceima, Ouarzazate et Tétouan, sont rattachés à ces groupes d'aéroports suivants leur proximité géographique.

En **1990**, l'OAC ayant fait preuve d'une grande maîtrise dans ses tâches de gestion et de restructuration, l'Etat étend sa compétence à l'ensemble des aéroports du royaume. L'OAC cède la

place à l'**ONDA** (Office National Des Aéroports) qui entame alors une nouvelle phase de développement.

L'ONDA est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du Ministère du Transport et le contrôle du Ministère des Finances.

3) Mission :

Les missions de l'ONDA sont regroupées en 4 axes :

- 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.

Des missions qui se déclinent en un certain nombre d'exigences, à savoir :

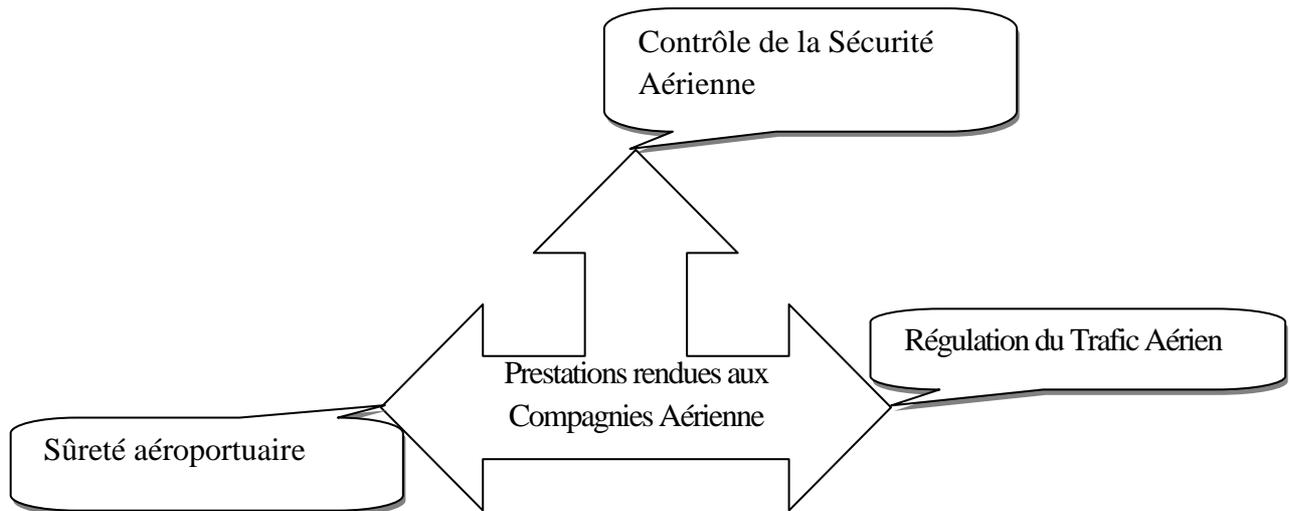
- La garantie d'une qualité de service dans les prestations rendues aux compagnies et aux passagers, conformément aux normes internationales.
- Le développement continu des ressources nécessaires pour répondre au changement technologique permanent du secteur.
- Le développement du secteur pour répondre aux besoins de croissance du transport aérien.

4) Activités :

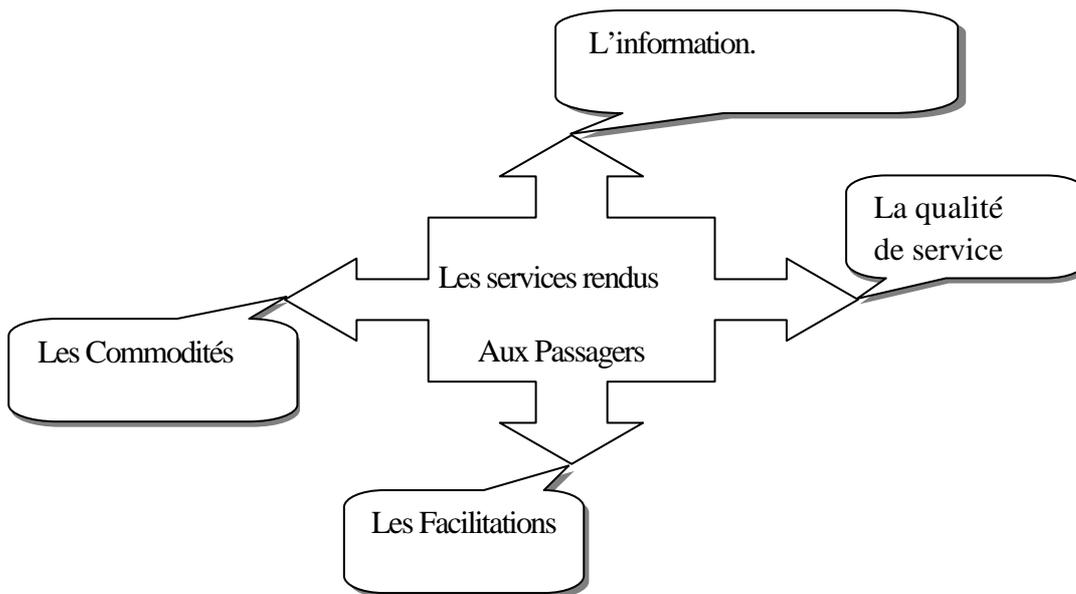
Prestations et services :

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

- **Prestations rendues aux Compagnies Aérienne :**



- **Les services rendus aux Passagers :**



Autres activités :

- **Académie International Mohammed VI de l'Aviation Civile:**

Dans le cadre de sa stratégie globale, l'O.N.D.A accorde depuis sa création un intérêt particulier au développement de ses Ressources Humaines considérées comme le pilier sur lequel repose la réussite de programmes de l'établissement les principales orientations qui ont guidé cette politique ont visé fondamentalement à :

- _ Disposer de cadres techniques de haut niveau et de grande capacité d'adaptation.
- _ Garantir une qualité de service de haut niveau.
- _ Garantir une qualité de service de haut niveau.
- _ Anticiper les mutations notamment technologiques, auxquelles sera confronté le secteur.

5 Organisation :

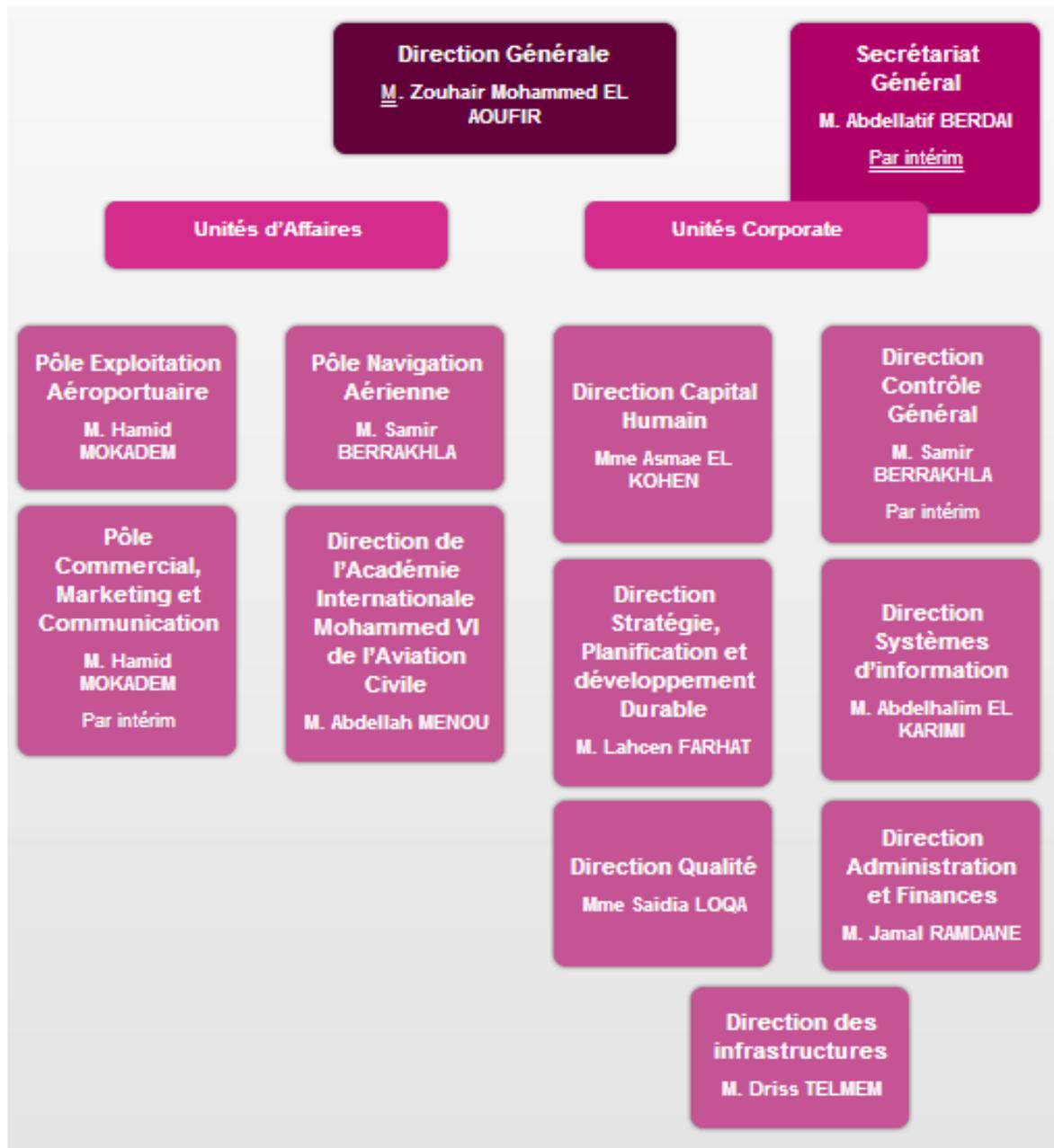


Figure 1 : Organigramme de l'ONDA

II Aéroport Fès-Saïs :

1) Présentation :

L'aéroport Fès - Saïs est un aéroport international situé à « OuledTayeb» à environ 15 km au sud de Fès, au Maroc. Il est géré par l'Office national des aéroports. Il a été inauguré le 28 Avril 1960 par SA MAJESTE LE ROI MOHAMMED V, accompagné de SA MAJESTE 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.

L'aérogare est caractérisée par sa symétrie interne et externe qui s'inspire, en version moderne, de l'élément typique de l'architecture marocaine traditionnelle.

2) La fiche technique de l'aéroport Fès-Saïs :

Code IATA	FEZ
Code OACI	GMFF
Effectif personnel	121 cadres et agents
Directeur délégué	Mr. LARHENI Nourdine
Capacité d'accueil actuel	500 000 passagers/an
Extension d'une nouvelle aérogare	95% 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
Superficie zone FRET	375 m ²
Longueur et largeur de piste	Longueur : 3 200 m Largeur : 45m
Horaire de fonctionnement	24h/24 et 7j/7

Tableau 1 : Fiche technique de l'aéroport Fès-Saïs.

3) Organigramme :

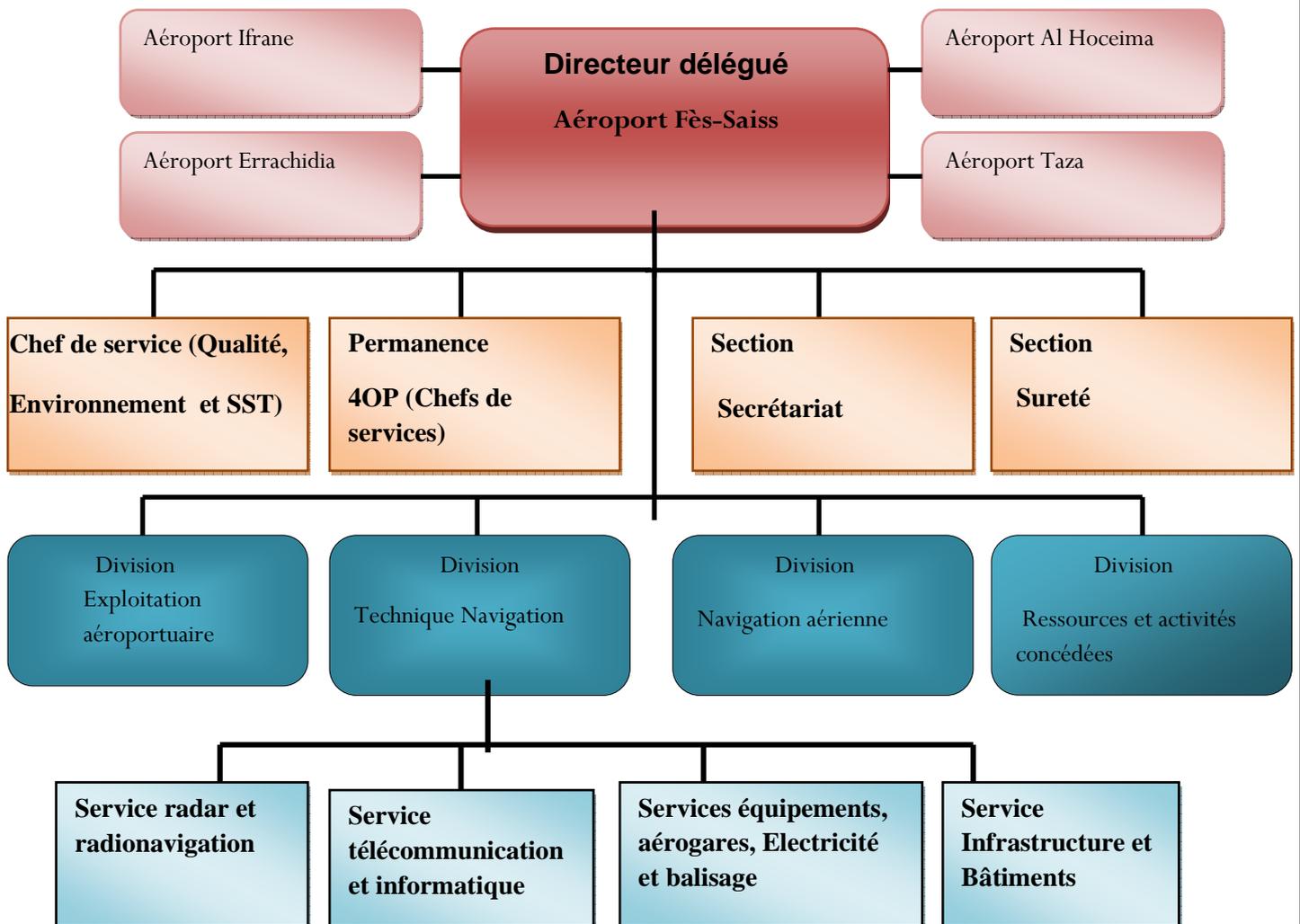


Figure 2 : Organigramme de l'aéroport Fès-Saïss.

4) Les divisions et les services de l'aéroport Fès-Saïss :

➤ Division exploitation :

Ce service est chargé de l'exploitation aéroportuaire : l'aérogare, le salon royal et le salon V.I.P de l'aéroport Fès-Saïss.

➤ Division technique de navigation:

Ce service veille sur l'entretien et la maintenance des installations techniques en s'appuyant sur des techniques modernes et des technologies performantes qui facilitent ainsi, la maintenance des équipements conformément aux normes et recommandations en vigueur de l'OACI.

Quatre services sont liés à cette division :

- Service équipements aérogare, électricité et balisage.

- Service radar et radionavigation.
- Service télécommunication et informatique.
- Service infrastructure et bâtiments.

➤ **Division navigation aérienne :**

Ce service s'occupe du contrôle de la navigation aérienne et de la sécurité des avions, ainsi de la sécurité incendie.

✓ **Tour de contrôle (La vigie) :**

Dans la Tour de contrôle on trouve 2 contrôleurs qui en coordination avec le CCR ; ils s'occupent de la circulation et de la navigation aérienne des avions transitant par l'espace aérien, ou à destination de 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 radio navigation ainsi que les moyens de visualisation des données météorologiques.

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

✓ **Bureau de piste :**

Le bureau de piste assure les tâches suivantes :

- Emission et réception des messages (Plan de vols, NOTAMS, autorisation d'atterrissage, départs et arrivées).
- L'exploitation des messages de la circulation aérienne se fait au moyen d'équipements qui sont reliés des services fixes des télécommunications aéronautiques.
- L'inscription des mouvements avions sur les feuilles et les registres réservés à cet effet.
- La communication à la tour de contrôle des renseignements concernant les vols à l'arrivée et au départ.
- Inspection quotidienne des aires de manœuvres et des aires de trafic.

Au niveau du bureau de piste on trouve :

- Un PC pour l'AMHS (Aeronautical Message Handling System) permettant l'émission et la réception des messages (plans de vols, NOTAM, Autorisations d'atterrissages, Départs, Arrivées)
- Un Poste opérateur qui permet aux contrôleurs qui s'y trouvent de suivre les communications entre pilote et contrôleur de la tour de contrôle.

✓ **SSLIA (Le Service de Sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs) :**

Le Service de Sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs a pour mission principal de sauver les vies humaines en cas d'accident ou d'incident d'aéronefs survenant sur l'aérodrome ou à son voisinage , par la mise en place sur les plates-formes aéroportuaires des moyens et d'une organisation adaptés au niveau de protection requis déterminé selon les classes d'aéronefs desservant l'aéroport. Il peut être appelé à participer à la prévention et à la lutte contre les incendies ou autres catastrophes survenant dans les services et installations de l'Aérodrome et à son voisinage.

➤ **Division ressources et activités concédées :**

Cette division est chargée de la gestion des ressources humaines, des recettes et des dépenses ainsi que de la gestion des stocks.

➤ **Section de sûreté :**

Ce service est chargé de la sécurité de l'aéroport.

➤ **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 2 compagnies desservant l'aéroport :

- Royal Air Maroc (RAM) : qui s'occupe de la gestion des vols et des passagers (réservation, renseignement et enregistrement) ainsi que des autres compagnies qui ont un contrat d'assistance avec celle-ci.
- SWISSPORT : gestion des vols et traitement des passagers des compagnies aériennes.

➤ **Officiers de permanence :**

Ce poste est dirigé par des cadres qui assurent la permanence de l'aéroport Fès-Saïs 24h/24h et remplissent les fonctions suivantes :

- Représentation continue de la direction de l'aéroport et des services opérationnels en dehors des heures administratives.
- Supervision des activités reliées à la gestion aéroportuaire.
- Coordination entre tous les intervenants impliqués dans l'exploitation aéroportuaire.

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

- **Douane.**
- **Police de frontière :** chargé 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.
- **DGST** (Direction générale de la surveillance du territoire).
- **FRET :** Ce service permet d'assurer le transport du FRET par la Royal Air Maroc en coordination avec les services de douane et de santé en respect des règlements internationaux en vigueur surtout le transport des marchandises dangereuses.
- **Contrôle sanitaire à la frontière (CSF)**
- **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 qui les communique aux pilotes, la permanence est assurée 24h/24h.

➤ **Concessionnaire :**

Parmi les services qui sont disponibles à l'aéroport Fès-Saïs, on trouve : Café-restaurant, Kiosque, L'échange, Cafeteria, Free shop, Location voiture.

Chapitre 2 :

Présentation de la division
Technique de Navigation
de L'aéroport Fès-Saïs

1) introduction :

La division technique de navigation veille sur l'entretien et la maintenance des installations techniques en s'appuyant sur des techniques modernes et des technologies performantes qui facilitent ainsi, la maintenance des équipements conformément aux normes et recommandations en vigueur de l'OACI.

Quatre services sont liés à cette division :

- Service équipements aérogare, électricité et balisage.
- Service radar et radionavigation.
- Service infrastructure et bâtiments.
- Service télécommunication et informatique.

2) Service équipements aérogare, électricité et balisage :

Le service assure l'alimentation en électricité et la maintenance de tous les équipements et installation électrique de l'aéroport à savoir : le balisage lumineux de la piste d'atterrissage, les équipements de communication de surveillance de sûreté, ainsi que l'éclairage en générale.

La centrale électrique :

- il assure l'alimentation en électricité de tous les équipements et installation électrique de l'aéroport.
- Deux arrivées du secteur ONE, une normale et une autre secours de 22000V.
- Deux transformateurs abaisseurs 22000V/380V.



Figure 3: Secteur d'arrivée 22000 V



Figure 4: Groupe électrogène



Figure 5: Transformateur triphasé

3) Service radar et radionavigation :

Les avions suivent des voies aériennes (routes). Pour ne pas dévier de ces voies, un pilote dispose d'une large palette d'instruments de vol. Ces équipements se trouvant aussi bien dans les aéroports que dans les avions, assurent ainsi le transfert des informations indispensables au pilotage aérien. C'est ce qu'on appelle : CNS (communication navigation sûreté).

a) Les équipements radionavigation :

➤ ILS (Instrument Landing System) :

Le système d'atterrissage aux instruments ILS (Instrument Landing System) est le système d'approche le plus utilisé actuellement. Il crée sur la trajectoire de descente un champ d'ondes radio qui permet à un pilote de savoir, par l'intermédiaire des indicateurs de bord, si l'alignement avec la piste est correct.

Ce système est le moyen de radionavigation le plus précis utilisé pour l'atterrissage. Il est composé de trois éléments : Localizer, Glide-path, et DME-L.

- **Localizer :**

Implanté à 300 mètres de l'extrémité de piste et dans l'axe de celle-ci, cet équipement fournit le plan vertical passant par l'axe de piste permettant ainsi à un avion de connaître son écart par rapport à l'axe de piste pendant les phases d'atterrissage et de faire les corrections nécessaires.



Figure 6: les 13 antennes du Localizer

- **Glide-path :**

C'est un équipement qui assure l'alignement de descente, il informe le pilote de l'angle exact de descente, il est implanté à une distance de 150m à 300m après le seuil de piste et de 120m à 150m sur le côté de celle-ci. Sa portée est de 10Nm (Nauticale Mille).



Figure 7: L'antenne du glide-path

- **DME-L (Distance Measuring Equipment – Landing):**

Le DME-L est un instrument de radionavigation qui permet de connaître la position de l'avion par rapport au seuil de la piste ainsi que sa vitesse sol presque instantanément. A cet effet, un émetteur à bord de l'avion émet de façon omnidirectionnelle une interrogation. En retour, la balise émet une réponse qui est à son tour reçue par l'avion. Il suffit alors de mesurer le temps que met une impulsion radioélectrique UHF pour faire un aller-retour entre l'avion et la station pour connaître la distance qui sépare l'avion de la station, le temps qui lui sera nécessaire pour la rejoindre et la vitesse de l'avion par rapport au sol.

- VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range):

Le VOR a pour fonction de fournir une information d'azimut permettant au pilote de voler d'une station VOR à une autre au moyen de trajectoires préprogrammées.

- DME-N (Distance Measuring Equipment-Navigation) :

DME-N est un radio-transpondeur qui permet de connaître la distance entre un avion et une station au sol qui émet sur une fréquence donnée. En saisissant cette dernière sur l'écran récepteur, le DME affiche cette distance en miles nautiques (Nm).

L'émetteur situé à bord de l'avion, envoie des paires d'impulsions qui sont reçues par la station au sol sur une fréquence bien précise. Le récepteur de bord mesure le temps aller-retour et en déduit la distance à la station.

Les informations fournies au pilote sont la distance oblique en milles nautiques, la vitesse sol et le temps pour rejoindre la station. La distance mesurée doit être corrigée en fonction de l'altitude de l'avion pour connaître la distance horizontale.

➤ **Balisage :**

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.



Figure8:Lampe de balisage

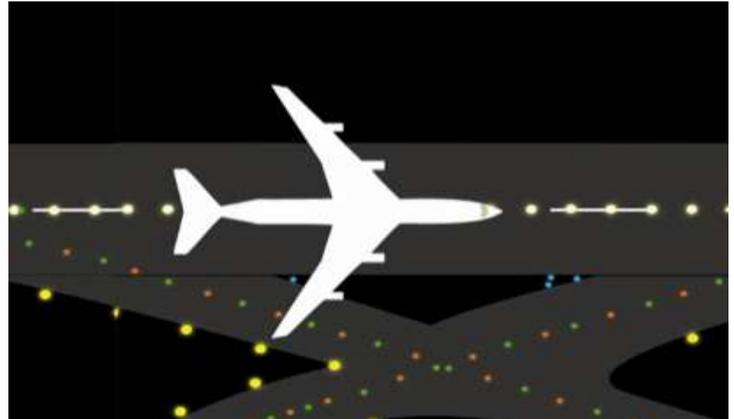


Figure9 : Balisage lumineux

b) Les équipements radiocommunication :

➤ **Salle technique :**

La salle technique permet de contrôler les équipements de radiocommunication ainsi que quelques équipements de radionavigation.

Elle est équipée de tableaux de distribution électrique pour l'alimentation des équipements à travers des moyens de secours électriques.

La figure suivante illustre les racks de la salle technique :

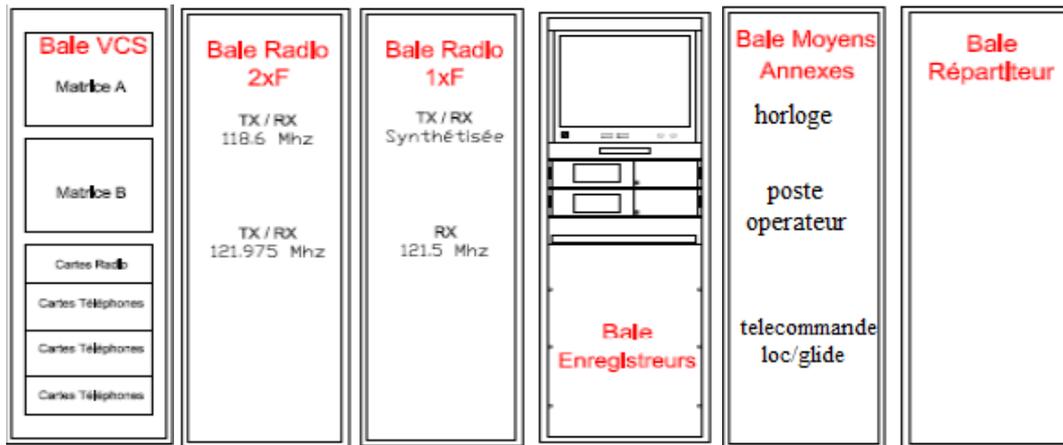


Figure 10 : Les racks de la salle technique

- **Baie VCS :**

Cette chaîne radio permet de gérer les postes opérateurs : en effet toutes les communications Radio et Téléphone ainsi toutes les fonctionnalités demandées par le Centre Sécurité Télécommunication.

- **Baies Radio VHF :**

Ces Baies contiennent des émetteurs et des récepteurs de communication avec les avions.

- **Rack Enregistreur :**

Le Rack enregistreur permet d'enregistrer toutes les communications radio ou téléphone de la tour de contrôle.

- **Rack moyens annexes :**

On trouve :

- Système de distribution horaire.
- Poste opérateur.
- Télécommande des équipements radionavigation : il permet l'affichage des états distincts (Normal-Alarm-Warning) et la gestion des fonctions de commande Marche \Arrêt pour tous les équipements de radionavigation.

A partir de cette télécommande on peut accéder aux équipements de radionavigation.



Figure 11: Télécommande des équipements Radionavigation

- **Rack 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 24 V :**

La baie d'énergie comporte un chargeur qui permet d'alimenter la baie VHF et en même temps charger les batteries qui prennent le relai en cas de coupure de courant. L'autonomie des batteries est de 8H.

- **Onduleurs :**

Le système d'alimentation 220V ondulé est assuré par un onduleur permet l'alimentation des Rack : VCS, Enregistreur, horloge mère et les postes operateurs. En cas de coupure du courant l'autonomie de l'onduleur est de 30min.

4) Service infrastructure et bâtiments :

Ce service veille sur le bon état de l'air de mouvement et la clôture, 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 exigées par les normes appliquées dans ce domaine.

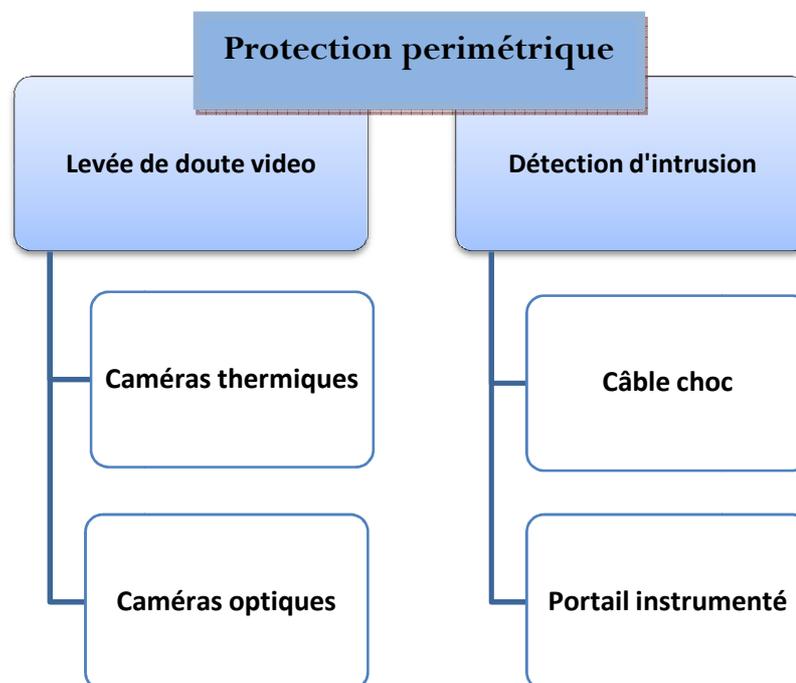
Les domaines des interventions sont :

- La peinture.
- La menuiserie.
- La plomberie.
- La vitrerie.
- La gestion du parc auto.

5) Service télécommunication et informatique:

Ce service s'occupe de la maintenance des équipements :

- Réseau local (parc informatique).
- Téléphonie.
- Sonorisation.
- Téléaffichage.
- Détection incendie.
- Equipement de sureté : Rayon X, les portiques magnétiques.
- Protection périmétrique.



Chapitre 3:

Procédures de maintenance de l'équipement VOR

I. Etude du VOR

1) Introduction :

Le VOR (abréviation de VHF Omnidirectional Range) est un système de positionnement radioélectrique utilisé en navigation aérienne, depuis 1947 et fonctionnant, comme son nom l'indique, avec les fréquences de la bande VHF. C'est un système d'aide à la radionavigation préconisé par l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) et reconnu internationalement pour le guidage des avions à courte et moyenne distance. Il peut être commandé et surveillé à distance.

Le VOR fournit une information d'azimut permettant au pilote de voler d'une station VOR à une autre au moyen de trajectoires préprogrammées. Les variations de la trajectoire présélectionnée sont affichées sur un instrument au moyen d'informations telles que « vole à droite » ou « vole à Gauche » ainsi qu'au moyen de l'indication de direction « de/vers » qui indique si l'avion se dirige vers le radiophare omnidirectionnel ou s'il s'en éloigne.

2) Description de la station VOR /DME :

A Fès, la station VOR/DME se situe à 7 Km de l'aéroport Fès-Saïs, plus précisément à côté de la route qui mène à Immouzzer.



Figure12: Station VOR/DME de l'aéroport Fès-Saïs

La tension électrique au niveau de la station est de 1000V. Cette tension, fournie par la centrale électrique de l'aéroport Fès-sais, est convertie à 380 V à l'aide d'un transformateur abaisseur.



Figure13: Transformateur abaisseur de la station VOR /DME

L'alimentation 220 V, entre phase et neutre, est gérée par l'armoire électrique qui distribue de l'électricité à tous les équipements de la station. Il y a aussi un groupe électrogène avec une puissance de 31.3 kVA, qui représente l'alimentation de secours et qui se démarre automatiquement après 15s de la coupure d'électricité.



Figure 14:Groupe électrogène de la station VOR /DME

La station VOR/DME contient les équipements VOR, DME et un système de connexion radio (Radio Link) connecté avec le VOR et DME et assurant la transmission des informations à la salle technique de la tour de contrôle.



Figure 15: Systèmes VOR et DME



Figure 16: Système Radio Link

On trouve aussi un ordinateur qui permet de gérer les équipements par des logiciels spécialisés (par exemple : le logiciel ADRACS qui permet de gérer l'équipement VOR).

- Chaque équipement est alimenté par son propre stabilisateur et par ses batteries de secours.



Figure 17 : Batteries de secours



Figure 18 : Stabilisateur

- Chaque équipement produit de la chaleur d'où la nécessité de la présence des climatiseurs (2 climatiseurs).

3) Principe du VOR :

Le VOR est le système de mesure d'azimut normalisé par l'OACI pour la navigation Aérienne.

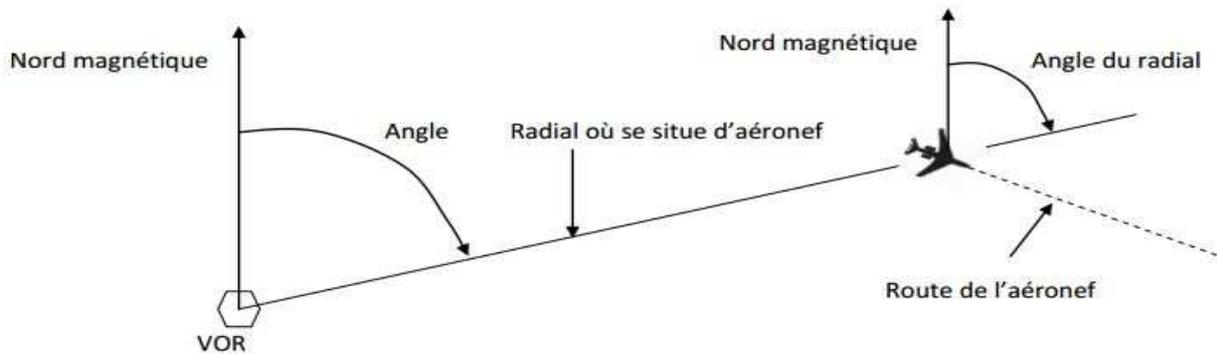


Figure19: Mesure de l'angle azimut

Chaque avion n'a pas un chemin direct, mais il a besoin de caler sur des VOR pour arriver à la destination désirable.

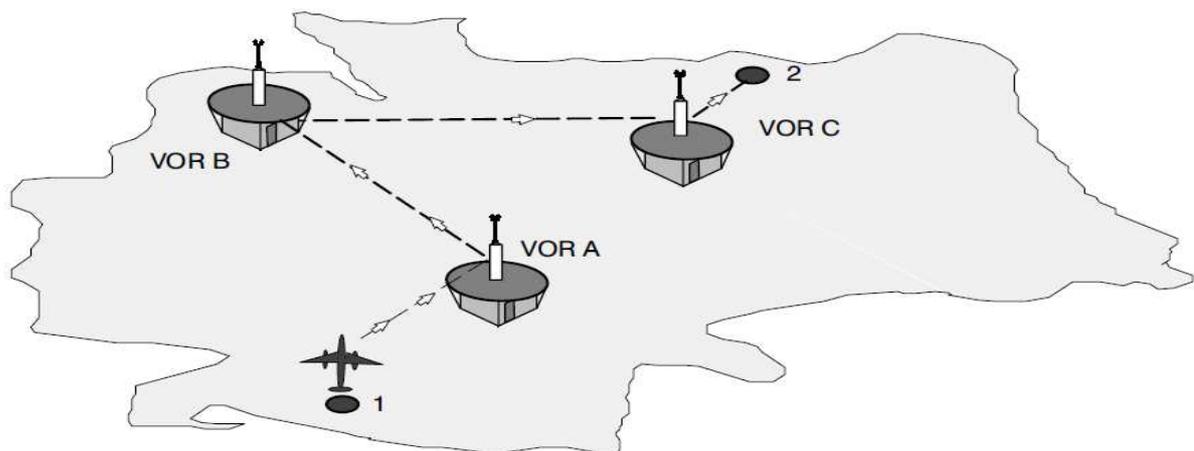


Figure 20: Principe de la navigation en route du VOR

Le principe selon lequel fonctionne le VOR repose sur la mesure de l'angle de phase de deux signaux à 30 Hz émis par la station :

- Un signal de 30 Hz (signal de référence) est émis avec la même phase dans toutes les directions.
- Un signal à 30 Hz (signal variable), la phase en rapport avec le premier signal varie en fonction de l'azimut.

L'angle de phase électrique mesuré par le récepteur embarqué correspond à l'angle d'azimut.

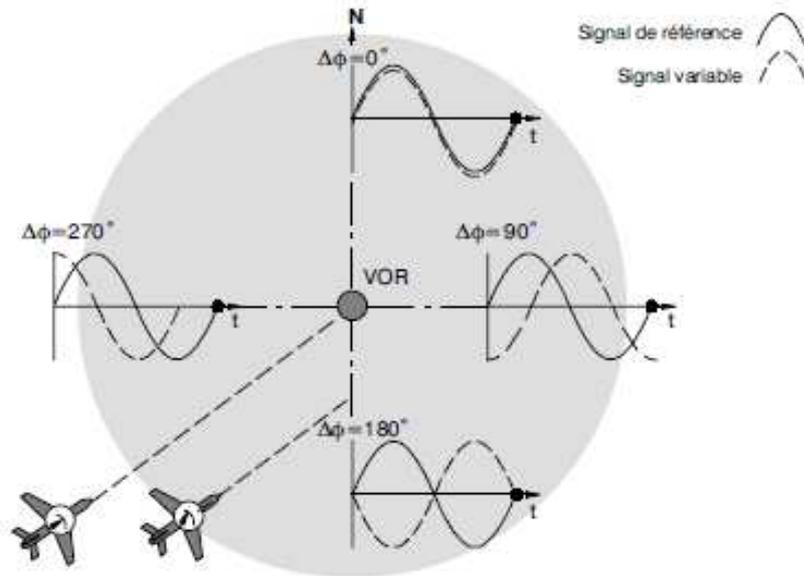


Figure 21: Angle de phase dans différentes directions.

4) Etude théorique du VOR (Voir Annexe).

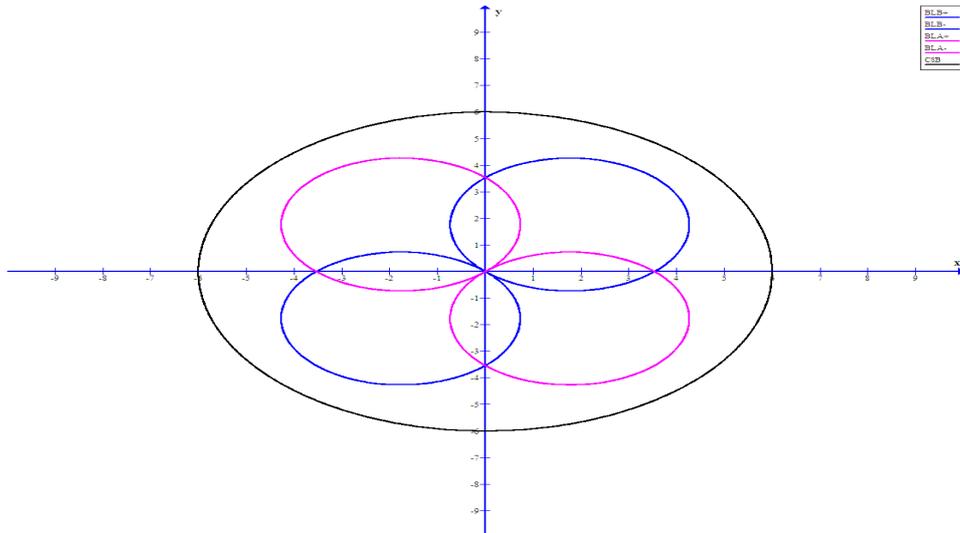
5) Fonctionnement :

a) Emission des signaux :

Un émetteur VOR transmet une information spécifique pour chaque degré d'azimut de son rayonnement.

Pour ce faire, il émet, simultanément, deux informations distinctes :

- Un premier signal de 30 Hz, omnidirectionnel, qui sert de référence.
- Un second signal de 30 Hz, dit variable, qui est émis par une antenne directionnelle, tournant en permanence sur elle-même
- Le signal variable est émis par une antenne composé de deux dipôles croisés, chaque dipôle rayonne un signal suivant un diagramme de rayonnement dit diagramme en huit (8).
- Un second signal de 30 Hz, fixe et stable, est émis avec la même puissance et la même phase dans toutes les directions par une autre antenne. Il sert de référence et permet de faire une comparaison de phase avec le signal variable.



_BLB- et BLB+

_BLA- et BLA+

_CSB

Figure 22: Diagramme de rayonnement des deux signaux

➤ **Signal à phase fixe-REF :**

Une sous-porteuse de 9960 Hz est modulée en fréquence par un signal de 30 Hz. l'indice de modulation fixé par l'OACI étant de 16, la déviation sera donc $16 \times 30 = 480$ Hz. Cette sous porteuse module à son tour en amplitude une porteuse VHF.

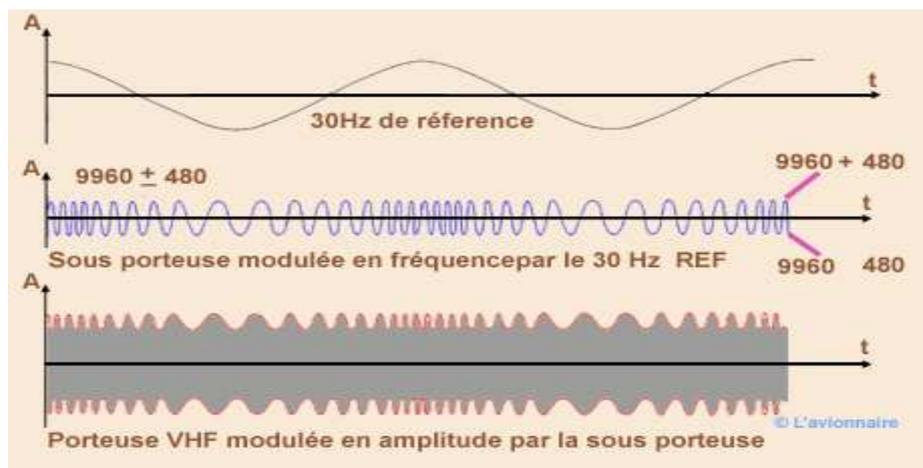


Figure 23: modulations de la sous-porteuse et de la porteuse

➤ Signal à phase variable-VAR :

Le 30 Hz variable, également appelé signal de position, module la porteuse en amplitude et le taux de modulation est de 30%. Avec les raies spectrales -30 à +30 de part et d'autre de la porteuse.

➤ Le spectre de lignes d'un VOR :

En résumé : la porteuse VHF est modulée en amplitude par une sous-porteuse, par l'indicatif de la station, par la phonie et par le signal variable.

Le spectre de lignes d'un VOR est illustré par la figure suivante. Il contient les fréquences suivantes :

- Modulation d'amplitude à 30 Hz
- Modulation d'amplitude à 9960 Hz avec modulation de fréquence à 30 Hz (excursion ± 480 Hz)
- Modulation d'amplitude pour le signal vocal et le signal d'identification
- Porteuse

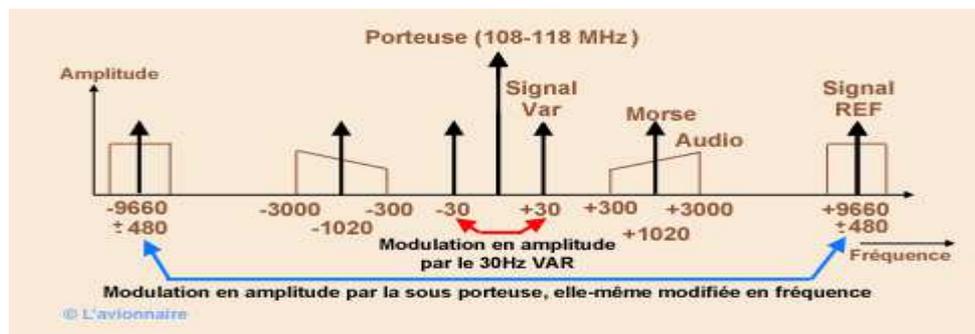


Figure 24: Spectre de fréquence du VOR

b) Réception des signaux :

L'équipement aéroporté reçoit les deux signaux, regarde (électroniquement) la différence entre les deux signaux et interprète le résultat comme position radiale de la station (angle que fait la droite avion-station avec le nord magnétique).

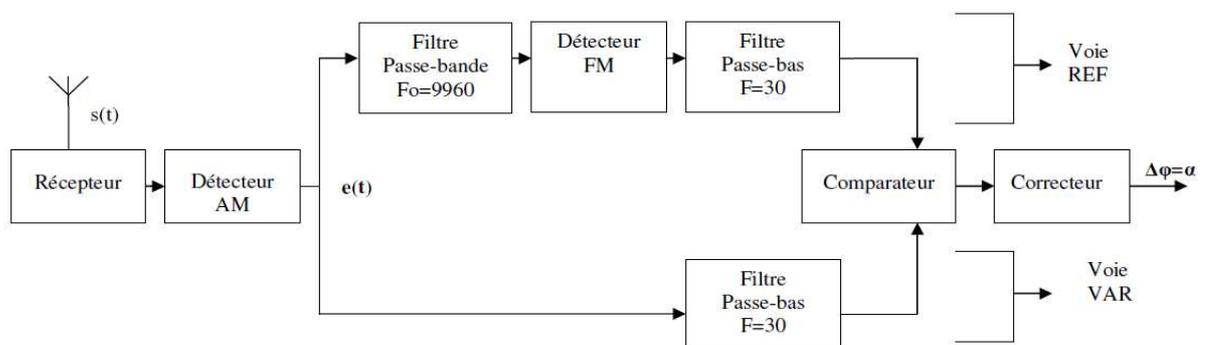


Figure 25: Synoptique d'un récepteur VOR

6) Descriptif des modules du VOR:



Figure 26 : Vue arrière du VOR



Figure 27 : Vue frontale du VOR



Figure 28: Emplacements de montage dans le bâti de l'émetteur VOR

CASIER	Modules employés	
Vue de gauche à droite	Bâti pré-assemblé	Affectat.
Porte frontale	LCP	
Face supérieure du Bâti.	Panneau connecteur	
_ Face arrière, gauche et sup du Bâti	_RFD1_VD, charge fictive, filtre RF	_ CSB
_ Face arrière, droite et sup du Bâti	_RFD2_VD, 2x charges fictives, 2x filtres RF	_SBA \SBB
Moniteur & Commande à gauche	_CSL _MSP_CD 1) _MSP_CD 1) _MDS_V8***	_MON 1 _MON 2 _MON 1\2
Moniteur & Commande en haut à droite	_ VAM*** _ Modem* _ Modem* _ Modem*	_ (100 W) _LGM1 _LGM2 _LGM3
Moniteur & Commande en bas à droite	DCC_3_05	LCP Mon 1 Mon 2
Emetteur 1	_MOD_110 _MOD_110 _SYN_V _MSG_S _MSG_C _CCP_V _MOD_110P\MOD_110** DCC_MV	_SBA _SBB _CSB _TX1
Bâti, face arrière.	CA_100**	TX1

Emetteur 2	_MOD_110 _MOD_110 _SYN_V _MSG_S _MSG_C _CCP_V _MOD_110P\MOD_110** _DCC_MV	_SBA _SBB _CSB _TX2
Power Management	PMM	
Bâti, face arrière	CA_100**	TX2
Convertisseur DC\DC	_DCC_28** _DCC_28**	_TX2 _TX1
Convertisseur AC\DC	_ACC _ACC* _ACC	
Bâti, face arrière, en bas	Batterie et connexion alimentation, filtre de secteur	

Tableau 2 : l'emplacement de chaque carte dans le bâti VOR.

a) Modules de l'émetteur :

L'élément émetteur du VOR avec sa fonction « Génération des signaux RF et amplification RF » est constitué des modules suivants (utilisé pour un émetteur) :

- Synthétiseur : SYN-V
- Modulateur pour la porteuse: MOD-110.
- Amplificateur de porteuse : CA-100C
- Modulateur pour bandes latérales (2x) : MOD-110
- Coupleur de commande : CCP-V
- Duplexeur RF : RFD1-VD, RFD2-V
- Filtre RF
- Générateur de signal de modulation. (signal) : MSG-S
- Générateur de signal de modulation (commande) : MSG-C

Le synthétiseur fournit les signaux d'entrée RF pour les modulateurs (CSB, SBA, SBB) et un signal de référence (REF) au coupleur de commande. Le modulateur (MOD-110) fournit la puissance requise pour la commande de l'antenne de bandes latérales de l'installation. Le modulateur MOD-110 et l'amplificateur de porteuse CA-100C sont alors utilisés dans la branche CSB. Le générateur de signaux de modulation commandé par microprocesseur génère et commande les signaux de l'élément émetteur.

Synthétiseur SYN-V : Le signal à fréquence de base RF f_0 nécessaire à l'alimentation des modulateurs 110 pour la porteuse (CSB) et les bandes latérales (SBA/SBB) est généré avec le SYN-V.

Modulateurs (MOD-110, MOD-110P) : Les modulateurs sont des amplificateurs RF modulables dans la gamme de fréquence comprise entre 108 et 118 MHz. Ils sont utilisés soit comme modulateur/émetteur de porteuse soit comme émetteur de bandes latérales.

Amplificateur de porteuse CA-100C : Le CA-100C est un amplificateur de puissance RF pour la gamme de fréquences comprise entre 108 et 118 MHz ayant une puissance de sortie de 100 watts.

Coupleur de commande CCP-V : Le CCP-V permet de conditionner les composants du signal RF avant qu'ils sont obtenus au moyen de coupleurs directifs bidirectionnels sur le MOD-110/110P. Il démodule l'amplitude de l'enveloppante et la phase RF avec CSB et les amplitudes de SBA/SBB.

Duplexeur RF RFD1-VD, RFD2-V : La répartition des signaux RF au niveau de l'antenne s'effectue directement par l'intermédiaire des duplexeurs RF discrets RFD1-VD (CSB) et RFD2-V (SBA/SBB).

Générateur de signaux de modulation : Le générateur de signaux de modulation est constitué par le MSG-C et le MSG-S.

- **Générateur du signal de modulation (commande) MSG-C :** Il génère et commande les signaux de l'émetteur. Il est conçu pour la commande et la régulation de tous les déroulements dans l'émetteur, la régulation des enveloppantes de modulation de bande latérale et des phases RF de bande latérale.
- **Générateur de signal de modulation. (Signal) MSG-S :** Il a pour tâche de produire des signaux de modulation pour le modulateur de porteuse et pour les émetteurs de bande latérale.

b) Modules du moniteur :

L'équipement moniteur muni de son propre processeur surveille le signal émis et reconnaît les erreurs qui pourraient s'avérer critiques pour la navigation aérienne. Les modules suivants appartiennent aux modules du moniteur :

- processeur de signaux du moniteur (MSP-CD*)
- logique de commande et de sélection (CSL)
- Commutateur répartiteur du moniteur (MDS-V8), en option, utilisé avec l'option 8 PGC

Processeur de signaux du moniteur (MSP-CD*) : Le MSP garantit que seuls des signaux de navigation corrects sont émis. Si le contrôle fait apparaître des signaux de navigation défectueux, le processeur de signaux du moniteur provoque la commutation sur l'émetteur de réserve en mettant simultanément hors circuit l'émetteur précédemment actif. Dans le cas où l'émetteur de réserve diffuse également des signaux de navigation défectueux, celui-ci est également mis hors circuit.

Logique de commande et de sélection (CSL) : La CSL est constituée par cinq unités fonctionnelles principales :

- Logique de mise en et hors circuit des émetteurs 1 et 2
- Commande du relais coaxial
- Surveillance de la batterie et protection contre la décharge totale, entrées de mesures complémentaires externes pouvant être occupées librement
- Interface DME pour la collocation avec DME
- Générateur de test

Commutateur répartiteur du moniteur (MDS-V8) : Le commutateur répartiteur du moniteur MDS-V8 est utilisé uniquement pour CVOR avec un dispositif optionnel de contrôle du sol à 8 points. Les signaux RF provenant des dipôles du moniteur 1- 8 sont transmis au MDS-V8. Commandé par le logiciel du moniteur sur le processeur MSP, MDS-V8 sélectionne ces signaux et les envoie aux processeurs MSP/1 et MSP/2.

c) Modules LRCI :

L'interface de communication locale et à distance (LRCI) est le point focal pour la communication entre les différents groupes fonctionnels, le panneau de commande locale (LCP) et la commande à distance, et est également utilisée pour différents services (entrée de signaux vocaux, données météo transmises par la tour de contrôle, etc.). L'unité LRCI se compose des modules suivants :

- Panneau de commande locale (LCP)

- Modem pour ligne spécialisée (LGM1200MD)
- Modem pour ligne commutée (LGM 28.8)
- Amplificateur vocal (VAM)

d) Modules de l'alimentation électrique

Pour l'alimentation électrique, l'appareil contient un module secteur avec chargeur de batterie (BCPS) qui est conçu de manière modulaire à partir de plusieurs convertisseurs AC/DC montés en parallèle. Les autres convertisseurs DC/DC génèrent les tensions de service requises.

e) Alimentation de secours

Afin d'assurer l'alimentation en tension continue, un jeu de batteries au plomb composé de quatre batteries monoblocs est commuté en parallèle au bloc d'alimentation BCPS. En cas de panne du secteur ou de coupure de la tension primaire pour l'entretien, elles prennent en charge l'alimentation de l'installation.

f) Antenne :

- Le signal Réf est rayonné à travers une antenne Réf SUP et INF, pour améliorer la directivité du signal Réf.
- les deux bandes latérales du signal VAR alimentent deux doublets perpendiculairement croisés.

g) Dipôles de moniteur :

7 dipôles montés sur le bord du contrepois disposés des distances de 45°, Ces dipôles permettent le contrôle sol du signal VOR.

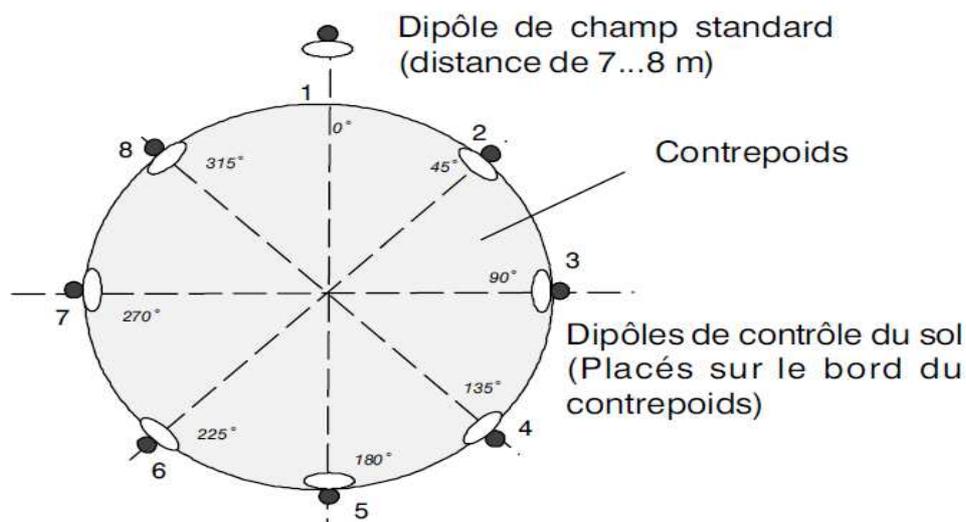


Figure 29: Disposition de contrôle du sol à huit points.

Les deux figures ci-dessous montrent, respectivement, une vue d'ensemble des modules et des flux des signaux de l'installation CVOR et le schéma de base d'une installation VOR.

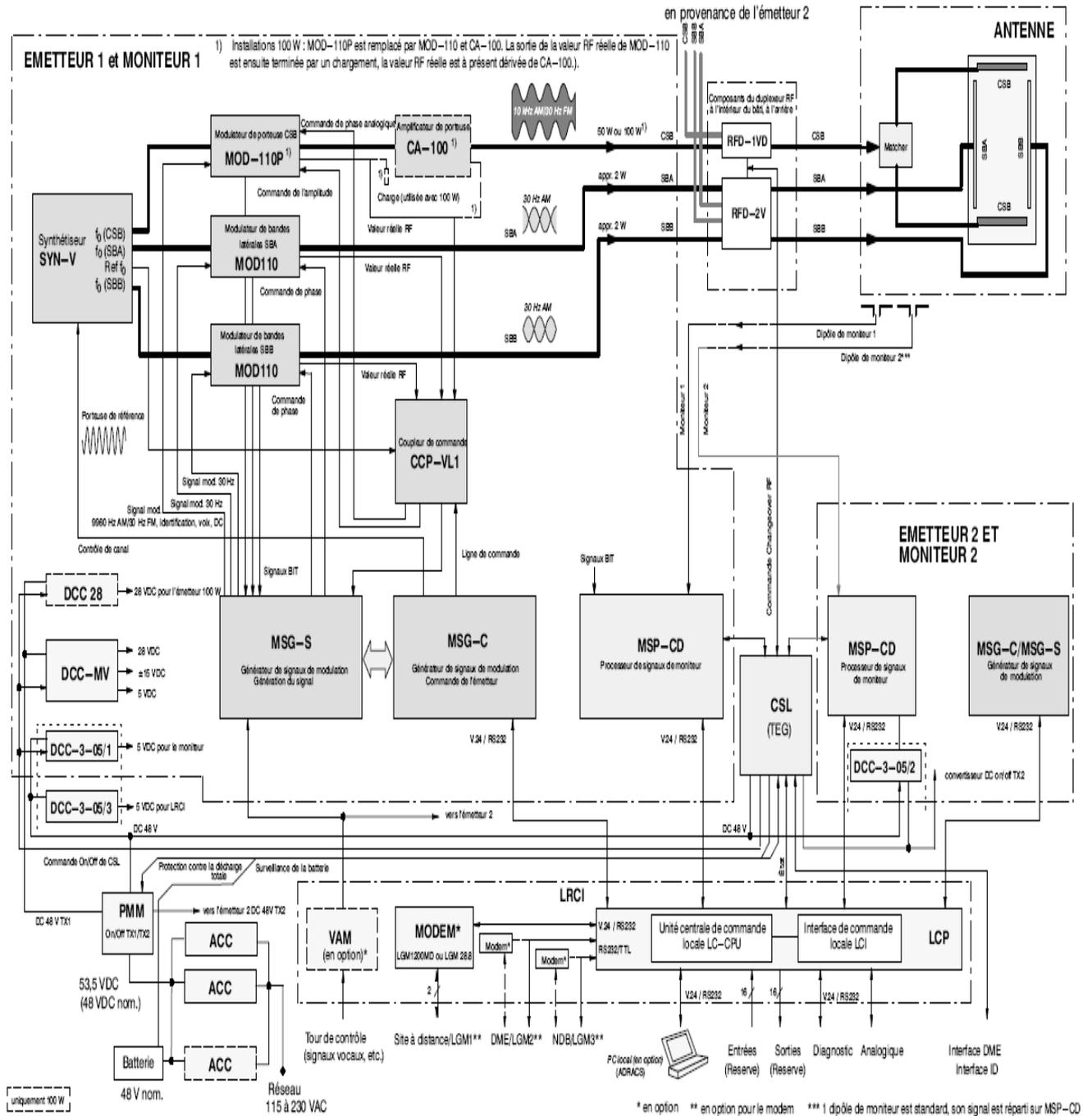


Figure 30: Vue d'ensemble des modules et des flux des signaux de l'installation CVOR

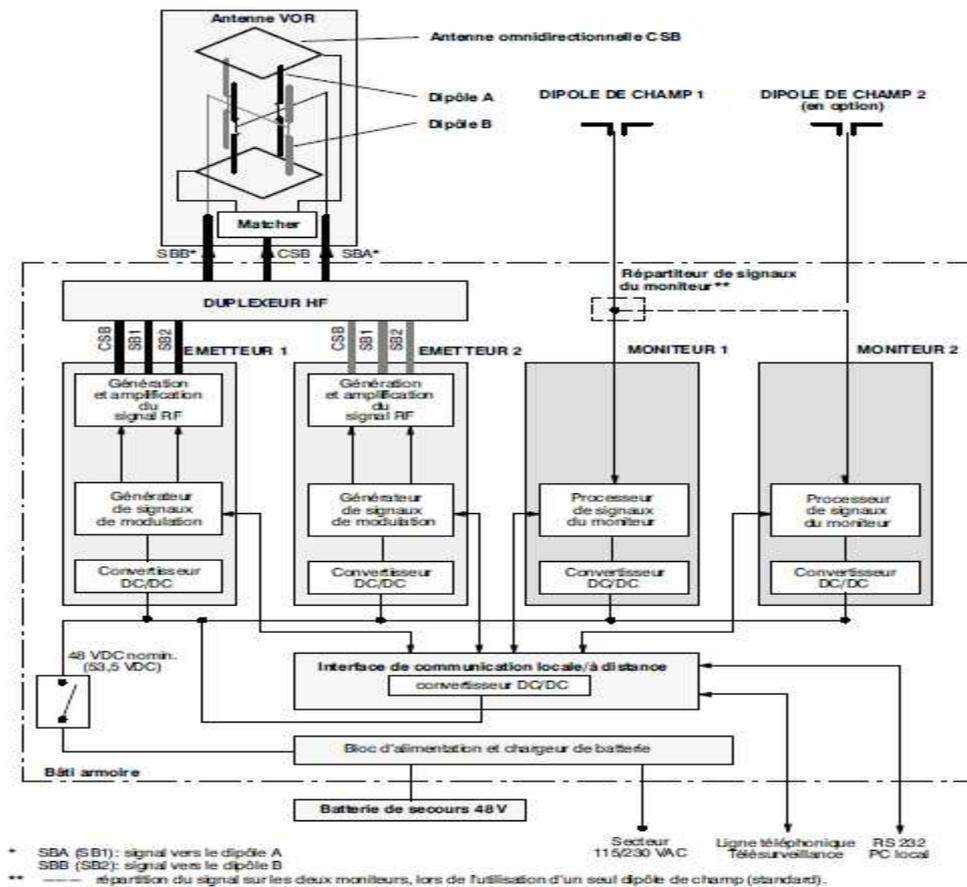


Figure 31: Schéma de base d'une installation VOR

h) Description résumée du Schéma fonctionnel :

L'émetteur et le moniteur sont en double exemplaire, chacun des moniteurs surveille les deux émetteurs. Les modules situés dans la voie de signal de l'émetteur ne sont pas doublés.

Certains éléments, en majeure partie des composants passifs à haute fiabilité tels le duplexeur RF, les antennes et les câbles, par ex., ne peuvent pas être doublés.

Chaque émetteur se compose d'un étage RF dans lequel la fréquence de la porteuse est générée, modulée et amplifiée en puissance et du générateur de signaux de modulation commandé par microprocesseur et qui génère les signaux de modulation, prend en charge l'exploitation pour la régulation de la forme du signal (amplitude/phase) et fournit les signaux de commande à l'étage RF. Chaque émetteur possède sa propre alimentation électrique.

Lorsqu'un émetteur tombe en panne, le second reste opérationnel. Le duplexeur RF transmet le signal d'un émetteur aux antennes pendant que la puissance de sortie de l'émetteur de réserve est commutée sur une charge fictive. L'amplitude et la phase sont réglées de sorte que le signal prescrit soit émis dans le champ hertzien. Les deux moniteurs surveillent le signal VOR généré et émis directement par un (ou deux) dipôle(s) de champ. En option, un

dispositif de contrôle du sol à huit points et avec sept dipôles de moniteur additionnels montés sur le bord du contrepoids peut être utilisé.

Le moniteur se compose du processeur de signaux du moniteur qui garantit l'émission correcte du signal. Il analyse les signaux des capteurs internes et des dipôles de champ. Les signaux RF sélectionnés sont amplifiés à un niveau fixe, démodulés, filtrés puis convertis en valeurs unitaires numériques. Le processeur de signaux du moniteur exploite les valeurs mesurées et les compare aux valeurs de consigne. Lorsque les valeurs limites sont dépassées, le moniteur intervertit les émetteurs ou les met hors circuit. Les résultats peuvent être analysés, localement ou à distance, au moyen d'un PC connecté équipé de logiciels adéquats (ADRACS, par ex.). Un affichage simple du statut apparaît dans le champ d'affichage local. Les moniteurs échangent des signaux d'état. En cas de panne de l'un des moniteurs, le moniteur intact prend immédiatement les décisions, sans attendre une réaction de l'autre. Cela permet de garantir une réaction rapide et correcte des moniteurs dans toutes les circonstances, même en cas de panne de l'un d'entre eux. L'émetteur et le moniteur sont indépendants l'un de l'autre. Ils sont disponibles en simple ou en double exemplaire suivant le niveau de sécurité exigé.

La LRCI met à disposition les interfaces requises :

- Communication des différents groupes fonctionnels
- Commande de l'appareil
- Possibilité d'affichage et de commande locale
- Fonctions télécommandables

Un terminal intelligent (PC/portable) permet de régler toutes les données importantes localement ou à distance. Il permet également d'effectuer une commutation ou une mise hors circuit. Pour des motifs liés à l'intégrité, la saisie de données n'est possible que dans le mode maintenance (dérivation des moniteurs). L'accès au système est verrouillé par une procédure de mot de passe disposant de différents niveaux de sécurité. Le logiciel employé est le logiciel ADRACS.

Le bloc d'alimentation et chargeur de batterie (BCPS) fournissent une tension d'alimentation continue (54 V). Le BCPS peut être branché sur une tension d'entrée réseau nominale 220 V. Une batterie de secours branchée en parallèle assure une alimentation en courant sans interruption. Elle est alimentée avec la tension de charge requise par le bloc d'alimentation.

II. Etude de la maintenance :

1) Introduction :

La maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé.

La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objet manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels).

Le diagramme suivant synthétise les méthodes de maintenance :

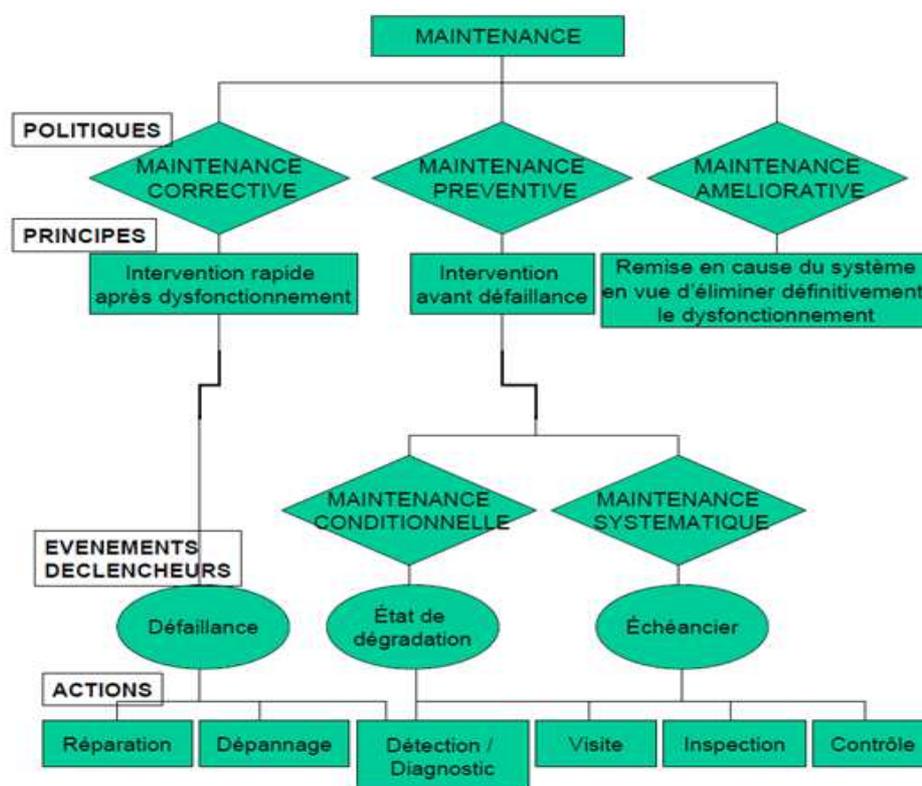


Figure 32 : Méthode de maintenance.

2) La maintenance préventive :

C'est l'ensemble des activités réalisées selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

➤ **But de la maintenance préventive :**

- Augmenter la durée de vie des matériels
- Diminuer la probabilité des défaillances en service
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective

- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, de pièces détachées, etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production
- Diminuer le budget de maintenance
- Supprimer les causes d'accidents graves

La maintenance préventive peut être soit conditionnelle soit systématique.

a) La maintenance conditionnelle :

La maintenance conditionnelle se traduit par une surveillance des points sensibles de l'équipement, exercée au cours de visites préventives.

Ces visites soigneusement préparées, permettent d'enregistrer un degré d'usure, un jeu mécanique, une température, une pollution, ou tout autre paramètre qui puisse mettre en évidence l'imminence d'une défaillance.

➤ **Objectifs de la maintenance conditionnelle :**

- Eliminer ou limiter le risque de panne, l'intervention ayant lieu avant que la dégradation n'atteigne un caractère critique.
- Limiter les perturbations subies par l'utilisateur, en réalisant une meilleure préparation des interventions.
- Réduire les dépenses de maintenance en intervenant à un stade précoce des dégradations ; évitant ainsi les remises en état très coûteuses.

b) La maintenance systématique :

La maintenance systématique se traduit par l'exécution sur un équipement, à dates planifiées, d'interventions dont l'importance peut s'échelonner depuis le simple remplacement de quelques pièces jusqu'à la révision générale.

Les travaux ont un caractère systématique, ce qui suppose une parfaite connaissance du comportement de l'équipement, de ses modes et de sa vitesse de dégradation.

La maintenance systématique se pratique quand on souhaite procurer à un équipement une sécurité de fonctionnement quasi absolue en remplaçant suffisamment tôt les pièces ou organes victimes d'usure ou de dégradation.

➤ **Les opérations de maintenance préventive :**

Les inspections : activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de l'outil

de production ou des équipements.

Les visites : opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies préalablement qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective.

Les contrôles : vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement.

- ⇒ Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

3) La maintenance corrective :

C'est l'ensemble des activités réalisées après défaillance d'un bien ou dégradation de sa fonction, afin de lui permettre d'accomplir, au moins provisoirement, une fonction requise. Ces activités comprennent la détection de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, et le contrôle du bon fonctionnement.

➤ **Les opérations de maintenance corrective :**

Le dépannage : Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement.

Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires (maintenance palliative) avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

La réparation : Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance.

L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

4) La maintenance améliorative :

L'amélioration des biens d'équipements consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel. Dans ce domaine, beaucoup de choses restent à faire. Il suffit de se référer à l'adage suivant : « on peut toujours améliorer ».

C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cependant, pour toute

maintenance d'amélioration une étude économique sérieuse s'impose pour s'assurer de la rentabilité du projet.

III Procédure de maintenance du VOR:

Une procédure de maintenance est un ensemble d'instructions qui nous permet de connaître l'endroit et les causes d'une panne et les actions qu'il faut faire pour la corriger.

1) Procédure de calcul d'erreurs

Une procédure de maintenance suivie pour l'équipement CVOR 431, consiste en le calcul d'un ensemble d'erreurs qui nous permettent de connaître les causes des pannes et les actions qu'il faut faire pour les corrections.

On peut distinguer 5 termes d'erreurs calculés en fonction des erreurs ε_r mesurés aux différents angles azimut r:

_ Erreur quadrantale cardinal Q_c : analyse de l'asymétrie entre les niveaux des bandes latérales BLA et BLB. On calcule Q_c en utilisant la formule suivante :

$$Q_c = \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{90} + \varepsilon_{180} - \varepsilon_{270})}{4} \quad (1)$$

_ Erreur quadrantale semi-cardinal Q_s : analyse de la quadrature du diagramme de bande latérale sinus et de la bande latérale cosinus. On calcule Q_s en utilisant la formule suivante :

$$Q_s = \frac{(\varepsilon_{45} - \varepsilon_{315} + \varepsilon_{225} - \varepsilon_{135})}{4} \quad (2)$$

_ Erreur duantale (cosinus) D_c : analyse l'alignement du digramme cosinus. On calcule D_c en utilisant la formule suivante :

$$D_c = \frac{\varepsilon_{45} - \varepsilon_{225}}{2} \quad (3)$$

_ Erreur duantale (sinus) D_s : analyse le décalage du diagramme sinus. On calcule D_s en utilisant la formule suivante :

$$D_s = \frac{\varepsilon_{135} - \varepsilon_{315}}{2} \quad (4)$$

_ Erreur moyenne A_v : indique le décalage de la courbe. On calcule A_v en utilisant la formule suivante :

$$A_v = \frac{\text{la somme des erreurs}}{\text{le nombre d'erreurs}} \quad (5)$$

On peut calculer ces termes d'erreur à partir des valeurs indiqués dans le relevé de la courbe d'erreur du VOR.

Le tableau suivant représente quelques cas de figure en donnant leurs causes et en indiquant les actions à mener pour remédier à l'anomalie.

Terme d'erreur	Alarme	Cause	Actions
Q _s Quadrantale semi-cardinal (Sinus)	Q _s > 1	Quadrature erronée du diagramme de l'antenne. Quadrature erronée entre sinus LF et le signal cosinus.	Vérifier le système de l'antenne.
Q _c Quadrantal cardinal (cosinus)	Q _c > 1	différence de niveau RF entre le sinus de la bande latérale et le cosinus (BLA et BLB) si Q _c > 0 alors BLsin > BLCOS si Q _c < 0 alors BLsin < BL cos	vérifier VSWR de la bande latérales ajuster la phase RF entre BLA et BLB. ajuster le niveau de la bande latérale pour obtenir le même niveau.
D _s sinus duantal	D _s > 1	le point zéro du diagramme de l'antenne à bande latérale sinus ne se trouve pas sur la même ligne. si D _s > 0 alors le lobe de rayonnement à 45° est plus petit que le lobe de rayonnement à 225°. si D _s < 0 alors le lobe de rayonnement à 45° est plus grand que lobe de rayonnement à 225°.	Vérifier l'antenne.
D _c cosinus duantale	D _c > 1	le point zéro de la bande latérale sinus ne se trouve pas sur la même ligne. si D _c > 0 alors le lobe de rayonnement à 315° est plus petit que le lobe de rayonnement à 135°. Si D _c < 0 alors le lobe de rayonnement à 315° est plus grand que le lobe de rayonnement à 135°.	Vérifier l'antenne.
Av erreur moyenne	Av > 1	Alignement incorrect de la phase entre la variable de 30 Hz et la référence. dipôle croisé dévié. Ajustement incorrect des sondes.	Ajuster la phase ou _ tourner la tige du dipôle avec l'angle approprié. Ajuster la position de la sonde au bon endroit.

Tableau 3: Procédure de calcul d'erreurs

2) Procédure de contrôle en vol

Un avion laboratoire effectue une orbite de rayon 4.5 NM centrée sur le VOR. Il mesure en permanence l'azimut VOR, les TDM et calcule les moyennes sur toute l'orbite ainsi que les erreurs VOR. Il vérifie aussi la couverture VOR et calcule la valeur du cône de silence

La procédure peut conduire à :

- La demande d'un réglage des taux de modulation ou une correction d'une erreur constante.
- La demande d'un réglage de puissance.
- La demande d'effectuer les alarmes d'azimut (effectue une alarme azimut à l'aide du logiciel ADRACS, et voir si l'avion laboratoire indique aussi cet alarme ou non), et peut demander de modifier les alarmes pré-réglées.

Cette procédure concerne les deux émetteurs TX.

A la fin, les ESA (électroniciens de la sécurité aérienne) font la calibration et l'étalonnage des 2 moniteurs sur les valeurs indiquées par l'avion.

IV Etude de cas

1) Introduction :

Etant affectés à la division Technique de Navigation, nous avons eu l'occasion d'accompagner les électroniciens de la sécurité aérienne (ESA) dans leur tâches quotidiennes ce qui nous a aidé d'appréhender facilement leur travail.

Parmi les tâches effectuées par les ESA, il y a la maintenance de l'équipement VOR qui se divise en deux types :

2) Maintenance préventive :

Elle se base sur une série de relevés de mesures hebdomadaires, mensuels, trimestriels, semestriel et annuels suivant un planning préétabli (voir la figure ci-dessous).

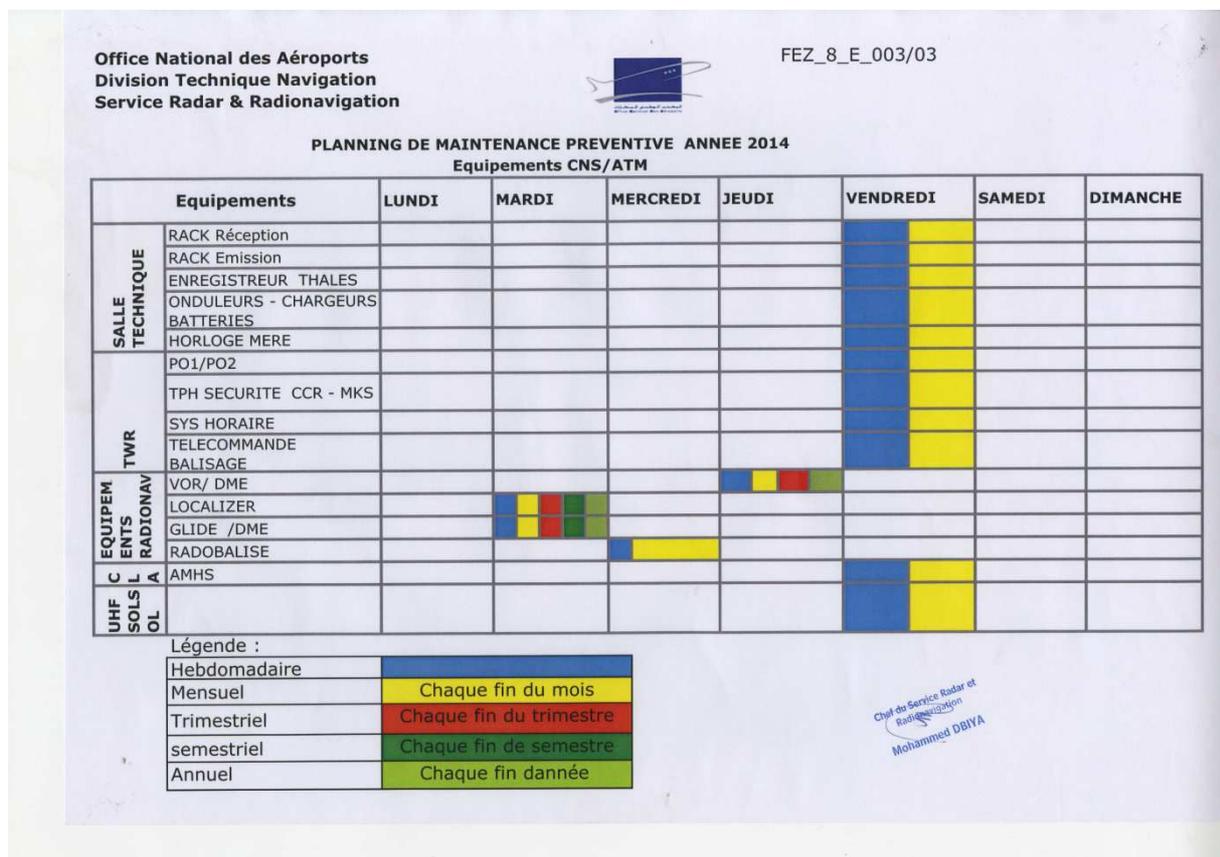


Figure 33 : Planning de maintenance préventive de l'aéroport Fès-Sais.

- Contrôle quotidien : c'est un contrôle visuel d'état de l'équipement.
- Contrôle hebdomadaire : ce contrôle se fait à l'aide du logiciel « ADRACS ». Ce dernier nous permet de connaître l'état de l'équipement : Niveau HF, azimuth, taux de modulation 30 VAR, taux de modulation de 9960 Hz, indice de modulation FM, taux de modulation 1020 Hz. (Voir figure 35)

La figure suivante représente une vue des paramètres à l'aide du logiciel « ADRACS »

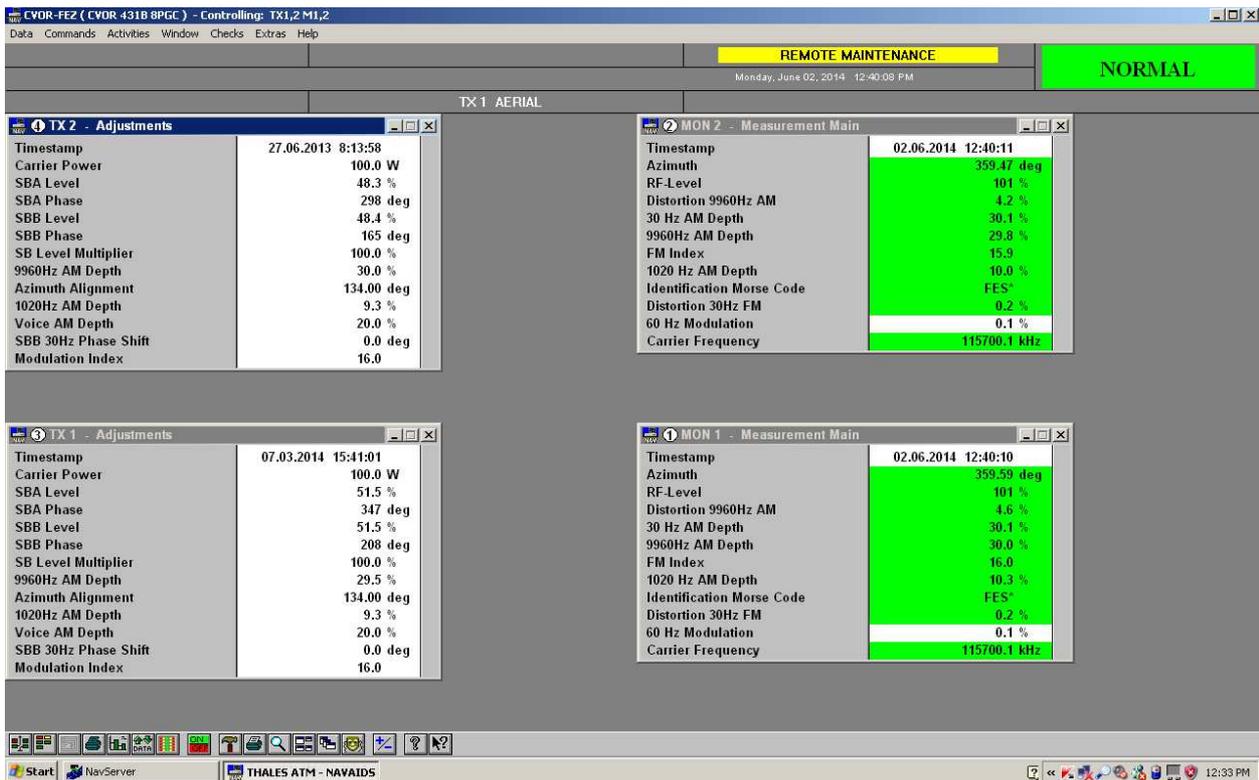


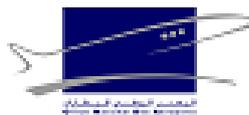
Figure 34 : Vue des paramètres à l'aide du logiciel « ADRACS »

Au cours de ce contrôle, il y a aussi le basculement des émetteurs.

OFFICE NATIONAL DES
AÉROPORTS

SERVICE TECHNIQUE

réf d'envoi :



Aéroport : FES SAISS

FEZ_8_E_006/01

Date :

RELEVÉ HEBDOMADAIRE V O R AN431

Type d'équipement	VOR AN431
Fréquence / Indicatif	115.7 Mhz / FES
Ensemble en service	
Etat de l'équipement	

Paramètres	Moniteur 1	Moniteur 2	Tolérances
Niveau HF			>80%
Azimut			Référence Azimut $\pm 1^\circ$
TDM 30 VAR			28 % à 32 %
TDM 9960 Hz			28 % à 32 %
Indice de modulation FM			16 \pm 1
TDM 1020			8% à 12%

Commentaire :

Electronicien de la
Sécurité Aérienne :

Responsable technique :

Service Radionavigation :

Figure 35 : Fiche du relevé Hebdomadaire.

➤ Contrôle mensuel (voir figure 37 et figure 38) : en plus du contrôle hebdomadaire on procède, dans le contrôle mensuel, au calcul de la courbe d'erreurs à l'aide du logiciel « ADRACS ». C'est à partir de cette courbe qu'on effectue la procédure du calcul des termes d'erreurs (voir procédure de calcul d'erreurs).

La figure suivante montre la courbe d'erreurs calculées par le logiciel ADRACS.

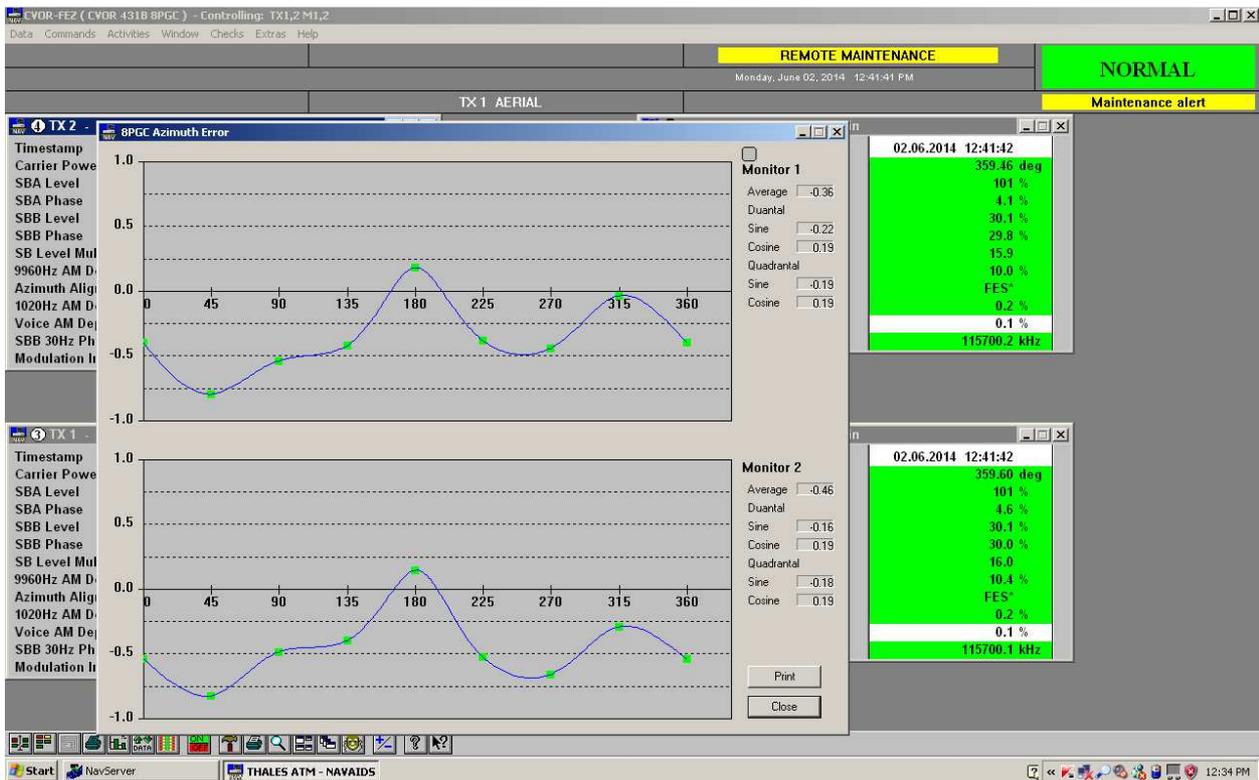
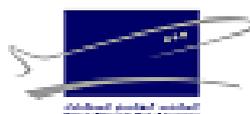


Figure 36 : Vue de la courbe d'erreurs calculées par le logiciel « ADRACS »

OFFICE NATIONAL DES
AEROPORTS

SERVICE TECHNIQUE

réf d'envol :



Aéroport : FES
SAISS

FEZ_8_E_007/01

Date : 27/05/14

RELEVÉ MENSUEL C VOR AN 431

Type d'équipement	VORAN 431
Fréquence/indicatif	115.7 MHz / FES
Ensemble en service	1
Etat de l'équipement	-

Paramètres émetteurs	Emetteur I	Emetteur II	Valeurs nominales
Puissance porteuse	100w	100w	100 W
Puissance BL 1	51.5%	48.3%	50%
Puissance BL 2	51.5%	48.4%	50%
TDM 9960 HZ	29.5%	30%	30%
TDM 1020 HZ	9.3%	9.3%	10%

Paramètres	Emetteur I		Emetteur II		Tolérances
	Moniteur 1	Moniteur 2	Moniteur 1	Moniteur 2	
Niveau HF	102	102	99	99	>80%
Phase VOR	358.91	358.85	359.45	359.32	+/- 1°
TDM 9960HZ	30.1	29.8	30.3	30.1	30%+/- 2%
TDM 30HZ	30	30.2	29.2	29.3	30%+/- 2%
Indice MOD	16	16	16	16	16%+/- 1%

Alimentations		Ensemble I	Ensemble II
Tension AC/DC		53.81	53.81
Tension DC/DC MV	+5V	5.24	5.24
	+15V	14.9	14.87
	-15V	-14.97	-15.02
	+28V	27.40	27.30
Tension DC/DC (03- 5V)		5.06	5.07

Commentaire:

Figure 37 : Fiche 1\2 du relevé mensuel.

Relevé mensuel de la courbe d'erreur 8PGC

AZIMUTH (degrés)			0	45,0	90,0	135,0	180,0	225,0	270,0	315,0
Emetteur I	VALEUR LUE	M1	1,7	47	91,4	136,8	181,7	227,1	271,8	316,6
		M2	359,2	44	89,6	134,5	180,3	224,6	269,5	314,7
	ERREUR	M1	1,7	2	1,4	1,8	1,7	2,1	1,8	1,6
		M2	-0,77	-1,01	-0,48	-0,51	0,32	-0,40	-0,52	-0,32
Emetteur II	VALEUR LUE	M1	359,4	44,1	89,4	134,6	180,6	224,8	269,5	314,8
		M2	359,3	44	89,3	134,5	180,6	224,7	269,4	314,7
	ERREUR	M1	-0,57	-0,92	-0,55	-0,39	0,66	-0,23	-0,53	-0,19
		M2	-0,68	-1,05	-0,70	-0,51	0,55	-0,32	-0,63	-0,29

		Erreur moyenne	Erreur quadratique cos	Erreur quadratique sin	Erreur quadratique cos	Erreur quadratique sin
Emetteur I	M1	1,81	0,05	0,225	0,05	0,1
	M2	-0,46	0,16	-0,16	0,16	-0,31
Emetteur II	M1	-0,35	0,29	-0,14	0,30	-0,34
	M2	-0,47	0,30	-0,15	0,30	-0,37

Verification des équipements annexes et environnement de la station

Test d'autonomie des batteries	Ok
Etat des climatiseurs	Ok
Etat des antennes	-
Feux d'obstacles	Ok
Etat du contre poids et dipôles 8PGC	Ok
Etat d'environnement	Ok



<u>Electroniciens locaux:</u> EL A SRAOULN	<u>Responsable technique:</u>	<u>Service Radionavigation:</u>
--	-------------------------------	---------------------------------

Figure 38: Fiche 2\2 du relevé mensuel.

- Contrôle semestriel : ce contrôle se fait chaque 6 mois, durant ce dernier on effectue la procédure du contrôle en vol.

3) Maintenance corrective :

Consiste à intervenir sur un équipement en cas de panne.

Durant la période de notre stage, on a eu l'occasion d'assister au contrôle mensuel effectué le 27/05/2014, Les résultats de ce contrôle ont indiqué un cas de panne, ce qui a nécessité une maintenance corrective.

Les ESA nous ont fait confiance, et nous ont donné l'opportunité d'étudier cette panne et de trouver une solution.

➤ Etude de panne :

Le tableau suivant donne les mesures effectuées pour le tracé de la courbe d'erreur du VOR 431 :

Azimut de mesure	Erreur mesurée
0	1,7
22,5	1,4
45	2
67,5	2,4
90	1,4
112,5	2,4
135	1,8
157,5	1,1
180	1,7
202,5	2,3
225	2,1
247,5	2,5
270	1,8
292,5	2,3
315	1,6
337,5	0,7
360	1,7

Tableau 4 : Les erreurs mesurées à l'azimut.

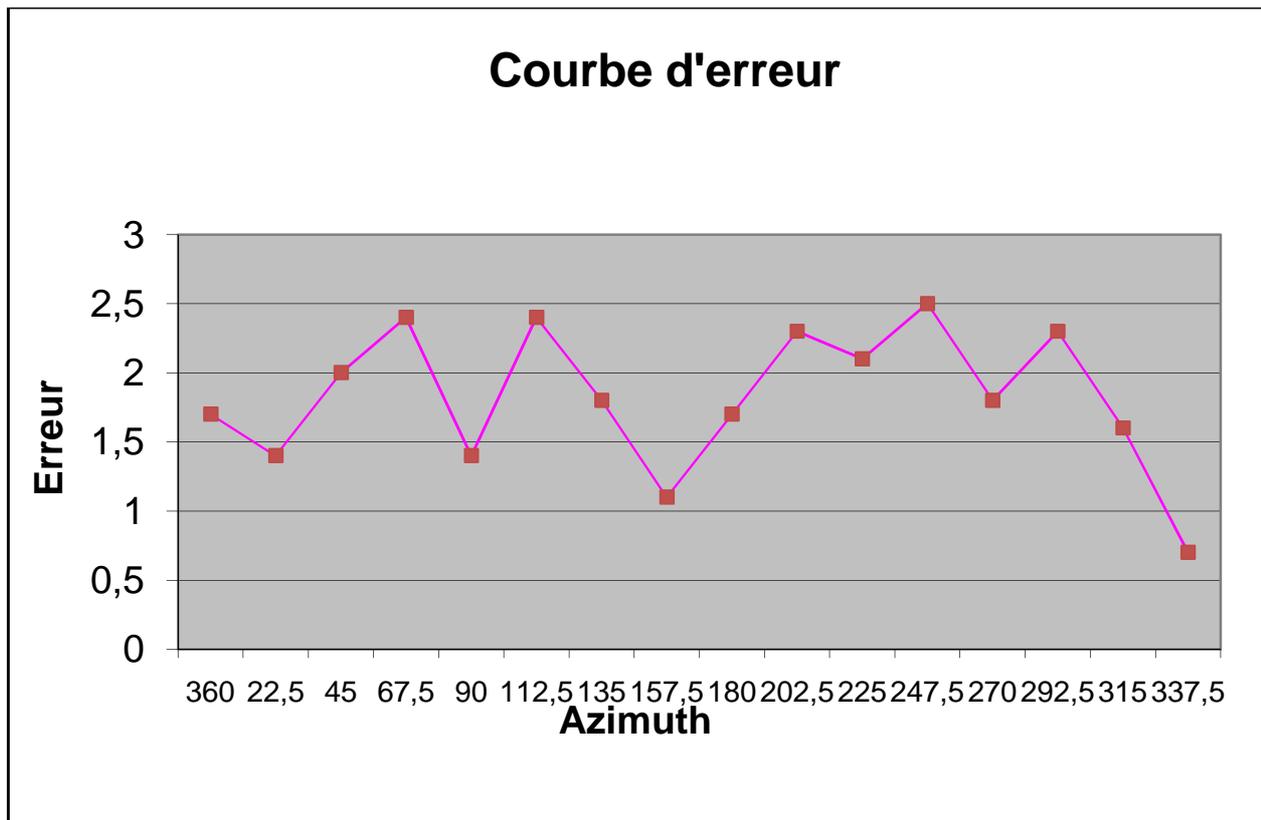


Figure 39 : La courbe d'erreurs

On a commencé par calculer les différents termes d'erreurs en utilisant les formules présentées ci-dessus (Voir procédure de calcul d'erreurs). On a trouvé les résultats:

- Erreur duantal cos : $D_c=0,05 < 1$
- Erreur duantal sin : $D_s=0,1 < 1$
- Erreur quadrantale cardinale (cosinus) : $Q_c=0,05 < 1$
- Erreur quadrantale semi-cardinale (sinus) = $Q_s=0,225 < 1$
- Erreur moyenne : $A_v=1,81 > 1$

On remarque que l'erreur moyenne est supérieure à 1, donc il y a une alarme.

Les causes possibles de cette erreur sont déduites du (tableau 3). On a trouvé les causes possibles suivantes :

- 1) Aligement incorrect de la phase entre la variable de 30Hz et la référence.
- 2) Ajustement incorrect des sondes.
- 3) Le dipôle croisé de l'antenne directionnelle est dévié d'un certain degré x (n'est pas dans sa position normale).

Pour déterminer la cause possible de cette erreur, on a effectué les étapes suivantes :

1ère étape :

On met l'antenne cosinus sur charge et on mesure la phase VOR à l'azimut, on trouve :

$$\text{VOR}=46,8.$$

Dans les conditions normales, il faut qu'on trouve $\text{VOR}=45^\circ$. Donc il y a une déviation de l'antenne (sinus) de $1,8^\circ$.

⇒ Le dipôle B (dipôle sin) est dévié de $1,8^\circ$.

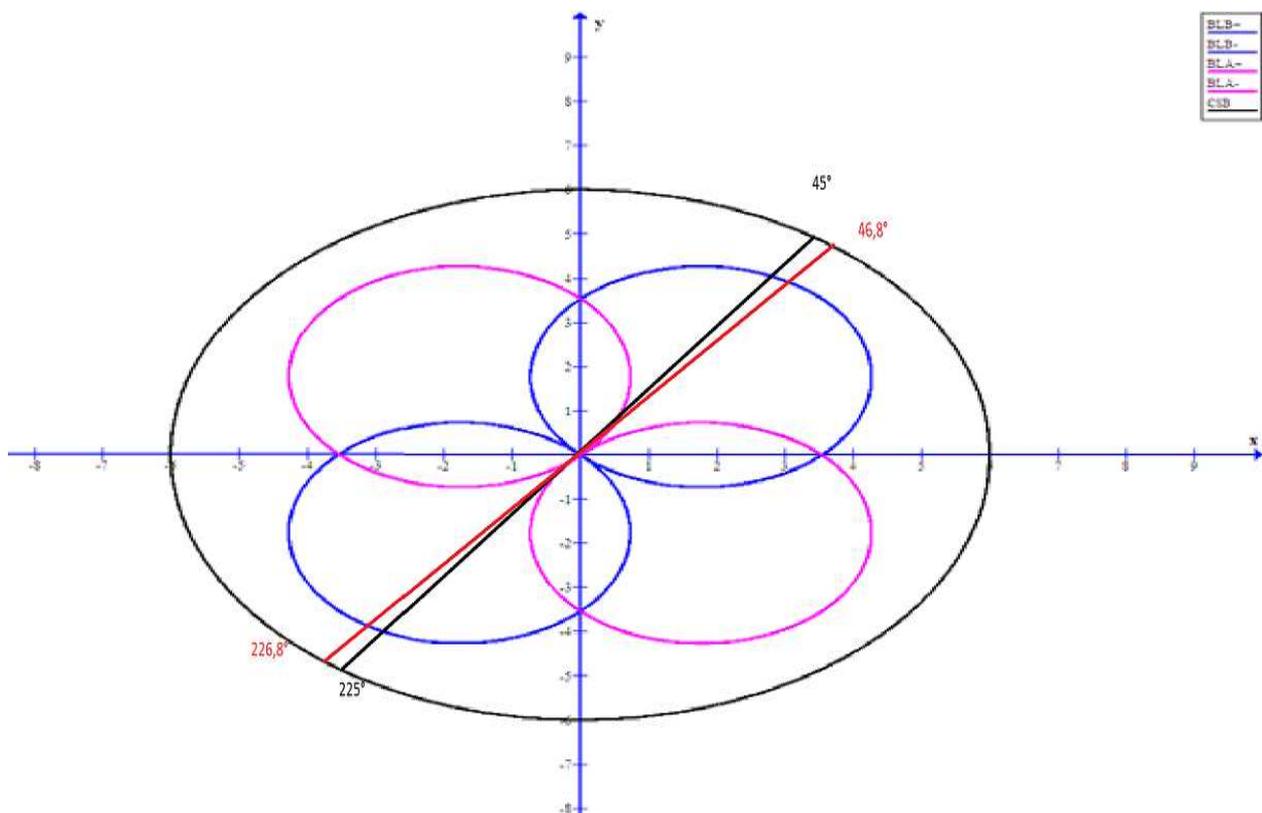


Figure 40 : La déviation du dipôle sinus.

_ Condition normale.

_ Condition de déviation.

2ème étape :

On met l'antenne sinus sur charge et on mesure la phase VOR à l'azimut, on trouve :

$$\text{VOR}=316,8^\circ.$$

_ Dans les conditions normale, il faut qu'on trouve : $\text{VOR}=315^\circ$.

⇒ Donc il y a déviation de l'antenne (cosinus) de $1,8^\circ$.

⇒ Le dipôle A (dipôle cos) est dévié de $1,8^\circ$.

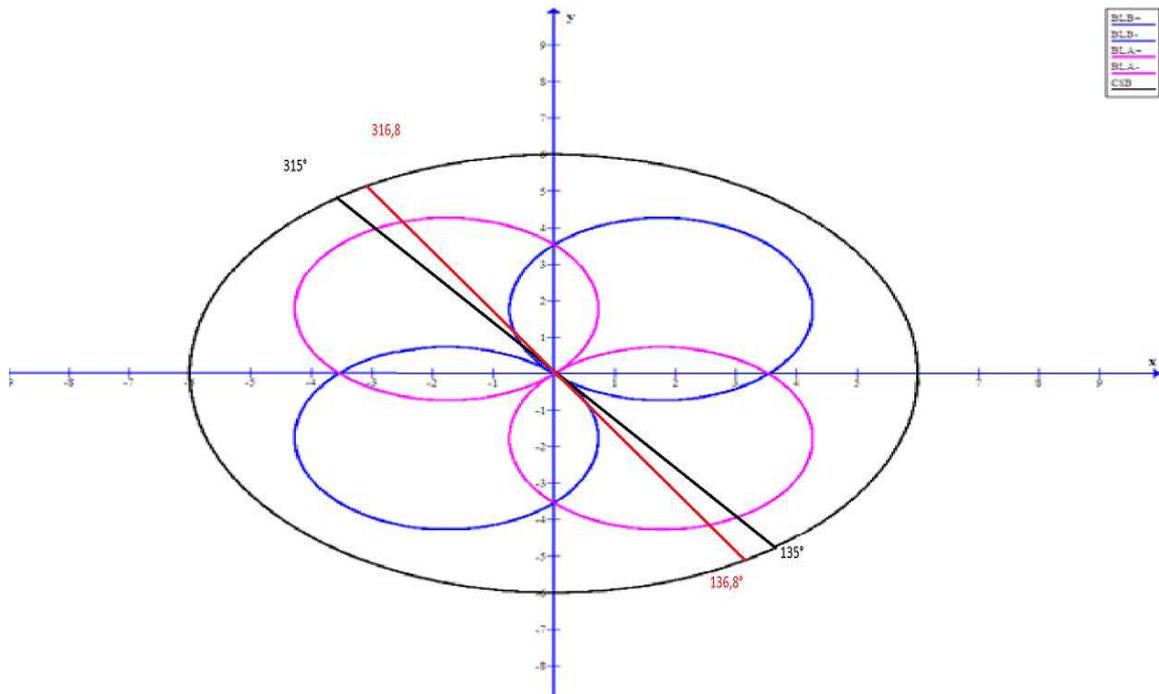


Figure 41 : La déviation du dipôle cosinus.

_ Condition normale.

_ **Condition de déviation.**

⇒ D'après ces 2 étapes, on peut bien remarquer qu'il y a une déviation de $1,8^\circ$ pour les dipôles A et B.

⇒ Ce qui nous permet de conclure que les 2 dipôles croisé sont déviés de $1,8^\circ$.

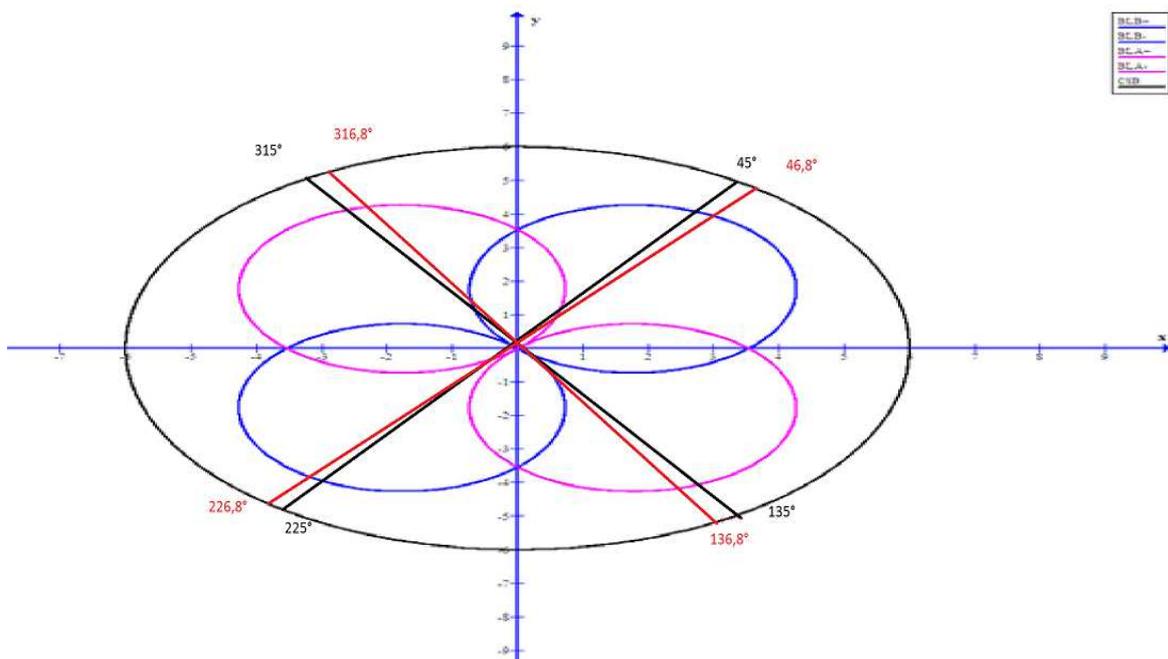


Figure 42 : La déviation des deux dipôles croisé.

_ Condition normale.

_ Condition de déviation.

Pour corriger cette erreur on doit corriger l'orientation de l'antenne. Une tige graduée en degré est destinée à cet effet et sert à orienter les 2 dipôles.

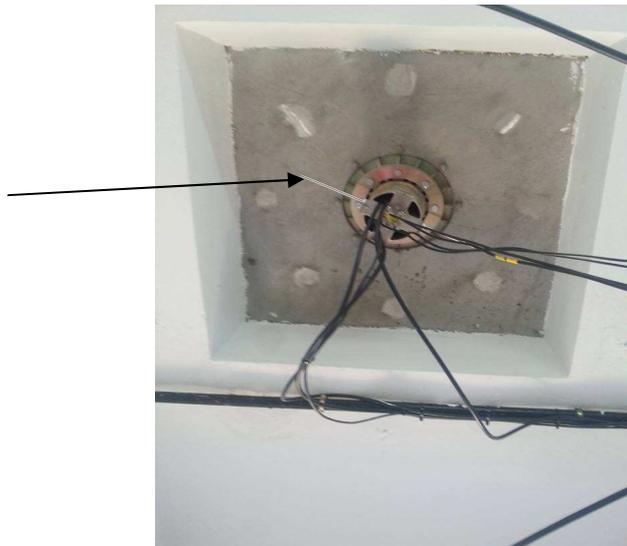


Figure 43: Tige de l'antenne directionnelle.

⇒ Pour corriger l'erreur, on a utilisé cette tige pour accomplir une rotation de $1,8^\circ$ dans le sens des azimuts décroissants.

- On peut aussi régler ce problème à l'aide du logiciel « ADRACS » en ajustant la phase en jouant sur le paramètre « Azimut alignement » (figure ci-dessous).

Le screenshot montre l'interface de contrôle ADRACS. On voit plusieurs fenêtres : 'Adjustments' pour TX 2 et TX 1, 'Measurements MON 1 / MON 2', et 'Measurement Main'. Une fenêtre 'Measurements MON 1 / MON 2' est ouverte au premier plan, montrant une table de données.

Name	MON 1 V...	MON 2 V...	Unit
Azimuth	359.62	359.48	°
RF-Level	101	101	%
Distortion 9960Hz AM	4.6	4.1	%
30 Hz AM Depth	30.1	30.1	%
9960Hz AM Depth	30.0	29.8	%
FM Index	16.0	15.9	%
1020 Hz AM Depth	10.5	10.0	%
Identification Morse Code	FES*	FES*	%
Distortion 30Hz FM	0.3	0.2	%
60 Hz Modulation	0.1	0.1	%
Carrier Frequency	115700.1	115700.2	kHz

Une flèche pointe vers le paramètre 'Azimut alignement' dans la fenêtre 'TX 1 Adjustments', qui est réglé sur 134.00 deg.

Figure 44 : Paramètre « Azimut alignement ».

La correction proposée a été faite et un contrôle en vol sera effectué le début du mois de juin.

Conclusion

Au cours de la période de notre stage à l'aéroport Fès-Saïs, nous nous sommes intéressés à la maintenance de l'équipement VOR.

On a alors réalisé une étude sur le fonctionnement des différents modules qui constituent ce système. Nous avons aussi participé à la recherche de la cause d'une panne de l'équipement VOR et à sa correction. Il s'agissait d'une mauvaise orientation de l'antenne. Nous avons pu calculer l'angle de déviation et nous avons effectué la rotation des deux dipôles pour corriger l'erreur.

Le diagnostic et la résolution de la panne de l'équipement VOR, nous a permis de développer notre sens d'analyse et de synthèse. Nous avons pu appliquer nos connaissances théoriques dans le domaine pratique.

En plus, nous avons également eu l'occasion d'accompagner les Électroniciens de la Sécurité Aérienne (ESA) dans l'exercice de leurs tâches, ce qui nous a permis de découvrir le monde de l'aéronautique civil, qui jusque-là était très inconnu pour nous. Aussi, nous avons pu connaître les différents équipements utilisés dans le domaine de la radionavigation, plus précisément l'équipement VOR, et de bien connaître ses procédures de maintenance.

Ce stage nous a permis d'acquérir des connaissances techniques, de développer nos compétences et de comprendre la réalité du monde du travail.

Enfin nous tenons à exprimer notre satisfaction d'avoir pu travailler dans de bonnes conditions et un environnement ragoûtant.

Annexe

Etude théorique du VOR :

a) Principe de la définition radioélectrique d'un azimut :

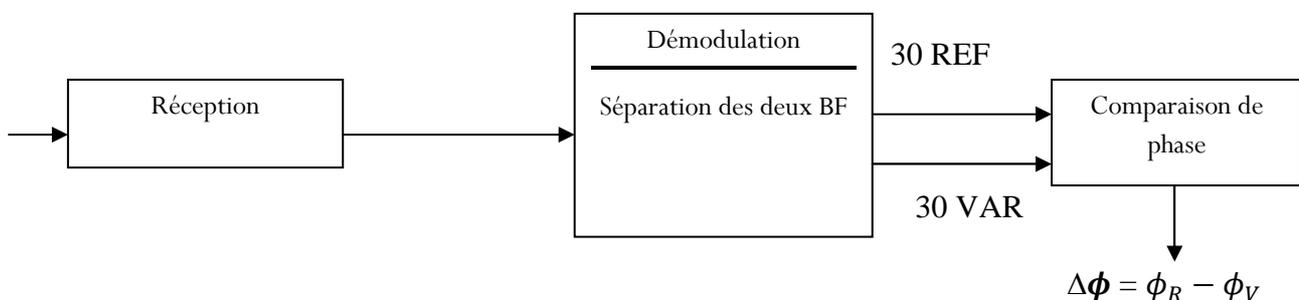
La station sol VOR transmet en VHF deux signaux BF, de même fréquence, mais de phases différentes, en particulier :

- Le premier dit « 30 Hz de référence », est transmis avec une phase instantanée identique dans toutes les directions, soit :

$$\phi_R = \Omega \cdot t + \phi \quad \left\{ \begin{array}{l} \Omega = 2\pi F \\ F = 30 \text{ Hz} \\ \phi = \text{indépendant de } \alpha \end{array} \right. \quad (1)$$

- Le second dit « 30 Hz variable », est transmis avec une phase instantanée qui est une fonction linéaire de l'azimut, soit :

$$\phi_V = \Omega \cdot t + \phi' - \alpha \quad (2) \quad \alpha = \text{azimut}$$



Après réception, démodulation et séparation, on obtient « le 30 Hz REF » et le « 30 Hz VAR » dans une direction α , ils sont de la forme :

$$e_{30 \text{ Ref}} = \cos(\Omega t + \phi) \quad (3)$$

$$e_{30 \text{ Var}} = \cos(\Omega t + \phi' - \alpha) \quad (4)$$

C'est-à-dire que leurs phases instantanées sont de la forme ϕ_R et ϕ_V précédemment définies.

La comparaison de celles-ci donne :

$$\forall \alpha \quad \phi_R - \phi_V = (\phi - \phi') + \alpha \quad (5)$$

Pour que la relation précédente soit directement utilisable, c'est-à-dire obtenir :

$$\phi_R - \phi_V = \Delta\phi = \alpha$$

Il faut faire un choix particulier de ϕ et ϕ' dit « calage de phase ».

La définition OACI impose que dans la direction du Nord Magnétique ($\alpha=0$), les signaux « 30 Hz REF » et « 30 Hz VAR » auront la même phase à l'origine. Avec $\phi=\phi'$, on obtient donc :

$$\forall \alpha \quad \Delta\phi = \phi_R - \phi_V = \alpha \quad (6)$$

b) Définition des deux canaux de transmission « 30 Hz REF » et « 30 Hz VAR » :

Les deux signaux à 30 Hz ne diffèrent que par leurs phases. On ne peut donc pas les transmettre au moyen du même type de modulation (sauf utilisation de deux porteuses décalées), puisqu'il ne serait pas possible de les séparer au niveau du récepteur.

Par contre, il est possible avec une seule porteuse f d'assurer plusieurs canaux de transmissions, sous réserve que les raies du spectre associées à chaque canal soit suffisamment éloignées les unes des autres pour permettre (après détection) leur séparation par filtrage.

- Le « 30 Hz VAR » modulera la porteuse en amplitude (taux de modulation de 30%). Il lui correspondra les deux raies spectrales $f+30$ et $f-30$ de part et d'autre la porteuse.
- Le « 30 Hz REF » est transmis par modulation de fréquence d'une sous-porteuse de fréquence $f_0=9960$ Hz, avec un indice de modulation de l'ordre de 16, qui module à son tour en amplitude la porteuse VHF (taux de modulation de 30%). Cette seule modulation d'amplitude se caractérise par les deux raies $f+9960$ et $f-9960$ de part et d'autre de f , mais compte tenu de la modulation en fréquence de la sous-porteuse, à ces deux raies se rajoutent, de part et d'autre, 16 autres raies espacées entre elles de $f=30$ Hz.

c) Transmission du 30 Hz de référence :

Le 30 Hz référence est transmis par modulation de fréquence d'une sous-porteuse ($f_0=9960$ Hz), modulant à son tour en amplitude la porteuse VHF.

Expression de la sous-porteuse modulée en fréquence :

La fréquence instantanée $f_0(t)$, la fréquence nominale f_0 , l'excursion de fréquence Δf_0 autour de f_0 et la pulsation du signal modulant sont liées par la relation :

$$f_0(t) = f_0 + \Delta f_0 \cdot \cos \Omega t \quad (7)$$

De plus, Δf_0 est lié à la fréquence modulante f et à l'indice de modulation n par la relation :

$$\Delta f_0 = n \cdot f$$

Avec $n=16$ (valeur fixée par l'OACI) et $f=30$ Hz, on a donc : $\Delta f_0 = 16 * 30 = 480$

Et l'expression (7), s'écrit :

$$f_0(t) = 9960 + 480 \cdot \cos(\Omega t) \quad (8)$$

Par ailleurs, l'expression générale du signal sous-porteuse est celle d'un signal modulé en fréquence :

$$e_0 = E b_0 \cos(\Psi_0(t)) \quad (9)$$

La phase instantanée $\Psi_0(t)$ est liée à la pulsation instantanée $\omega_0(t)$ par la relation :

$$\omega_0(t) = \frac{d\Psi_0}{dt} \quad \text{avec } \omega_0(t) = \omega_0 + \Delta\omega_0 \cdot \cos \Omega t$$

On peut alors écrire :

$$\Psi_0(t) = \int_0^t \omega_0(u) \cdot du = \int_0^t (\omega_0 + \Delta\omega_0 \cdot \cos \Omega t) \cdot du$$

Où:

$$\Psi_0(t) = \omega_0 \cdot t + \frac{\Delta\omega_0}{\Omega} \cdot \sin \Omega t + cte \quad (10)$$

On peut choisir l'origine des phases de sorte que la constante soit nulle, on remarque aussi que :

$$\frac{\Delta\omega_0}{\Omega} = \frac{\Delta f_0}{F} = n \text{ Indice de modulation déjà défini, d'où :}$$

$$e_0 = E b_0 \cos(\omega_0 \cdot t + n \cdot \sin \Omega t)$$

Expression de la porteuse VHF modulée par la sous-porteuse :

Si $e = [E_p + m(t)] \cos \omega t$ est l'expression générale d'un signal modulé en amplitude et $m(t) = e_0$, il vient :

$$e = [E_p + E b_0 \cos(\omega_0 \cdot t + n \cdot \sin \Omega t)] \cos \omega t$$

D'où :

$$e = E_p \cos \omega t \left[1 + \frac{Eb_0}{E_p} \cos(\omega_0 \cdot t + n \cdot \sin \Omega t) \right] \quad (11)$$

Où $\frac{Eb_0}{E_p}$ est le taux de modulation m : $m=0.3$

Puisque la VHF, doit être modulée par la sous-porteuse, par l'indicatif (1020 Hz) et de plus par la phonie [300_3000 Hz], on obtient :

$$e_p = E_p \cos \omega t [1 + m_0 \cos(\omega_0 t + n \cdot \sin \Omega t) + m_3 \cos(\Omega_{(300.3000)} t) + m_4 \cos(\Omega_{1020} \cdot t)] \quad (12)$$

Avec : $\Omega_{1020} = 2\pi \cdot 1020$; $\Omega_{(300.3000)} = 2\pi(300 \text{ ou } 3000)$

$$m_0 = 0.3 ; m_3 = 0.3 ; \begin{cases} m_4 = 0.1 & (\text{en absence de phonie}) \\ m_4 = 0.05 & (\text{en présence de phonie}) \end{cases}$$

d) Transmission du 30 Hz variable :

Le 30 Hz variable est transmis par modulation d'amplitude de la porteuse VHF.

Expression de la porteuse VHF modulée par le 30 Hz variable :

« Le 30 Hz VAR » se caractérise par une variation linéaire de sa phase instantanée en fonction de l'azimut : $\phi_V = \Omega t - \alpha$

Dans un azimut α , après détection et démodulation (et filtrage) on a donc le signal suivant :

$$e_{30 \text{ VAR}} = \cos(\Omega t - \alpha)$$

Et puisqu'il est transmis directionnelle par modulation d'amplitude, le signal 30 VAR émis par le VOR s'écrit :

$$\varepsilon = [1 + m_1 \cos(\Omega t - \alpha)] \varepsilon_r$$

Où $m_1 = m = 0.3$ est le taux de modulation de 30 VAR.

Bibliographie

Chapitre 2 : Présentation de la division technique de navigation de l'aéroport Fès-sais :

_ Les Manuels des équipements de radionavigation de l'aéroport Fès-sais.

Chapitre 3 : Procédures de maintenance de l'équipement VOR :

_ Manuel CVOR 431.

_ Fonctionnement :

Site Web: <http://www.lavionnaire.fr/>

_ Introduction et principe du VOR :

Site Web : http://www.ivaofr.fr/dep/instruction/Manuels/Ipac-FR_V2/pdf/INST_VOR1.pdf

_ Etude de la Maintenance : Cours de maintenance de Frédéric Tomala.

Site Web:

http://colasapoil.free.fr/HEI/HEI5%20TC/Maintenance/h5_tc_maintenance_coursv2_coursv2_1783.pdf