



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB – BLIDA I
Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales

MEMOIRE DE MASTER

En Aéronautique

Spécialité : Exploitation Aéronautiques

Thème :

CONCEPTION ET ELABORATION D'UN NOUVEAU SCHEMA DE
CIRCULATION AERIENNE FONDEE SUR LES PERFORMANCES
POUR L'AERODROME D'ALGER.

Présenté par :

BELDJOUZI AMIRA

Encadré par :

Mr. LAGHA Mohand

Mr. ELALOUANI Mohamed

Blida, Juillet 2019

Remerciements

Je ne saurais présenter cette étude sans remercier :

Tous les Maitres et Maitresses d'Ecoles, Professeurs et Enseignants des cours d'enseignement Moyens CEM et lycées pour avoir dès ma plus jeune Age assuré ma formation et guidé mes pas jusqu'aux portes de l'université.

Tous les professeurs et enseignants de l'institut d'Aéronautique et des Etudes spatiales qui ont veillé pour m'inculquer les bases essentielles de cette discipline, aussi et plus particulièrement les Enseignants qui m'ont accompagnés dans la concrétisation de cette étude et en l'occurrence :

Monsieur **LAGHA Mohand**, Professeur en Aéronautique à l'institut d'aéronautique de Blida tant pour la confiance qu'il a accordée pour avoir bien voulu accepter d'encadrer ce travail en sa qualité de promoteur que pour ses conseils judicieux et pertinents sans cesse renouvelés

Mes vifs remerciements s'adressent également à l'ensemble des responsables et des employés de l'établissement National de la Navigation Aérienne tant pour l'accueil chaleureux qu'il m'ont réservées durant la période de stage passée au sein dudit établissement que pour les informations et conseils précieux qu'ils ont pu pour moi prodiguer et plus particulièrement :

- **Monsieur ELALOUANI Mohamed** , Chef Service d'études et développement au département de la circulation aérienne et Ingénieurs En Conception qui m'a accompagné durant tout mon stage effectué à l'ENNA et pour l'assistance qu'il m'a témoigné pour me faire profiter , avec beaucoup de patience, pédagogie et de son expérience professionnels .

Mes remerciements anticipés vont également à tous les Enseignants et Professeurs Membres du jury d'avoir bien voulu accepter d'examiner et d'apprécier cette contribution.

Mes remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit mené à bien.

Enfin, ce travail je le doit aussi à ma famille et spécialement ma mère et mes Frères
« Zoubir », « Adel » et « Boualem »

Que tous ici se reconnaissent et trouvent l'expression de notre profonde et sincère
gratitude.

*« Dans les grandes choses, avant l'effort qui réussit, il y a presque toujours
des efforts qui passent inaperçus »*

Laure Conan : Artiste, écrivaine (1845 - 1924)

RESUME

Ce mémoire porte sur l'élaboration des procédures appuyées sur le concept PBN pour l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene

Les procédures RNAV (GNSS) sont fondées principalement sur une attente point fixe au nord-est du terrain. A cet issu il a été conçu des arrivées normalisées aux instruments (STAR) joignant cette dernière, ainsi qu'une procédure d'approches RNP APCH pour le seuil 05.

Cette étude a été établie afin de répondre aux besoins opérationnels des usagers de l'espace aérien dans le but de remédier aux contraintes causées par le schéma de circulation aérienne existant et en comblant ces lacunes

Mots clés : schéma de circulation aérienne Alger, attente point fixe, STAR, procédure d'approche RNP APCH, PBN, RNAV GNSS

ABSTRACT

This dissertation is based on the creation of the RNAV (GNSS) procedures at Algiers Airport Houari Boumedienne. It mainly structured on a new hold in the north east of the terrain ,in this case it was designed a standard instrument arrivals STAR,as well as an RNP APCH approach procedure for threshold 05

The aim is to overcome the disadvantages of existing procedures while offering economic and operational benefits to airlines.

After an analysis of the actual situation at Algiers Houari Boumediene Airport my work ponders on ideas, prepositions and improvement

Keywords: GNSS, RNAV, PBN, RNP APCH, holding pattern fix point, Departure, Arrival

ملخص

تركز هذه الأطروحة على مشروع وضع مخطط جديد لحركة السير الجوي لمطار هواري بومدين الجزائر العاصمة حسب مبدأ الملاحة الجوية القائمة على الأداء يحتوي أساسا على دائرة انتظار-نقطة ثابتة-في شمال شرق الموقع. ولهذا الغرض قمت بتصميم طرق وصول الية قياسية متصلة بهذه الأخيرة وبالإضافة الى اجراء اقتراب الي من نوع أداء الملاحة المطلوبة الى المسار 05

لقد أنجزت هذا المشروع تلبية لحاجيات مستعملي الفضاء الجوي وللتمكن كذلك من علاج وتغطية النقائص الناتجة عن استعمالات مخطط حركة السير الجوي المستعملة حاليا في مطار هواري بومدين الجزائر العاصمة.

الكلمات المفتاحية: مخطط حركة السير الجوي، دائرة انتظار، الملاحة الجوية القائمة على الأداء .

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.CHAPITRE 2 | 24 |
| LE CONCEPT PBN | 24 |
| 2.1 Introduction : | 24 |
| 2.2 Historique :..... | 24 |
| 2.3 Origine de la PBN :..... | 25 |
| 2.3.1 Mise en œuvre du concept PBN : | 26 |
| 2.3.2 Contenu du manuel PBN :..... | 27 |
| Volume I | 27 |
| · Partie A | 27 |
| · Partie B | 27 |
| Volume II | 27 |
| · Partie A | 27 |
| · Partie B | 27 |
| · Partie C | 27 |
| 2.4 Principe de La navigation fondée sur les performances (PBN) :..... | 28 |
| 2.5 Terminologie du Contexte de la PBN : | 29 |
| 2.6 La spécification de navigation :..... | 31 |
| · RNAV 10..... | 32 |
| · RNAV 5..... | 33 |
| · RNAV 1 et 2..... | 33 |
| · RNP 4 | 33 |
| · RNP 2 : | 33 |
| · RNP 1 :..... | 33 |
| · RNP avancée (ARNP) :..... | 33 |

| | |
|--|----|
| · RNP 0,3 | 33 |
| · RNP APCH : | 33 |
| · RNP AR APCH : | 33 |
| 2.6 Avantages de la PBN : | 34 |
| 2.7 Conclusion : | 35 |
| CHAPITRE 3 | 36 |
| LA NAVIGATION DE SURFACE | 36 |
| Historique : | 36 |
| Methode de navigation : | 36 |
| 3.3 Definition du systeme RNAV: | 37 |
| 3.3.1 Objectifs de la navigation de surface : | 38 |
| 3.3.2 Fonction de base du système RNAV : | 39 |
| 3.4 Base de données de navigation : | 40 |
| 3.4.1 Etablissement des plans de vol : | 40 |
| 3.5 Point de cheminement « waypoint » : | 41 |
| 3.5.1 Symbologie des waypoints : | 43 |
| 3.5.2 Utilisation en fonction du type de WP : | 43 |
| 3.5.3 Tolérance d'un waypoint : | 44 |
| 3.6 Méthode de positionnement RNAV : | 44 |
| 3.7 Précision de navigation : | 45 |
| 3.8 Intégrité des bases de données de navigation : | 45 |
| 3.8.1 Equipemets RNAV : | 45 |
| 3.8.2 Certification RNAV : | 46 |
| 3.8.3 Zone d'exploitation : | 46 |
| 3.9 Les différents types de la RNAV : | 46 |

| | |
|--|----|
| La RNAV de base ‘B-RNAV’ : | 46 |
| La RNAV de précision ‘P-RNAV’ : | 47 |
| La RNAV libre : | 47 |
| 3.10 Procédures RNAV : | 47 |
| 3.10.1 Généralités : | 47 |
| 3.10.2 Erreur technique de vol (FTE) : | 47 |
| 3.10.3 Valeurs tampons (BV) : | 48 |
| 3.10.4 Aire de franchissement d’obstacles : | 49 |
| 3.10.4.1 Demi-largeur d’aire : | 49 |
| 3.10.4.2 Aire secondaire : | 49 |
| 3.10.4.3 Repère : | 49 |
| 3.11 RNAV avec GNSS de base : | 49 |
| 3.12 XTT, ATT et demi-largeur d’aire : | 50 |
| XTT : Tolérance d’écart latéral : | 50 |
| ATT : Tolérance d’écart longitudinal : | 50 |
| 3.12.1 Précision du système GNSS de base : | 50 |
| 3.13 Comparaison des aires de protection des procédures RNAV et procédures conventionnelles : | 50 |
| 3.13.1 Aire de protection : | 51 |
| 3.13.2 Principe des aires secondaires : | 51 |
| 3.13.3 Aires de protection des procédures RNAV : | 51 |
| 3.13.4 Superposition des aires RNAV / Conventionnelles : | 52 |
| 3.14 Les avantages de la navigation de surface (RNAV) : | 54 |
| 3.15 Problèmes actuels de la RNAV : | 55 |

3.16

| | |
|--|----|
| Conclusion :..... | 56 |
| 4.1 Introduction :..... | 62 |
| 4.2 Historique : | 62 |
| 4.3 Définition du ‘GNSS’ : | 62 |
| 4.4 Constellation de base :..... | 65 |
| GPS ‘Global Positioning System’ : | 65 |
| 4.5 Principe du GPS : | 66 |
| GALILEO : | 65 |
| L’Approche de l’Europe | 67 |
| EGNOS : | 67 |
| 4.6 Principe de fonctionnement du GNSS : | 68 |
| 4.7 du GNSS :..... | 71 |
| 4.8 Critères de performances de navigation :..... | 72 |
| Précision : | 73 |
| Intégrité :..... | 73 |
| Disponibilité : | 73 |
| Continuité de service : | 73 |
| Couverture : | 74 |
| 4.10 Systèmes de renforcement :..... | 74 |
| 4.10.1 Systèmes de renforcement embarqués (ABAS) : | 74 |
| RAIM : | 74 |
| AAIM..... | 75 |
| 4.10.2 Systèmes de renforcement par satellite (SBAS) : | 75 |
| 4.10.3 Système de renforcement par satellite (GBAS) :..... | 76 |
| 4.11 Les avantage du GNSS :..... | 77 |
| 5.1.1 Introduction | 81 |

| | |
|--|----|
| Présentation de l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene : | 81 |
| 5.1.1 Description de l'aérodrome d'Alger : | 81 |
| Caractéristiques dimensionnelles de l'aérodrome : | 81 |
| Caractéristique physique de la piste : | 81 |
| 5.1.2 Distances déclarées : | 82 |
| 5.1.3 Balisage de piste et dispositifs lumineux d'approche : | 82 |
| 5.1.4 Type d'obstacle de l'aérodrome : | 83 |
| Obstacle naturel : | 83 |
| 5.1.5 Obstacle artificiel : | 83 |
| Aide de radionavigation et d'atterrissage : | 85 |
| 5.1.6 Description de schéma de circulation aérienne de l'aérodrome d'Alger : | 86 |
| 5.1.6.1 TMA ALGER : | 86 |
| 5.1.6.2 Trajectoire IFR : | 87 |
| 5.2 Problématique : | 87 |
| Les contraintes opérationnelles : | 87 |
| 5.3 Court terme (2015/2019) : | 88 |
| 5.3.2 Espace En-Route : | 89 |
| 5.4 Espace terminal : | 90 |
| 5.4.2 : | 90 |
| 5.3.2 Moyen terme (2020/2024) : | 90 |
| 5.4.1 Long terme (2025 et après) | 91 |
| Section II | 92 |
| 5.5.1 Introduction : | 93 |
| 5.5.2 Hypothèse : | 93 |
| 5.5.3 Choix de type de procédure : | 93 |

| | |
|--|-----|
| TAA :..... | 94 |
| MFO Applicable : | 94 |
| 5.6Construction des segments des procédures : | 94 |
| 5.8APV/NAVIGATION VERTICALE BAROMÉTRIQUE (BARO-VNAV) : | 107 |
| Définition de l'OAS..... | 108 |
| Conclusion : | 114 |

TABLE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 3.1 : Indications plan de vol pour les spécifications de navigation | 41 |
| Tableau 3.2 : Types de waypoints | 43 |
| Tableau 3.2 : Erreur technique de vol des applications RNAV et RNP | 48 |
| Tableau 3.3 : Valeurs tampons (BV) | 49 |
| Tableau 4.1 : Comparaison entre RAIM et AAIM | 75 |
| Tableau 5.5 : Distances Déclarées | 83 |
| Tableau 5.6 : Balisage lumineux de piste et dispositifs lumineux d'approche | 83 |
| Tableau 5.2 : Obstacle artificiels | 84 |
| Tableau 5.3 : Installation de télécommunication | 84 |
| Tableau 5.4 : Aide de radionavigation et d'atterrissage | 86 |
| Tableau 5.3 : XTT, ATT et demi-largeur d'aire pour la RNP APCH phases d'approche initiale/intermédiaire/finale et approche interrompue (NM) | 96 |
| Tableau 5.6 : Vitesses (VI) pour les calculs de procédures, en nœu | 98 |

TABLE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1.1 : Type de Navigation. | 5 |
| Figure 1.2 : Processus de conception des procédures de vol aux instruments | 7 |
| Figure 1.3 : Départ en ligne droite | 8 |
| Figure 1.4 : départ en ligne droite avec ses aires de protections | 8 |
| Figure 1.5 : Départ en ligne droite | 9 |
| Figure 1.6 : départ en ligne droite avec guidage assuré par un VOR | 10 |
| Figure 1.7 : Pente minimale de départ | 11 |
| Figure 1.8 : Aire de protection associée à une STAR longue en suivant une trajectoire rectiligne..... | 13 |
| Figure 1.9 : aire de protection associée à une STAR longue en suivant une trajectoire curviligne..... | 13 |
| Figure 1.10 : Aire de protection associée à une STAR courte en suivant une trajectoire rectiligne..... | 14 |
| Figure 1.11 : Aire de protection associée à une STAR courte en suivant une trajectoire curviligne..... | 14 |
| Figure 1.12 : sectorisation | 15 |
| Figure 1.13 : configuration TAA en Y | 16 |
| Figure 1.14 : Configuration TAA en T | 16 |
| Figure 1.15 : procédure d'attente | 17 |
| Figure 1.16 : circuit d'attente virage à droite | 17 |
| Figure 1.17 : les types d'attentes verticale installation | 18 |
| Figure 1.18 : types d'attente verticale intersection | 19 |
| Figure 1.19 : types d'entrées dans une attente | 20 |
| Figure 1.20 : Aire de protection d'une attente | 21 |
| CHAPITRE 2 | 24 |

| | |
|---|----|
| Figure 2.1 : le concept RNP | 26 |
| Figure 2.2 : Le concept PBN | 26 |
| Figure 2.3 : Le Manuel PBN Doc 9613 OACI..... | 28 |
| Figure 2.4 : le concept de l'espace aérien | 29 |
| Figure 2.5 : les composants du concept PBN | 30 |
| Figure 2.6 : Exemple des composants du concept PBN..... | 31 |
| Figure 2.7 : Organigramme des spécifications de navigation | 34 |
| Figure 3.1 : navigation conventionnelle comparée à la RNAV | 37 |
| Figure 3.2.a : système RNAV de base | 38 |
| Figure 3.2.c :système multi capteurs simple | 38 |
| Figure 3.3 : Environnement conventionel et RNAV | 39 |
| Figure 3.4 :Fonctions de base d'un système RNAV | 40 |
| Figure 3.5.a : point de cheminement à survoler | 42 |
| Figure 3.5.b : point de cheminement par le travers..... | 43 |
| Figure 3.6 : tolérance d'un waypoint..... | 44 |
| Figure 3.7 : Affichage sur le ND | 45 |
| Figure 3.8 : Récepteur RNAV | 46 |
| Figure 3.9 : Tolérance d'un waypoint (XTT, ATT) | 51 |
| Figure 3.10 : principe de l'aire secondaire | 52 |
| Figure 3.11 : superposition des aires de protections d'une approche finale VOR et d'une approche finale RNP APCH [] | 53 |
| Figure 3.12 : comparaison entre une aire de protection d'une procédure NDB et d'une procédure LNAV | 54 |
| Figure 3.13 : la différence entre la navigation conventionnelle et la navigation de surfac..... | 56 |
| Figure 4.1 : Types d'applications du GNSS..... | 65 |
| Figure 4.2 : Principe du GPS..... | 66 |
| Figure 4.3 : Principe de fonctionnement d'EGNOS..... | 68 |
| Figure 4.4 : Principe de la navigation par satellite | 69 |
| Figure 4.5 : Determination de la position pour trois sphères | 70 |
| Figure 4.6 : récepteur GNSS autonomes et multi capteurs | 72 |

| | |
|---|-----|
| Figure 4.7 : les augmentations SBAS dans le monde..... | 76 |
| Figure 4.8 : Les augmentations GBAS..... | 77 |
| Figure 4.9 : Définition OACI du GNSS | 77 |
| Figure 5.1 : Plan PBN Algérie..... | 88 |
| Figure 5.2 : les demi-largeurs d'air d'une RNP APCH..... | 96 |
| Figure 5.3 : Fusion de segments de largeurs différentes | 96 |
| Figure 5.4 : Surface du logiciel SERVAERO | 97 |
| Figure 5.5 : Construction d'une spirale de vent | 100 |
| Figure 5.6 : Construction d'une spirale de vent | 101 |
| Figure 5.7 : Approche interrompue ≤ 15 Nm ARP | 104 |
| Figure 5.8 : l'influence de la température sur le plan de descente | 108 |
| Figure 5.9 : Aire APV baro-RNAV Surfaces OAS APV vue en plan | 109 |
| Figure 5.10 : OAS baro-VNAV vue de profil | 109 |
| Figure 5.11 : surface du logiciel PANS OPS OAS | 111 |

Unités de mesure :

Les unités de mesure sont exprimées conformément à l'Annexe 5.

FT : Foot

Km/h : Kilomètre par heure

Kt: Nœuds

M: mètres

NM: Nautical Mile

°C : Celsius

°K : kelvin

Symboles :

Tg : Tangente

Cot : Cotangente

θ : Thêta

π : Pi

α : Alpha

Δ : Delta

INTRODUCTION

Pendant des décennies, les aides à la radionavigation (NAVAID) étaient là à la base de la navigation aux instruments. L'Algérie est dotée d'un réseau de radiophares non directionnels (NDB), de radiophare omnidirectionnel VHF (VOR) et d'équipement de mesure de distance (DME) qu'utilisent les avions pour une navigation de point en point le long d'itinéraires fixes (navigation en route) et pour effectuer des procédures d'approche aux instruments. La navigation en route s'entend de la capacité de naviguer le long de segments de route rectilignes prédéfinis.

Les aides à la navigation en route déterminent l'équipement qui doit se trouver à bord de l'avion pour emprunter l'itinéraire prévu. Un radiophare non directionnel (NDB) et un radiophare omnidirectionnel (VOR) assurent le guidage directionnel à partir d'un relèvement ou d'un radial obtenu du NAVAID, toutefois la précision latérale diminue avec la portée.

L'estimation de la position le long de la trajectoire est calculée en fonction du temps écoulé entre les repères confirmés. Les NAVAID sont d'une efficacité limitée pour la navigation en route, ainsi que les procédures d'approche et de départ aux instruments. Les systèmes de navigation de surface ont été développés dans le but de se libérer des contraintes de la navigation en route.

En effet, la navigation de surface permet à un avion de suivre une trajectoire de vol préalablement établie avec une grande précision d'un point à l'autre

Lorsque des avions naviguent grâce à des signaux directs provenant de moyens de radionavigation basée au sol, la conception des procédures conventionnelles reste appropriée aux applications non RNAV.

Cependant ce type de navigation engendre des contraintes du fait que les routes dépendent de l'emplacement des radiophares. Ce qui amène à des routes d'arrivées et de départ plus longues étant impraticables à cause des difficultés de localisation et du surcout qui s'appliquent à l'installation d'aides de radionavigation basés au sol. En plus des surfaces de protection d'obstacles qui s'agrandissent, et de l'erreur du système de navigation qui augmente en fonction de l'éloignement de l'avion des moyens de radionavigation.

En matière de systèmes de navigation, la stratégie suivie par l'OACI dans le cadre des progrès de navigation réalisés au cours des deux dernières décennies consistait de passer de la navigation fondée sur la spécification de capteurs à une navigation fondée sur des performances requises « PBN » constitués de deux éléments clés : Les systèmes RNAV et RNP qui sont fondamentalement similaires ; tout en s'appuyant sur le système mondial de navigation par satellite (GNSS).

Il a été constaté que cette transition permettait de réaliser des économies vu que le nouveau système exigerait moins de moyens d'aides à la navigation terrestres, d'accroître la capacité et d'améliorer l'efficacité, garantir un haut niveau de sécurité et enfin une plus grande souplesse dans la conception de l'espace aérien

Ce système définit ainsi les critères techniques et opérationnels nécessaires à la réalisation d'approches de non précision RNAV/GNSS reposant sur l'utilisation de la constellation GPS renforcés par un service d'intégrité interne au système de navigation de bord (ABAS) .Ces derniers sont basés sur des points indépendants es balises au sol .

Considérant l'apport induit par l'application des procédures RNAV (GNSS) ainsi énoncées, mon travail portera sur leur élaboration pour l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene, qui présente une forte densité de trafic. Ainsi que des difficultés qui seront exposés ultérieurement dans le cadre du diagnostic.

Pour atteindre les objectifs visés, les résultats attendus vont consister en des propositions et des améliorations en vue d'une exploitation optimale de l'espace aérien

Le présent mémoire est structuré en quatre (4) chapitres bien distincts désignés ci-après :

- ✓ **Chapitre 1** : Généralités sur les procédures de vol aux instruments.
- ✓ **Chapitre 2** : Concept de la navigation fondée sur les performances « PBN » ainsi que ses objectifs et ses différentes utilisations ;
- ✓ **Chapitre 3** : La navigation de surface ;
- ✓ **Chapitre 4** : Le système de navigation par satellites
- ✓ **Chapitre 5** : construction des procédures d'arrivées, d'approches RNP et d'attentes.

Chapitre subdivisé en deux (2) sections :

- *Section 1 : Présentation de l'aérodrome d'Alger et étude de l'existant*

- *Section 2 : Projet d'élaboration des procédures RNAV (GNSS) pour l'aérodrome d'Alger.*

Afin de réaliser ce travail un stage pratique de six mois a été effectué au sein de l'ENNA au département DCA au service SED responsable de la conception des procédures de vols

Le mémoire comportera une conclusion générale dans laquelle seront développés quelques commentaires et propositions.

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LA CONCEPTION DES PROCEDURES DE VOLS AUX INSTRUMENTS

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR LA CONCEPTION DES PROCEDURES DE VOLS AUX INSTRUMENTS

1. Introduction :

Tout aéroport caractérisé par une densité de trafic importante, est doté de procédures aux instruments (SID, STAR, APP) qui assurent un cheminement sûrs et fluide des mouvements des aéronefs. L'objectif ciblé dans ce chapitre est de présenter d'une façon générale les procédures aux instruments et leurs conceptions.

1.2 Les procédures aux instruments :

1.2.1 Définition :

Une procédure aux instruments est une série de manœuvres prédéterminées destinée aux aéronefs évoluant selon les règles de vol aux instruments (IFR).

Elle est constituée de segments de guidage radar ou de segments délimités par des repères définis par :

- Une ou plusieurs aides radio à la navigation (procédures conventionnelles, procédures RNAV DME/DME) ; ou
- Des moyens satellitaires (procédures RNAV GNSS) ; ou
- Une combinaison de ces deux types de moyens (procédures RNAV).

A chaque segment de procédure est associée une aire de protection dont les dimensions garantissent que l'aéronef demeure à l'intérieur de cette aire lorsque le vol se déroule en conditions normales tout moteur en fonctionnement, sous réserve du respect par le pilote des règles de l'art du pilotage et compte tenu des imprécisions de positionnement

Il appartient à l'exploitant aérien de prévoir des procédures pour les situations anormales et les conditions d'urgence.

1.3 Type de navigation :

Il y a des procédures aux instruments qui s'effectuent en navigation conventionnelle en se basant sur des moyens radionavigation , et

d'autres qui s'effectuent en navigation de surface en se basant sur des points de cheminement calculés, tel illustrés dans la figure suivante :

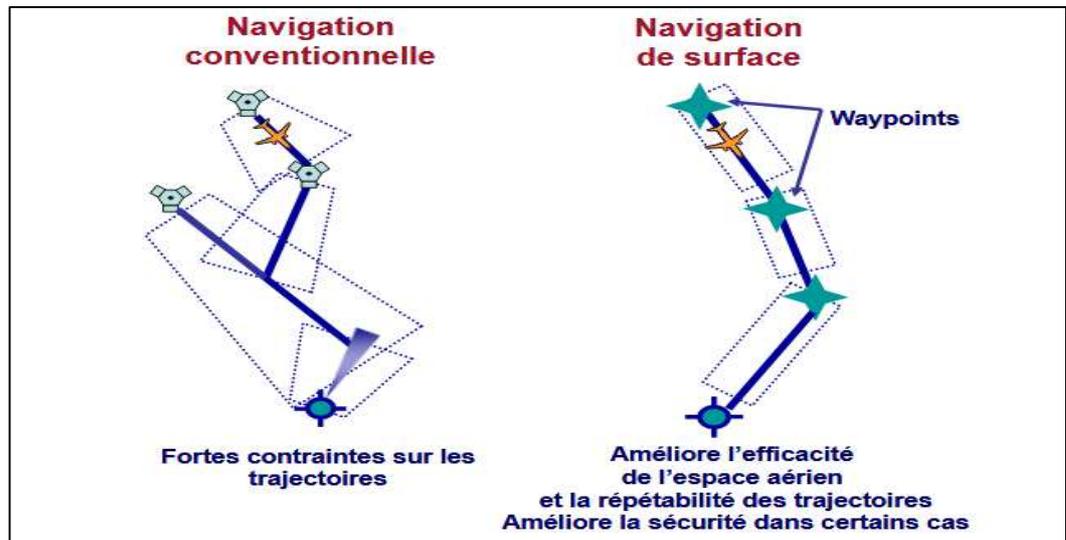


Figure 1.1 : Type de Navigation.

1.4 Type de procédures aux instruments :

- En route ;
- Départ ;
- Arrivée ;
- Attente ;
- Approche.

1.5 Acteurs impliqués dans la conception des procédures aux instruments :

- Structure de l'espace aérien ;
- Infrastructure ;
- Moyen de radionavigation ;
- Type de catégorie d'aéronefs ;
- Usages de l'espace aérien (contrôleurs et pilotes) ;
- Riverains ;
- Réglementation OACI.

1.6 Le processus d'établissement des procédures de vol aux instruments :

Le processus de conception des procédures de vol aux instruments (IFP) englobe l'acquisition de données, la conception de procédures et leur promulgation.

Il commence par le rassemblement et la vérification des nombreuses données d'entrée et s'achève par la validation au sol et/ou en vol du produit fini, et la documentation pour publication.

Les éléments du processus recouvrent les moyens habilitants, les contraintes, l'aboutissement et le retour d'information après publication pour la procédure à l'étude. Le processus de conception des IFP devrait être suivi non seulement lors de la création des procédures mais aussi lors de l'examen périodique d'IFP

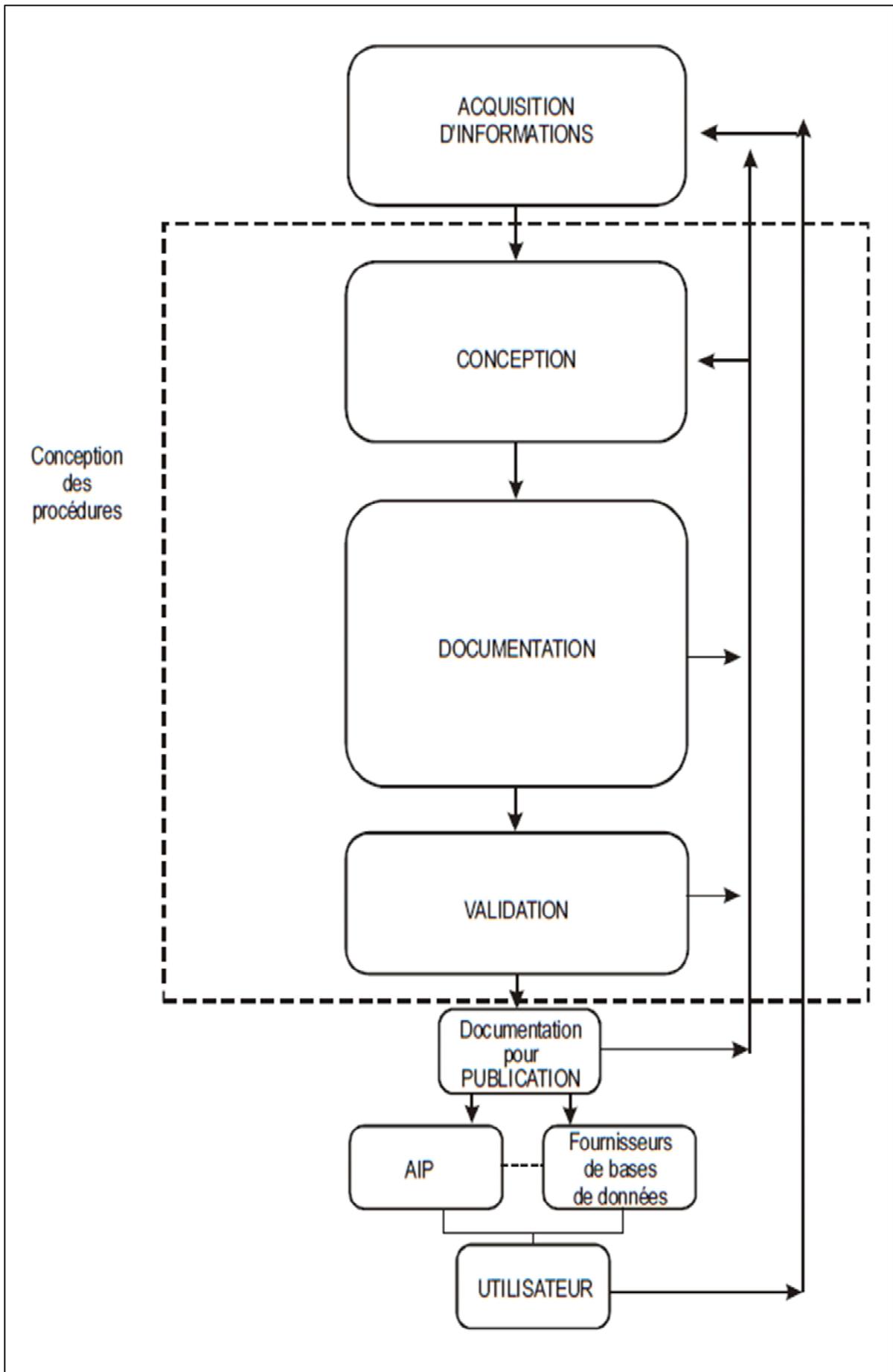


Figure 1.2 : Processus de conception des procédures de vol aux instruments [1]

1.7 Procédure de départ aux instruments : [1] [2]

1.7.1 Définition :

C'est un itinéraire permettant de relier la piste au premier point de notre route. Il est propre à un seul aéroport, et bien souvent à une seule piste.

- **Début** : DER ;
- **Corps** : enchaînement de trajectoires ;
- **Fin** : phase suivante de vol à l'altitude minimale (phase en route).

1.7.2 Départ normalisé aux instruments (SID) :

1.7.2.1 Départ en ligne droite :

Un départ dans lequel la trajectoire initiale de départ se trouve à 15° maximum de l'alignement de l'axe de piste est un départ en ligne droite. Si possible, la trajectoire de départ est dans le prolongement de l'axe de piste, comme le montre la figure suivante :

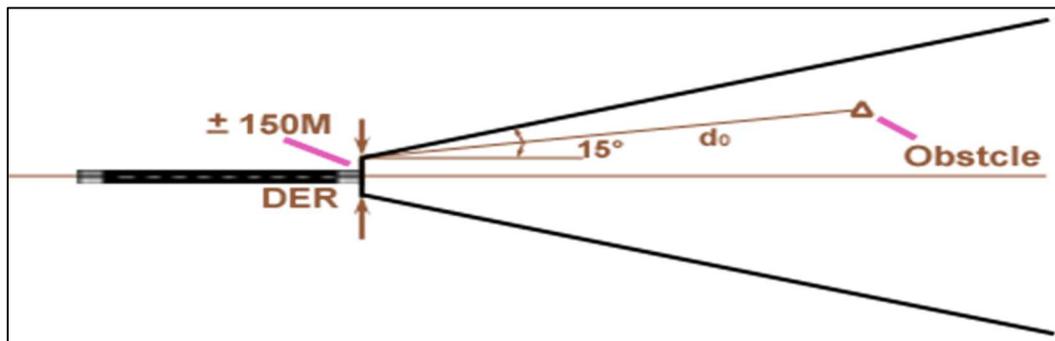


Figure 1.3 : Départ en ligne droite [2]

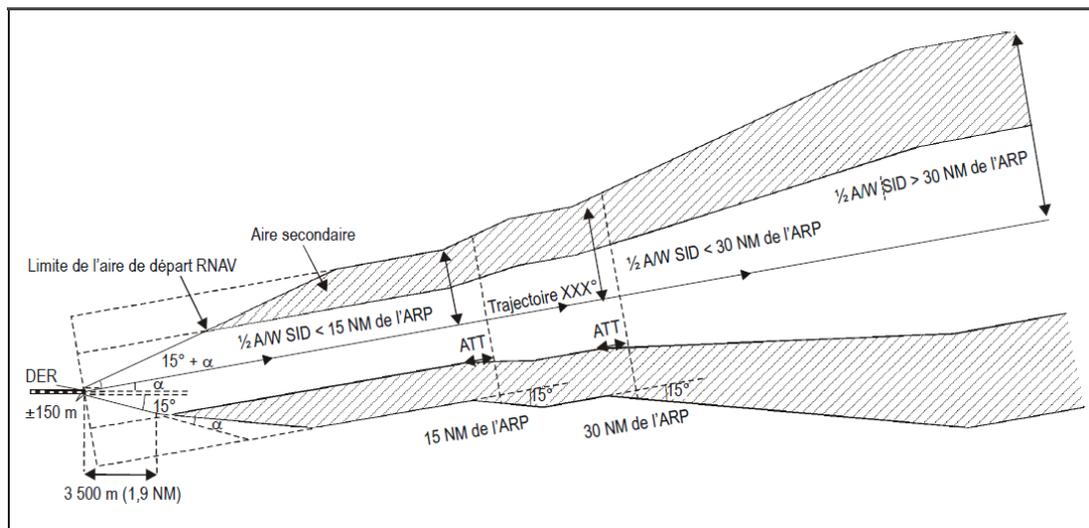


Figure 1.4 : départ en ligne droite avec ses aires de protections [1]

- **Départ en ligne droite à l'estime (sans guidage sur trajectoire) :**

Les aires de protection associées à ce segment sont citées dans la figure suivante 1.4 :

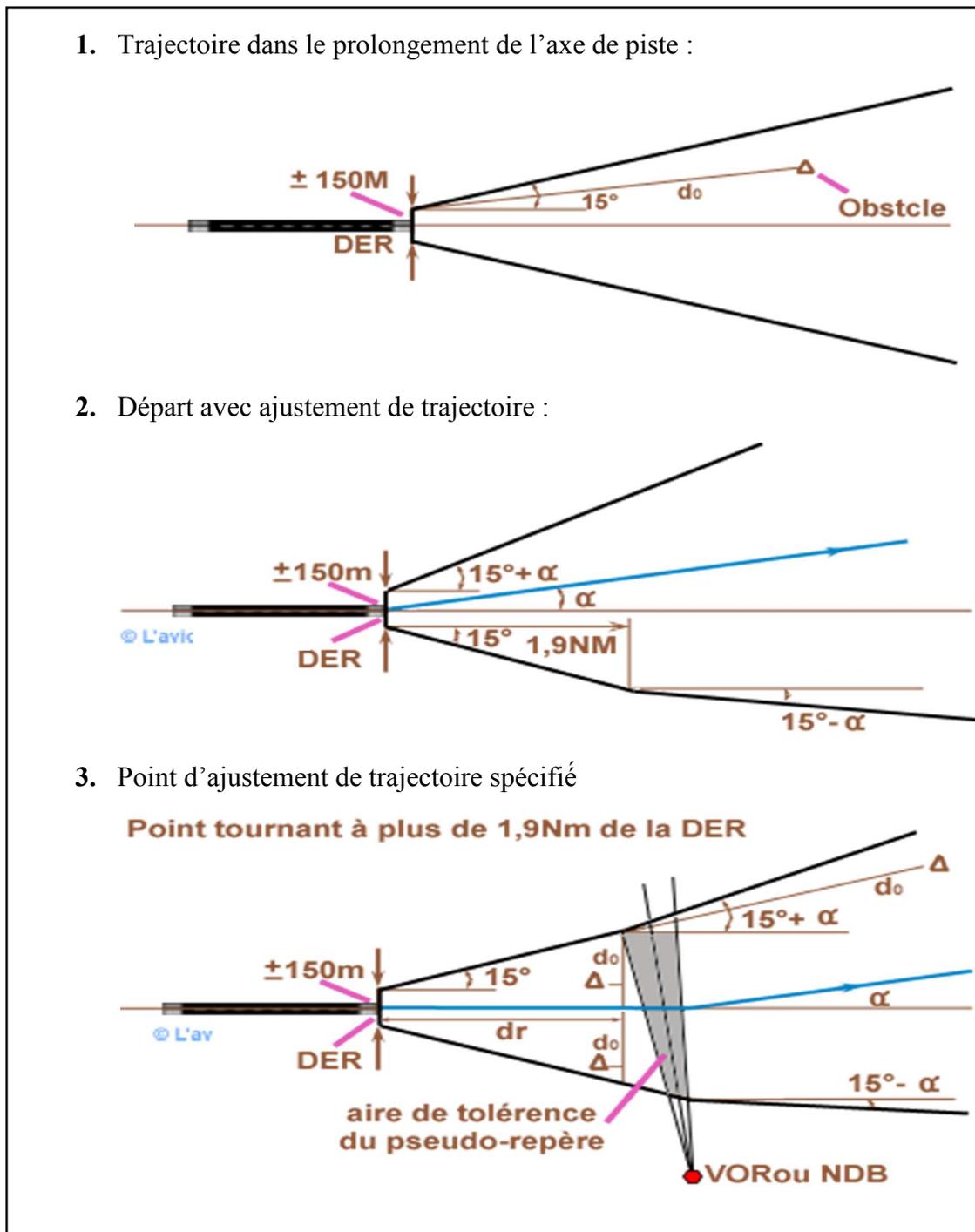


Figure 1.4 : Départ en ligne droite

- **Départ en ligne droite avec guidage sur trajectoire :**

L'aire se construit comme un départ en ligne droite sans guidage sur trajectoire, et s'étend jusqu'au point où les limites coupent l'aire associée à l'aide de navigation qui procure le guidage sur trajectoire.

Les aires de protection associées à ce segment sont citées dans la figure suivante :

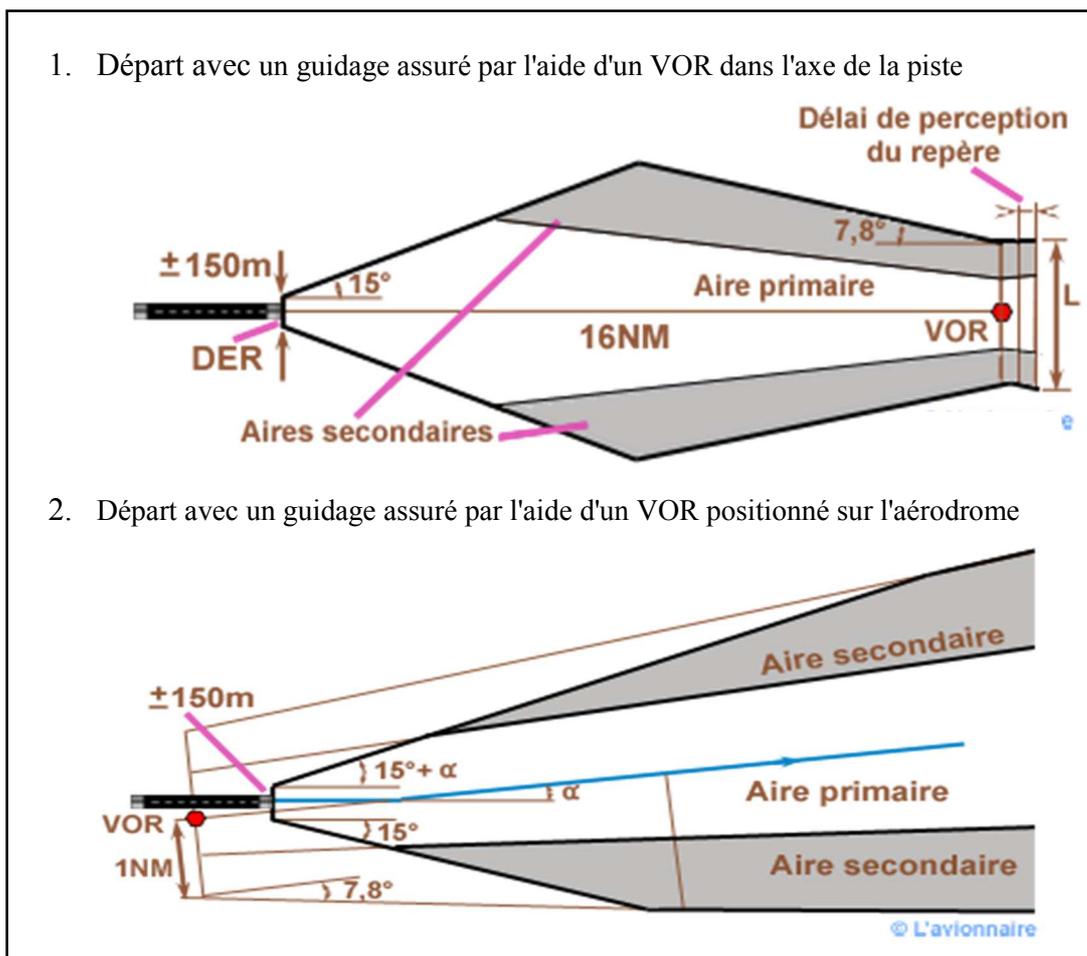


Figure 1.5 : départ en ligne droite avec guidage assuré par un VOR

1.7.2.2 Départ en virage :

Un départ comportant un virage de plus de 15° est un départ avec virage. Les virages peuvent être spécifiés à une altitude/hauteur, à un repère ou à une installation. Les aires prises en compte dans la conception de départs avec virage se définissent comme :

- ♦ l'aire de mise en virage ;

◆ l'aire de virage.

Il y a quatre genres de virage qui peuvent être prescrits :

- a) virage à un point de cheminement par le travers ;
- b) virage à un point de cheminement à survoler (qui correspond à un virage à un TP désigné) ;
- c) virage à une altitude/hauteur ;
- d) virages de rayon fixé (RF).

• **Type de pente à publier :**

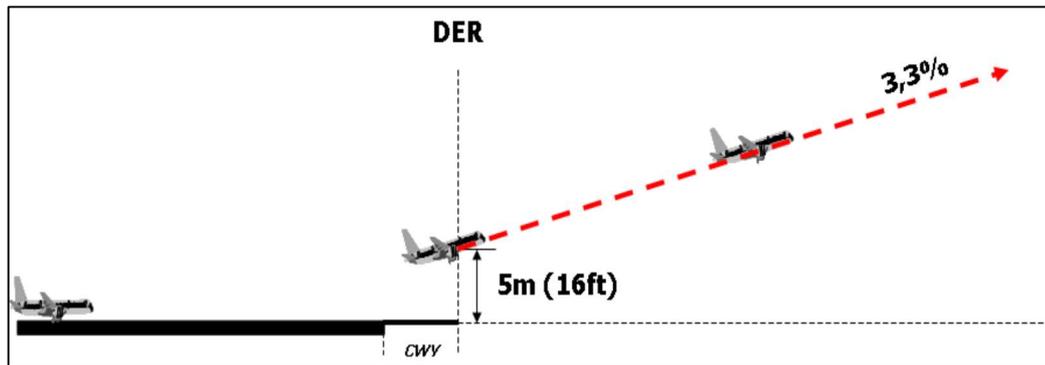


Figure1.6 : Pente minimale de départ

Tous les aéronefs sont supposés monter au départ, tous moteurs en fonctionnement, selon une pente d'au-moins 3.3%.

Une pente est toujours associée à une trajectoire de départ, 3 types de pentes de départ peuvent être publiés :

- pente minimale théorique de montée de 3.3 % utilisées lors de l'étude de franchissement des obstacles ;
- pente publiée afin de permettre d'assurer des séparations stratégiques ;
- pentes supplémentaires publiées pour des besoins particuliers (nuisances, franchissement d'obstacle...).

1.8 Procédures d'arrivées aux instruments :

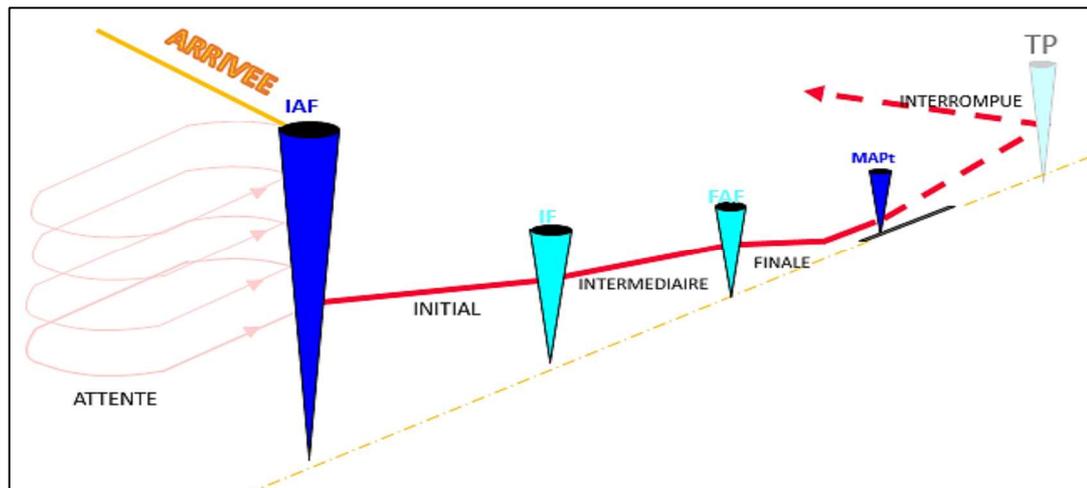


Figure 1.7 : segment d'arrivée. [2]

1.8.1 Définition :

La procédure d'arrivée est un segment de transition entre la phase de croisière et l'approche qui permet de railler l'IAF.

1.8.2 Route d'arrivée normalisée aux instruments (STAR) :

1.8.2.1 Définition :

Route publiée désignée suivie conformément aux règles de vol aux instruments (IFR), reliant un point significatif, depuis la structure en route jusqu'au repère d'approche initiale. Le début de la route d'arrivée est suivant les cas :

- a) s'il n'existe pas d'espace contrôlé associé à la procédure :

Le dernier repère en route, s'il est situé à moins de 25NM de l'IAF, sinon le point situé à 25NM de l'IAF sur la route d'arrivée.

- b) s'il existe une espace contrôlé associé à la procédure :

La limite de cet espace ou le repère le plus proche possible de cette limite.

Types de trajectoires :

- trajectoire rectiligne
- trajectoire curviligne

Construction des aires :

STAR longue :

Est une trajectoire d'arrivée qui mesure plus de 25NM depuis le premier point d'arrivée jusqu'à l'IAF

Trajectoire rectiligne :

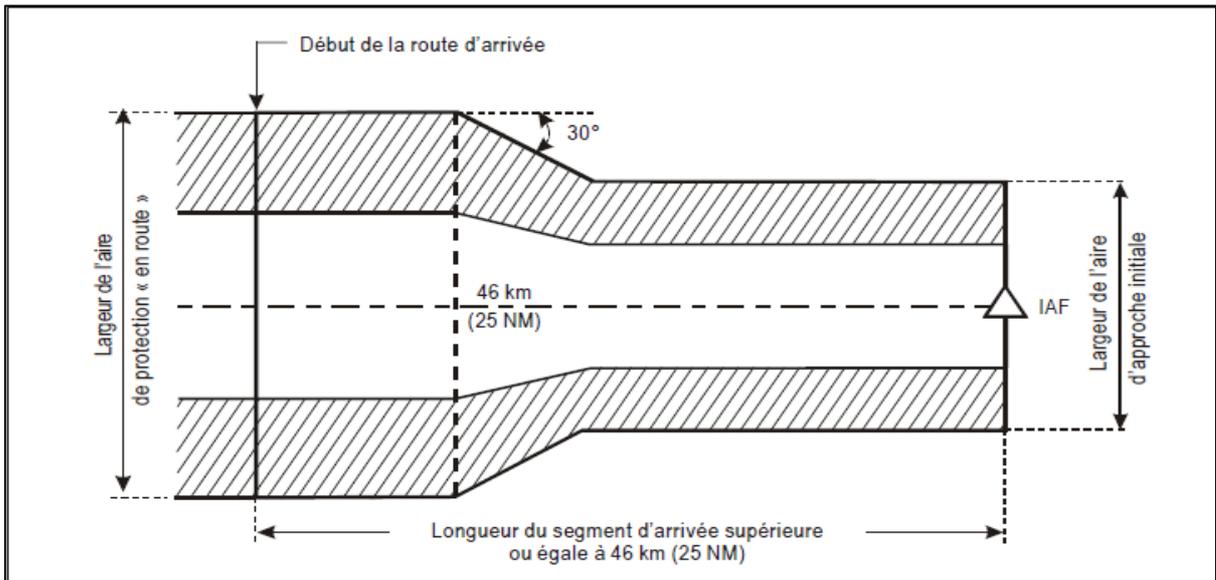


Figure 1.8 : Aire de protection associée à une STAR longue en suivant une trajectoire rectiligne.

- **Trajectoire curviligne :**

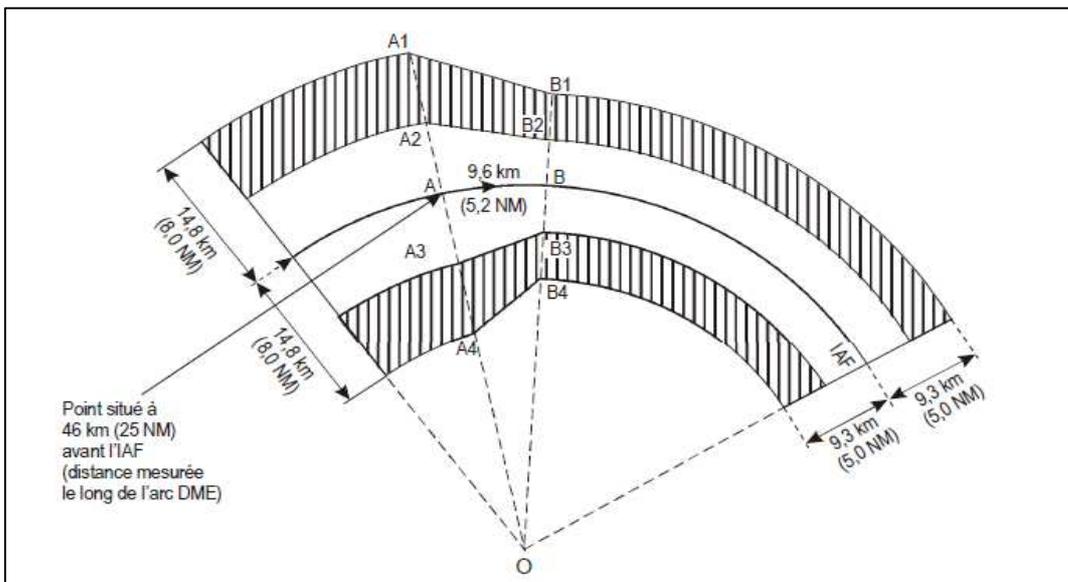


Figure 1.9 : aire de protection associée à une STAR longue en suivant une trajectoire curviligne

STAR courte :

Est une trajectoire d'arrivée qui mesure 25NM 46km ou moins, depuis le premier point d'arrivée jusqu'à l'IAF

Trajectoire rectiligne :

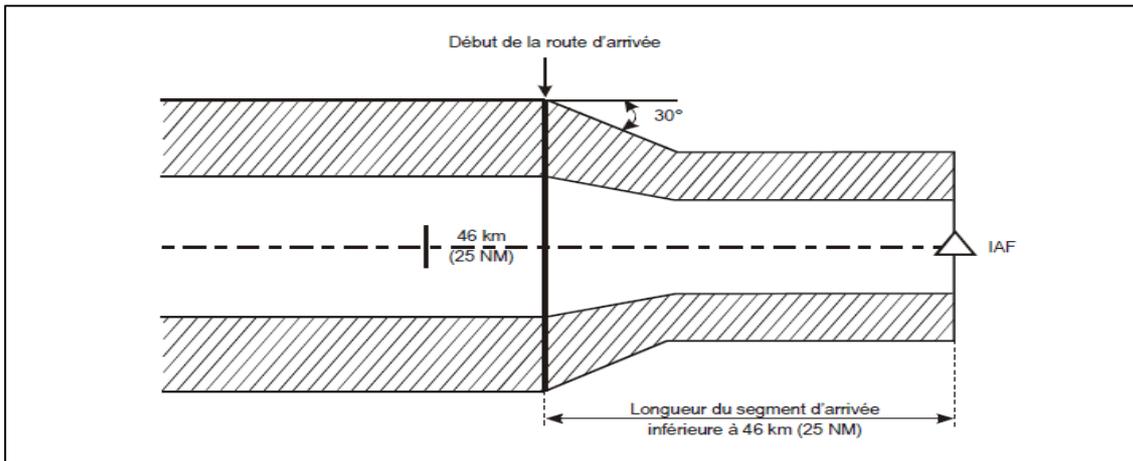


Figure 1.10 : Aire de protection associée à une STAR courte en suivant une trajectoire rectiligne

Trajectoire curviligne :

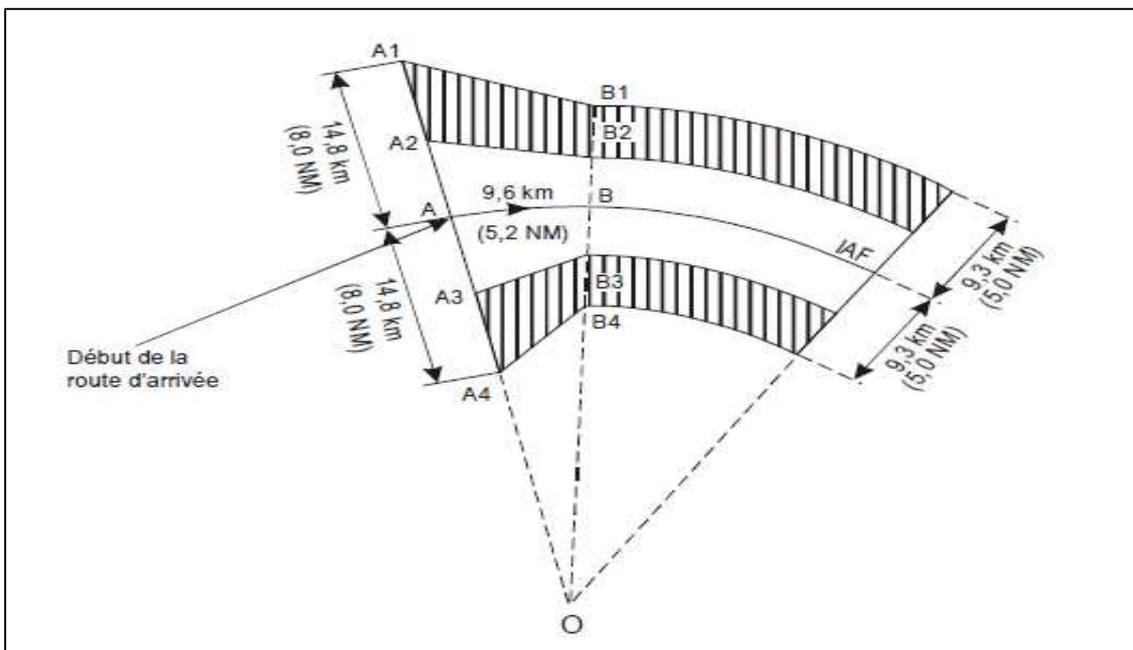


Figure 1.15 : Aire de protection associée à une STAR courte en suivant une trajectoire curviligne.

Arrivée omnidirectionnelle ou par secteur :

Elle englobe les arrivées de toutes les directions, centrée sur un moyen de radionavigation de rayonnement omnidirectionnel et d'une portée de plus de 30NM. Compte tenu des altitudes minimales de secteur

(MSA) ou des altitudes d'arrivée en région terminale (TAA) Ces aires sont montrées telles qu'elles sont illustrées sur la figure ci-après :

Altitudes minimales de secteur MSA :

Les altitudes minimales de secteur assurent, pour les arrivées à l'intérieur du secteur défini et sur une distance de 25 NM par rapport au moyen spécifié, une marge minimale de 300 m (984 ft) par rapport aux obstacles. Ces altitudes déterminent le niveau le plus bas utilisable dans la phase d'arrivée.

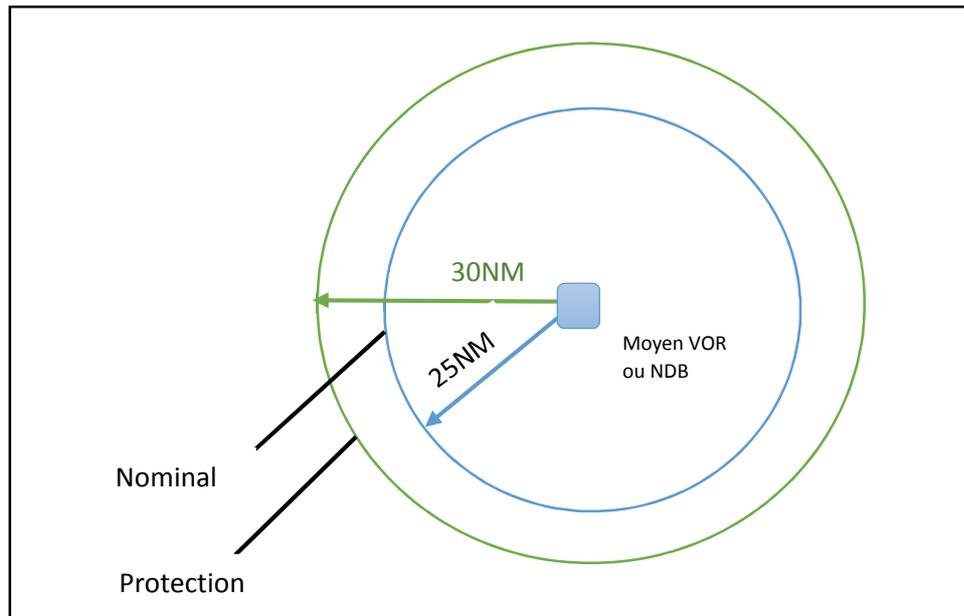


Figure 1.15 : sectorisation

L'altitude minimale de secteur (MSA) est calculée de la façon suivante :

$MSA = \max(Alt\ Obs + MFO)$, ou la MFO est de 300 m, et varie en région montagneuse selon le relief. (Voir tableau 1.1)

Altitudes d'arrivée en région terminale (TAA)

Pour les procédures RNAV en T ou en Y, les aires d'arrivée en région terminale (TAA) sont représentées par des secteurs avec pour chacun d'eux :

- l'emplacement de l'IAF avec son indicatif ;
- l'emplacement du repère intermédiaire (IF) ;
- les limites latérales (arc de cercle avec son rayon et son centre, et les segments avec leur orientation) ;
- l'altitude minimale.

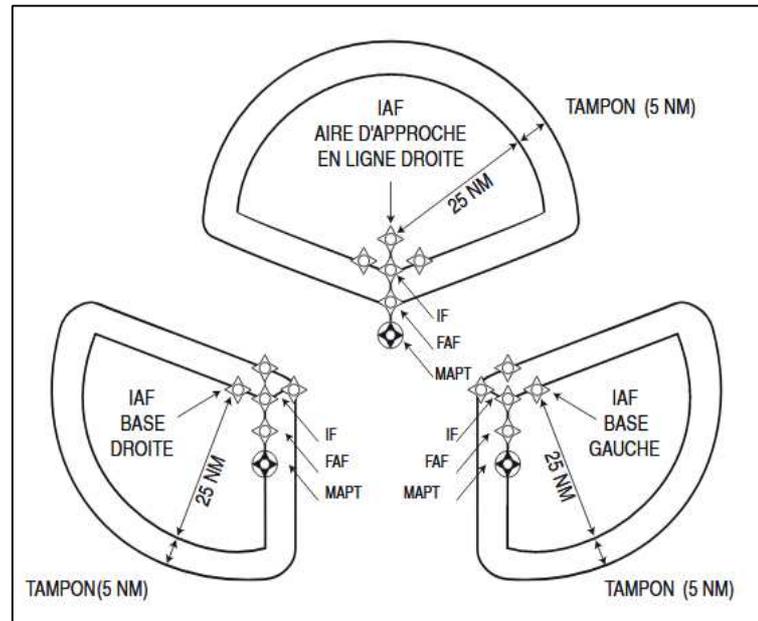


Figure 1.21 : configuration TAA en Y

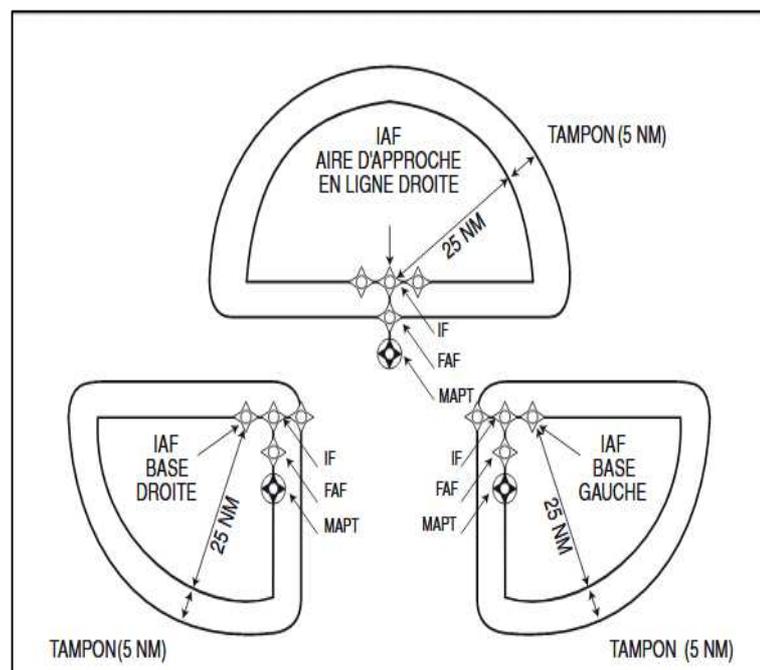


Figure1.22 : Configuration TAA en T

1.8 Procédure d'attente :

Pour diverses raisons, un aéronef peut être amené à attendre. Un circuit d'attente en forme d'hippodrome est prévu à cet effet. Le repère d'attente coïncide en général avec l'IAF (ou l'un des IAF si la procédure en comporte plusieurs).

Des circuits d'attentes peuvent être prescrits dans les phases de vol en route, à l'arrivée, en approche initiale ou à l'issue d'une approche interrompue.

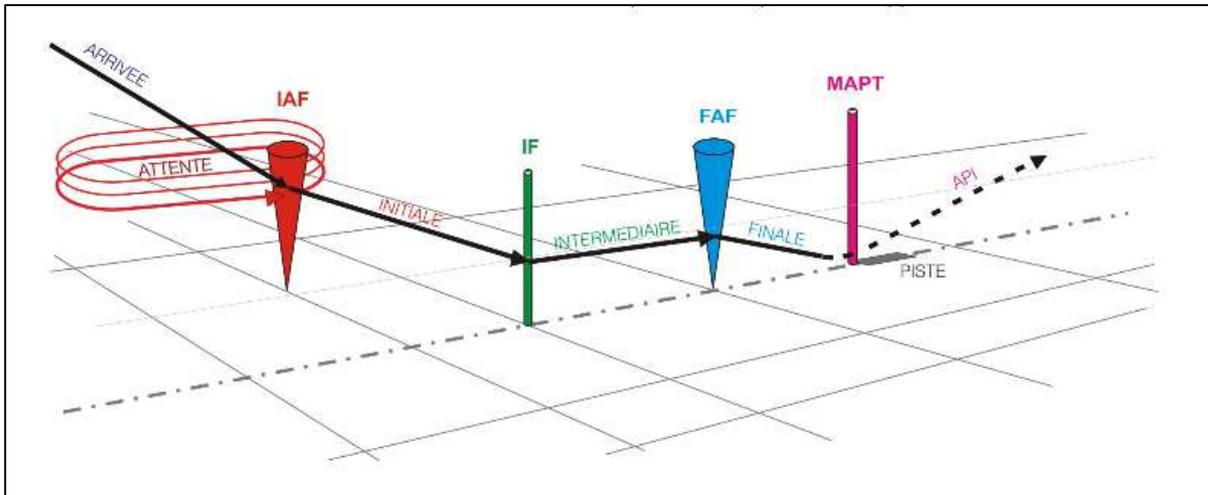


Figure 1.20 : procédure d'attente

1.8.1 Définition :

L'attente est par définition une manœuvre destinée à attendre ; elle est effectuée, lorsque c'est nécessaire, afin de rester dans un volume d'espace aérien spécifié selon un circuit en hippodrome formé de différents niveaux de vol séparés de 1000 ft ; en attendant une autorisation du contrôleur d'atterrissage

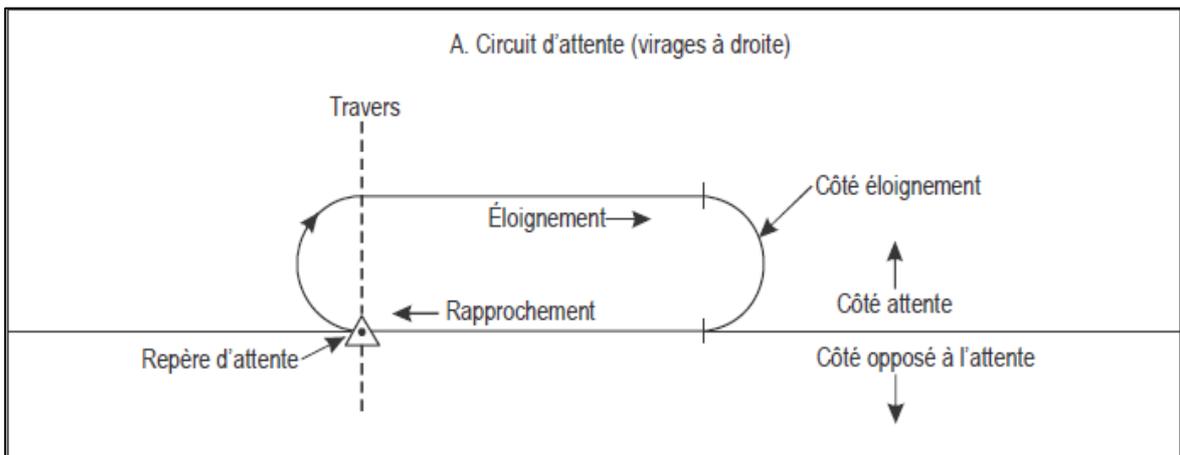


Figure1.21 : circuit d'attente virage à droite

1.8.2 Forme et terminologie :

L'hippodrome d'attente est formé de la façon suivante :

- ❖ après la verticale du repère sur lequel est basé le circuit, virage de 180° dans le sens spécifié.
- ❖ éloignement, pendant le temps prescrit ou éventuellement jusqu'à un point de repère secondaire
- ❖ virage de retour pour intercepter et suivre la trajectoire de rapprochement.

Types d'attente :

Le type d'attente sera distingué par rapport aux :

- **Type d'éloignement :**
 - Eloignement en distance ;
 - Eloignement en temps.
- **La nature du point d'attente (point de base) :**
 - Verticale installation ;
 - Verticale intersection -2 RDL ;
 - RDL/distance DME ;
 - RDL/distance de vol.

Les types d'attentes mentionnées précédemment sont résumés dans les figures suivantes :

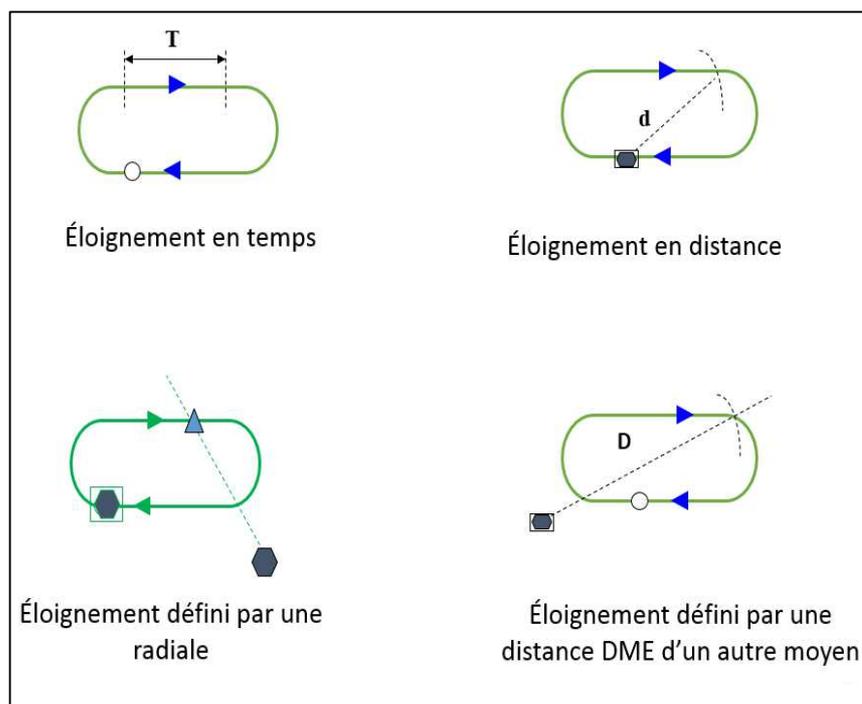


Figure1.25 : les types d'attentes verticale installation

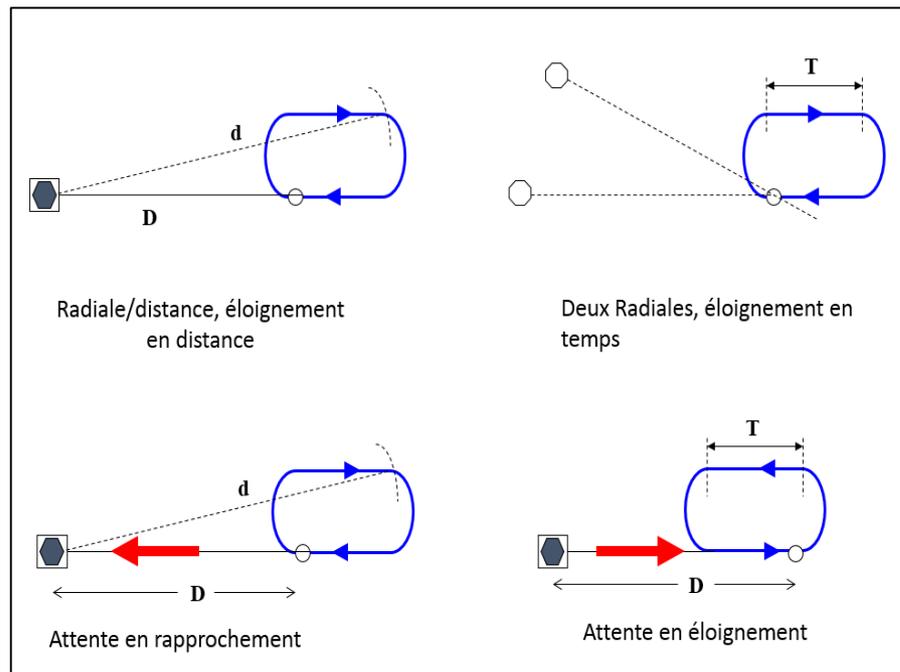


Figure 1.25 : types d'attente verticale intersection []

1.8.3 Types d'entrées :

Quelle que soit la trajectoire de ralliement, l'entrée en attente commence en général au survol du repère d'attente et s'effectue en respectant :

- une vitesse indiquée maximale (celle spécifiée pour l'attente) ;
- une altitude minimale (l'altitude minimale d'attente) et une altitude maximale (Z_p spécifiée)
- une méthode d'entrée exposée ci-dessous.

La description des entrées donnée ci-après suppose une attente orientée à droite et un vent nul.

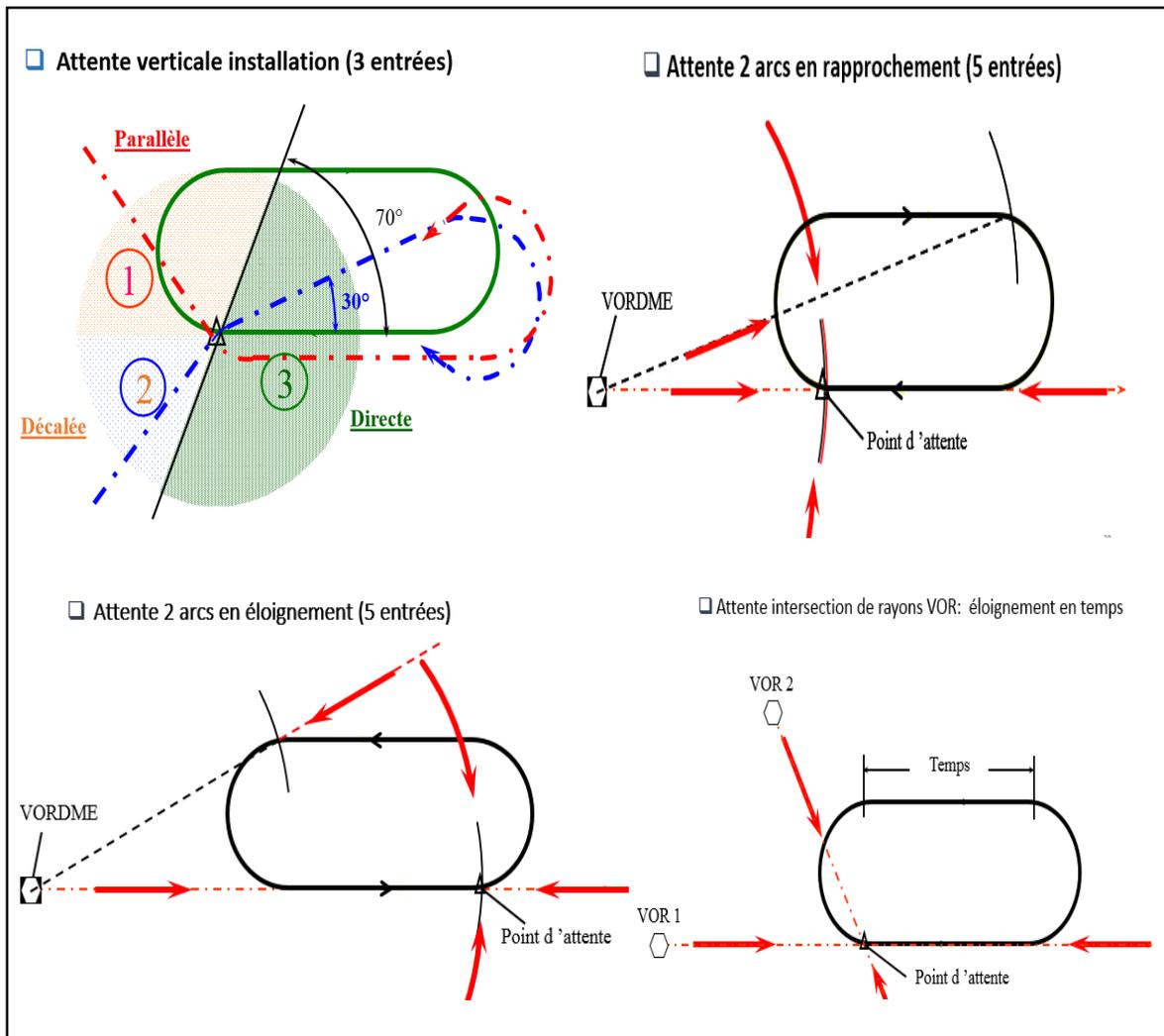


Figure 1.22 : types d'entrées dans une attente []

1.8.4 Aire de protection :

Les paramètres qui suivent sont pris en considération lors de la conception des aires de protection d'attente :

- ✓ Le repère d'attente ; point de base ;
- ✓ Type d'éloignement (en temps ou en distance) ;
- ✓ Sens de virage (en rapprochement ou en éloignement) ;
- ✓ Altitude pression maximale $Z_{p_{max}}$;
- ✓ Procédure d'entrée ;
- ✓ Vitesse indiquée (selon la catégorie d'aéronef) ;
- ✓ Température.

La figure suivante illustre l'aire de protection de l'attente :

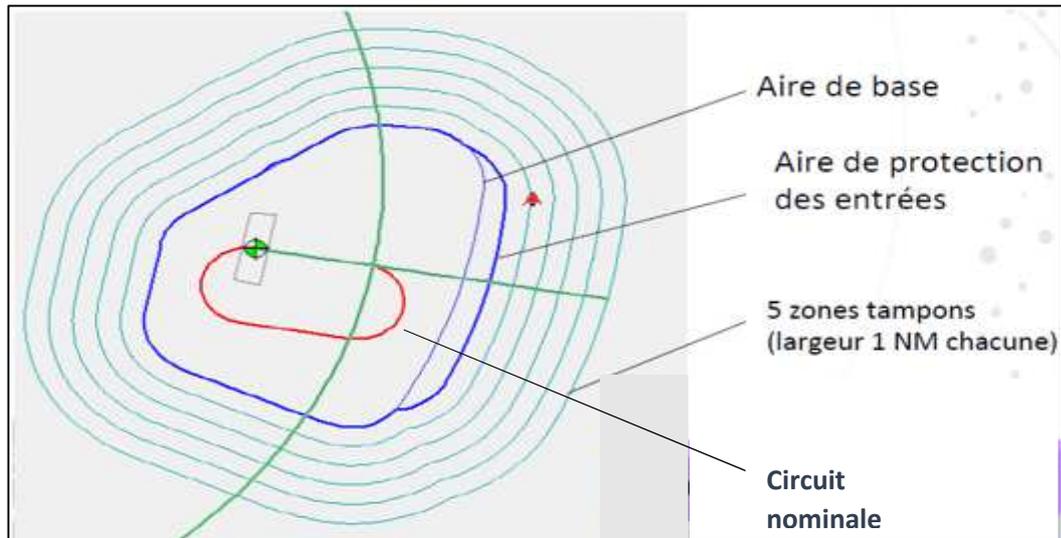


Figure 1.23 : Aire de protection d'une attente []

1.8.5 Altitude minimale attente :

$$ALT_{min\ Attente} = MAX (ALT\ Obs + MFO)$$

1.8.5.1 MFO : La MFO est variable en fonction de l'aire de protection d'attente :

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Aire de base | 300 m (984 ft) |
| Aire de protection des entrées | 300 m (984 ft) |
| 1 ère zone tampon | 300 m (984 ft) |
| 2 ème zone tampon | 150 m (492 ft) |
| 3 ème zone tampon | 120 m (394 ft) |
| 4 ème zone tampon | 90 m (294 ft) |
| 5 ème zone tampon | 60 (197 ft) |

1.8.5.2 MFO en fonction du relief :

| | |
|----------------------|-------|
| Moins de 900 m | 300 m |
| Entre 900m et 1500 m | 450 m |
| Au-dessus de 1500 m | 600 m |

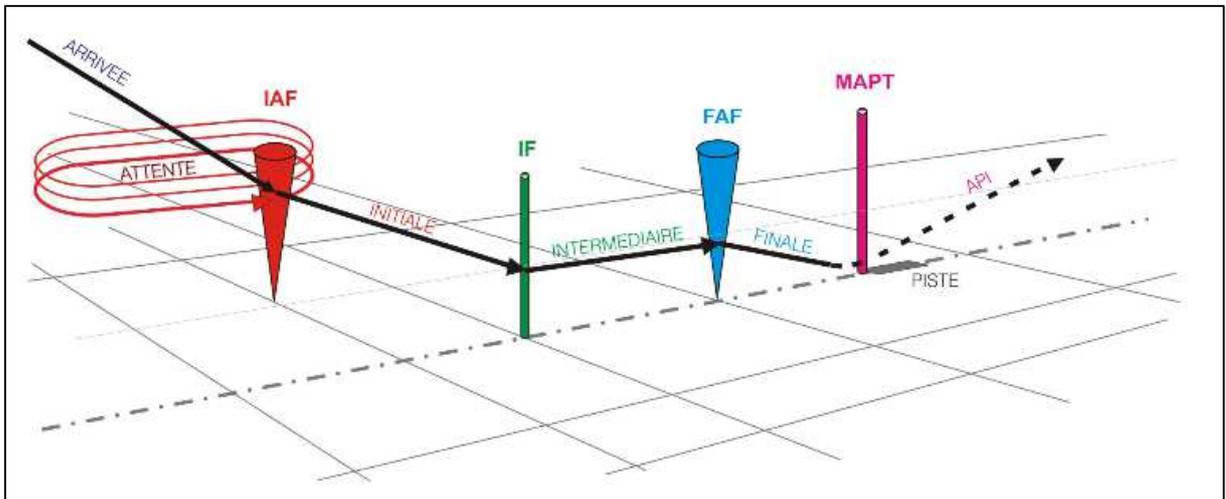
NB : Après calcul, l'altitude minimale d'attente est arrondie au multiple de 50m (100 ft). [1]

1.9 Procédure d'approche aux instruments :

1.9.1 Définition :

La procédure d'approche d'un avion en régime de vol aux instruments définit les trajectoires et hauteurs à suivre par l'appareil avant son atterrissage. Elle est la suite de la procédure d'arrivée (ou STAR).

Cette procédure peut être *conventionnelle* si elle utilise des stations au sol de type NDB, VOR ou ILS ou *RNAV* si elle utilise la navigation de surface. Dans les deux cas, elle peut être de *précision* ou de *non-précision* selon qu'elle dispose d'un dispositif de localisation dans le plan vertical ou non.



La suite de ce chapitre comprend quatre thèmes (seuls les cas les plus fréquents y sont étudiés) :

- approches initiale, intermédiaire et finale ;
- approche interrompue ;
- manœuvre à vue ;
- minimums d'aérodromes/hélistations.

1.9.2 Le segment d'approche initiale :

Début : IAF ;

Fin : IF.

Permet de se placer sur l'axe de percée à une altitude satisfaisante. sa pente varie entre 4% (optimum) et 8% (maximum).

1.9.3 Le segment d'approche intermédiaire :

Début : IF

Fin : FAF ou FAP (Approche classique ou de précision)

Permet de se préparer à l'approche finale

1.9.4 Le segment d'approche finale :

Début : FAF ou FAP

Fin : MAPT ou DH

Permet la descente en vue de l'atterrissage. La pente en approche finale doit respecter les critères suivants :

- pente minimale/optimale : 5.2 %
- pente maximale : 6.5 % (aéronefs de Cat. A et B), 6.1 % (aéronefs de Cat. C, D et E)

1.9.5 Le segment d'approche interrompue :

Toute procédure comporte une trajectoire d'approche interrompue utilisée lorsqu'il s'avère impossible de poursuivre l'approche jusqu'à l'atterrissage. Cette trajectoire prend fin à l'altitude/hauteur suffisante pour permettre :

- L'exécution d'une nouvelle approche ; ou
- Le retour à un circuit d'attente désigné ; ou
- le raccordement à la phase en route.

L'étude de la procédure d'approche interrompue retient l'hypothèse d'une pente minimale de montée fixée à 2,5 %. Quelles que soient les pentes supplémentaires calculées, les minimums calculés avec une pente API = 2,5 % sont publiés.

1.10 Conclusion :

La conception des procédures de vol aux instruments doit respecter les critères d'élaboration mentionnées dans le DOC-OACI 8168 (procédures pour les services de la navigation – Exploitation technique des aéronefs) Volume I et II (Procédures de vol – Construction des procédures de vol à vue et de vol aux instruments).

CHAPITRE 2

LE CONCEPT PBN

CHAPITRE 2

LE CONCEPT PBN

2.1 Introduction :

Les systèmes de navigation de surface ont évolué de manière analogue aux routes et aux procédures classiques basées sur des installations au sol. Pour les vols intérieurs, les premiers systèmes utilisaient le radiophare omnidirectionnel très haute fréquence (VOR) et le dispositif de mesure de distance (DME) pour établir la position de l'aéronef, alors que pour les vols océaniques, des systèmes de navigation par inertie (INS) étaient utilisés.

Dans la plupart des cas, un système de navigation de surface spécifique a été défini et ses performances ont été évaluées par une combinaison d'analyses et d'essais en vol. Dans certains cas, il a été nécessaire d'identifier individuellement les modèles d'équipement qui pouvaient être utilisés à l'intérieur de l'espace aérien concerné.

Ces exigences prescriptives ont entraîné des retards dans l'introduction des nouvelles fonctions des systèmes de navigation de surface et des coûts plus élevés pour le maintien de la certification appropriée. Éviter ces retards et ces coûts est le but dans lequel a été élaboré le concept de PBN

Le présent chapitre va introduire le concept de la navigation basée sur les performances qui a apporté un changement le plus important en matière de conception de l'espace aérien, les minimums d'espacement, l'espacement entre les routes, l'accessibilité aux aéroports, la conception des procédures et la gestion de la circulation aérienne (ATM).

Ces changements permettront au système de navigation aérienne d'évoluer continuellement et de manière notable en améliorant la sécurité globale et l'efficacité opérationnelle.

2.2 Historique :

Le Comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne (FANS) avait élaboré le concept alors désigné en anglais par l'expression *required navigation performance capability* (RNPC) (traduit par l'expression « qualité de navigation requise »).

Le Groupe d'experts sur l'examen de la notion générale d'espace (RGCSP) fut chargé d'en poursuivre l'élaboration. En 1990, ayant noté que les fonctionnalités et les performances sont des aspects nettement différenciés et que la planification de l'espace aérien dépend plus de performances mesurables que de fonctionnalités nominales, le Groupe RGCSP a modifié l'appellation RNPC, ainsi devenue en anglais « *requière navigation performance* » (RNP), l'expression française « qualité de navigation requise » étant conservée avec ce nouveau sigle.

Le Groupe RGCSP a par la suite poursuivi l'élaboration du concept de RNP en l'élargissant à un énoncé des performances de navigation prescrites pour évoluer dans un espace aérien défini. Il a été proposé qu'un type spécifié de RNP définisse les performances de navigation de tous les usagers à l'intérieur d'un certain espace.

Le concept de la PBN est une initiative mondiale lancée par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Au cours de la 37^e assemblée générale de l'OACI, une résolution a été adoptée, incitant fortement à la mise en œuvre du concept de la PBN

Le concept de navigation fondée sur les performances a été introduit en 2008 et expliqué dans le Manuel de la navigation fondée sur les performances (Doc 9613). Il a remplacé celui de la qualité de navigation requise (RNP).

2.3 Origine de la PBN :

La RNAV basé sur le concept RNP OACI telle qu'elle est défini dans «le manuel RNP » pouvait être interprété sous différents façons. En effet, un état ou industriel peut choisir pour une même opération :

RNP x, x variable ;

RNP avec ou sans intégrité ;

Spécification de fonction RNAV très diverses.

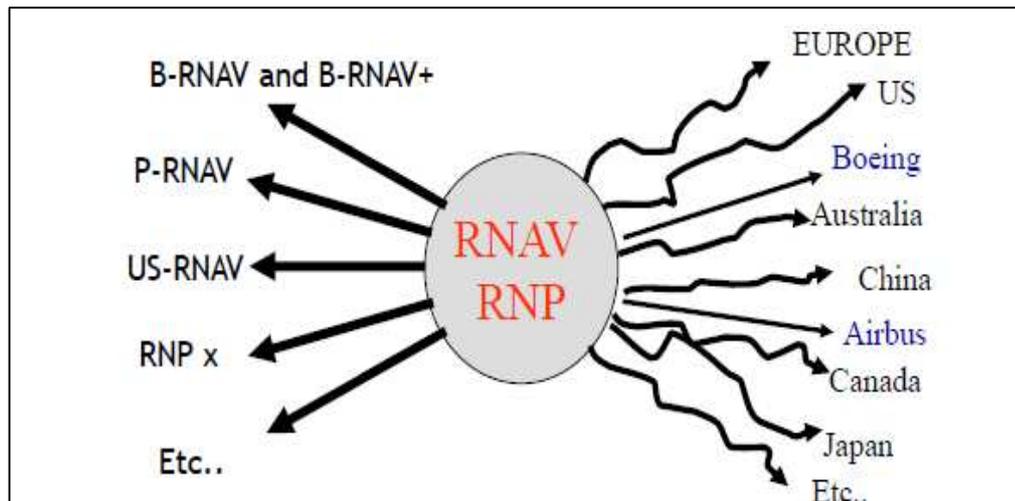


Figure 2.1 : le concept RNP [2]

Cette situation présentait une forte contrainte pour l'aviation, c'est pour cela que l'OACI a décidé, suite à la 11^{ème} conférence de la navigation aérienne (2004), de remplacer le concept RNP du manuel RNP par le concept PBN qui a apporté les résultats suivants :

- La création d'un Study Group (RNPSORSG) spécialement dédié :
- L'apparition d'un nouveau document de référence : Performance Based Navigation Manuel PBN (Doc 9613) publié depuis 2007.

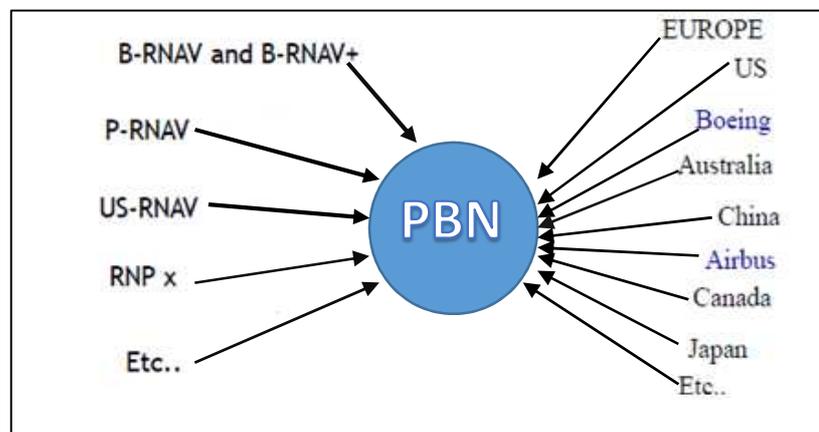


Figure2.2 : Le concept PBN

Le concept PBN remplace le concept RNP.

2.3.1 Mise en œuvre du concept PBN :

Depuis 2007, le manuel PBN de l'OACI est le nouveau document de référence accepté pour tous les acteurs. Le concept PBN a été mis en place dans le but d'harmoniser les différents développements issus des compagnies aériennes, des constructeurs et des ANSPs.

La mise en œuvre du concept de la navigation fondée sur les performances permettra par l'application de minima de séparation réduits, d'accroître la capacité, d'améliorer l'efficacité, apportant des avantages aux exploitants dont les aéronefs répondent aux spécifications de performance.

En vue d'une utilisation optimale de l'espace aérien, tous les pays doivent procéder à la mise en place progressive du PBN dans leur espace aérien et publier un plan de déploiement du PBN.

2.3.2 Contenu du manuel PBN :

Le manuel PBN contient deux volumes qui sont définis comme suit :

Volume I : Concept et éléments d'orientations.

- **Partie A** : Concept de la navigation fondée sur les performances ;
 - Chapitre 1 : Description de la navigation fondée sur les performances (PBN) ;*
 - Chapitre 2 : Concepts d'espace aérien ;*
 - Chapitre 3 — Utilisations par les divers acteurs de la navigation fondée sur les performances (PBN).*
- **Partie B** : Eléments d'orientation pour la mise en œuvre.
 - Chapitre 1 : Introduction aux processus de mise en œuvre*
 - Chapitre 2 : Processus 1 : Identification de la spécification de navigation OACI pour la mise en œuvre ;*
 - Chapitre 3 : Processus 2 : Planification de la validation et de la mise en œuvre.*

Volume II : Mise en œuvre de la RNAV et de la RNP.

- **Partie A** : GÉNÉRALITÉS.
 - Chapitre 1 : Introduction ;*
 - Chapitre 2 : Surveillance des performances et alerte à bord ;*
 - Chapitre 3 : Considérations relatives à l'évaluation de la sécurité ;*
 - Chapitre 4 : Surveillance des services de navigation*
- **Partie B** : MISE EN OEUVRE DES OPÉRATIONS RNAV.
 - Chapitre 1 : Mise en œuvre de la RNAV 10 ;*
 - Chapitre 2 : Mise en œuvre de la RNAV 5 ;*
 - Chapitre 3 : Mise en œuvre de la RNAV 1 et la RNAV 2 ;*
- **Partie C** : MISE EN OEUVRE DES OPÉRATIONS RNP.

- Chapitre 1* : Mise en œuvre de la RNP 4 ;
Chapitre 1 : Mise en œuvre de la RNP 2 ;
Chapitre 3 : Mise en œuvre de la RNP 1 ;
Chapitre 4 : Mise en œuvre de la RNP avancée (A-RNP) ;
Chapitre 5 : Mise en œuvre de la RNP APCH ;
Chapitre 6 : Mise en œuvre de la RNP AR APCH ;
Chapitre 7 : Mise en œuvre de la RNP 0,3.

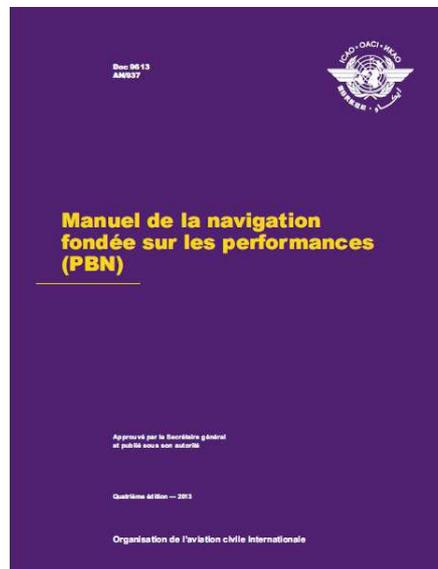


Figure 2.3 : Le Manuel PBN Doc 9613 OACI

2.4 Principe de La navigation fondée sur les performances (PBN) :

Est définie comme étant un type de navigation de surface (RNAV) faisant l'objet d'exigences de performances de navigation, prescrites dans des spécifications de navigation. Une spécification de navigation est définie comme étant un ensemble de conditions qu'un aéronef et son équipage doivent remplir pour effectuer un vol en PBN dans un espace aérien défini.

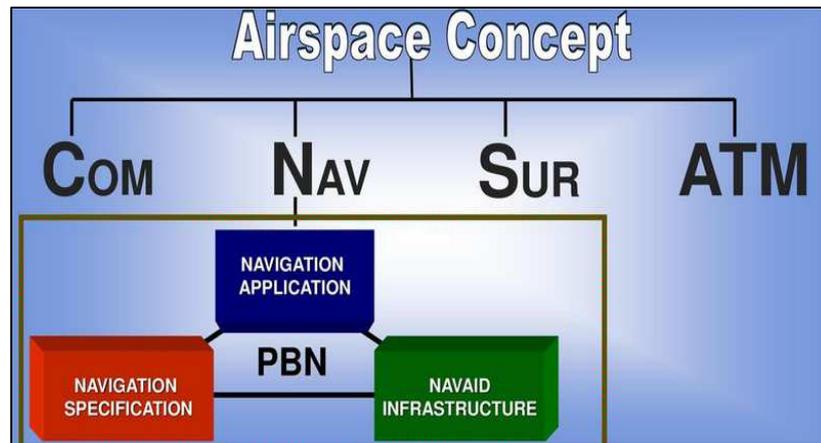


Figure 2.4 : le concept de l'espace aérien [3]

Il y a deux types de spécifications de navigation :

- **Spécification RNAV** : Spécification de navigation qui ne comporte pas d'obligation de surveillance et d'alerte à bord ;
- **Spécification RNP** : Spécification de navigation qui comporte une obligation de surveillance et d'alerte à bord.

Le concept PBN est de plus en plus vu comme la solution la plus pratique pour réguler le domaine des systèmes de navigation, actuellement en augmentation. Elle définit le cadre globale des besoins harmonisés de la navigation moderne, qui n'existait pas auparavant ou qui n'existait qu'à l'échelon régional. Elle sous-entend les applications actuelles et futures des technologies de la navigation de surface offrent de nombreux avantages.

Les avantages de cette approche résident dans le fait qu'elle fournit clairement des approbations opérationnelles permettant d'exécuter des trajectoires de vol prévisibles et harmonisées pour utilisation plus efficace des aéronefs en autorisant les montées et les descentes continues. Ceci permet aussi l'amélioration de la sécurité notamment pendant la phase d'approche grâce à une réduction des impacts sans perte de contrôle (CFIT), une grande capacité de l'espace aérien, une économie sur la consommation de carburant, et la résolution des problèmes environnementaux.

2.5 Terminologie du Contexte de la PBN :

D'une manière générale le concept PBN permet d'effectuer un passage d'une approche limitée fondée sur la précision de navigation vers une approche plus étendue pour les performances requises en termes de précision, d'intégrité, de continuité et de disponibilité, ainsi que des descriptions des réalisations de ses performances en termes d'équipements à bord et d'exigences pour l'équipage.

S'appuyant sur l'utilisation d'un système de navigation de surface (RNAV), ce concept est un des éléments habilitants d'un concept d'espace aérien, dont les communications, les surveillances ATS et ATM sont aussi des éléments essentiels.

Il y a deux composantes dont les apports sont essentiels pour l'application de la PBN :

1. L'infrastructure d'aide à la navigation (au sol et dans l'espace) permettant que le système fonctionne ;
2. Les exigences énoncées dans la spécification de navigation appropriée.

L'application de ces composantes aux routes ATS et aux instruments dans le contexte du concept d'espace aérien a pour résultat une troisième composante :

3. L'application de navigation.

Où :

- *Infrastructure d'aides à la navigation* : qui sont des aides de navigation, spatiales ou au sol, disponibles pour satisfaire aux exigences de la spécification de navigation
- *Spécification de navigation* : est l'ensemble de conditions à remplir par un aéronef et un équipage de conduite pour l'exécution de vols en navigation fondée sur les performances dans un espace aérien défini. Elle définit les performances requises du système RNAV ainsi que tous besoins fonctionnels telle la possibilité d'exécuter des procédures à trajectoire courbe ou de suivre des routes décalées parallèles.

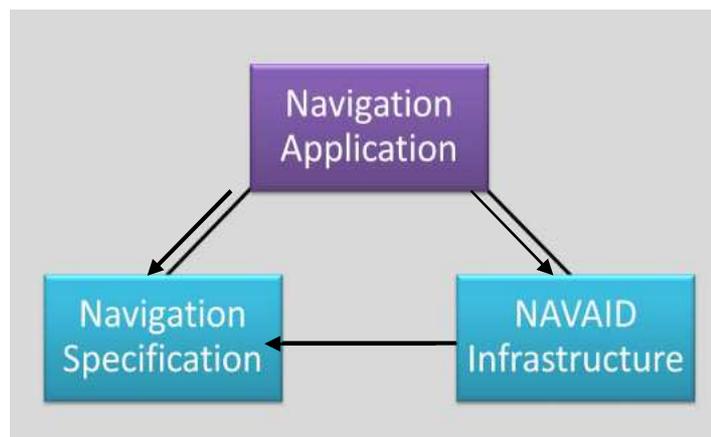


Figure 2.5 : les composants du concept PBN [3]

L'application de navigation consiste à l'utilisation d'une spécification de navigation et d'une infrastructure de navigation qui permet à un aéronef d'évoluer dans un espace désigné sur une route ou procédure avec un niveau de performance requis.

Exemple en région terminale :

- Spécification de navigation : RNAV 1(1NM of accuracy) (1NM de précision).
- Infrastructure de navigation : GNSS ou DME/DME.

L'infrastructure de navigation consiste en :

- ✓ Aide à la navigation :
 - Basés au sol : VOR et DME ;
 - Avec segment spatial (élément GNSS définis dans l'annexe 10).

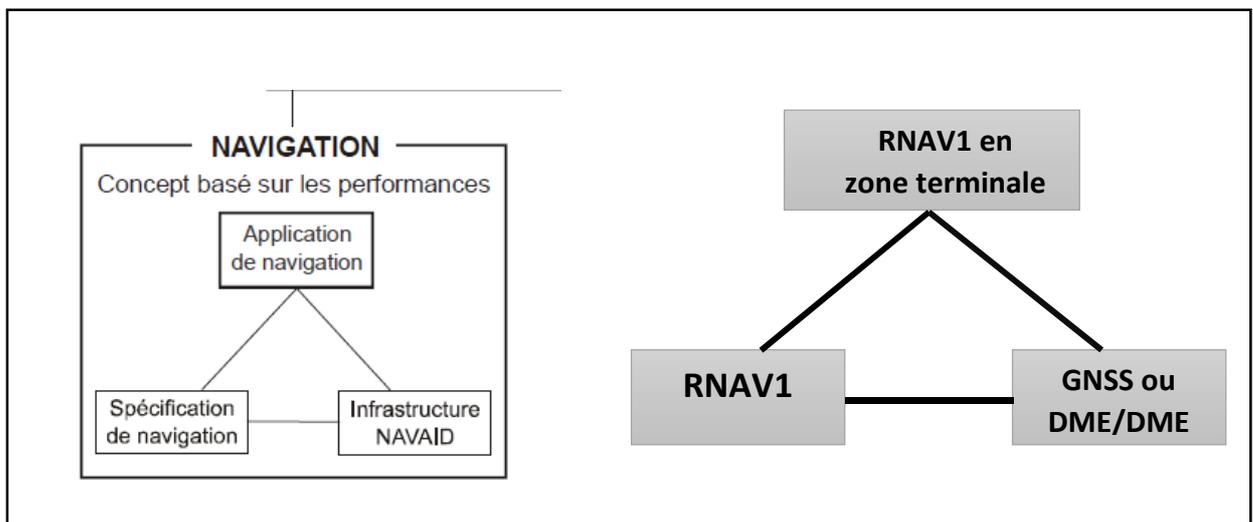


Figure 2.6 : Exemple des composants du concept PBN

2.8 La spécification de navigation :

Comme il a été mentionné dans le manuel PBN (Doc 9613 ; 2014), La spécification de navigation sert de base à un état pour élaborer ses documents d'approbation de navigabilité et d'approbation opérationnelle .Elle explique aussi en détail les performances requises du système RNAV en termes de précision, d'intégrité, de disponibilité et de continuité les fonctionnalités que le système RNAV doit posséder. Les capteurs (senseurs) de navigation qui doivent être intégrés dans le système RNAV, et les conditions à remplir par l'équipage de conduite [].ces derniers figurent dans le volume II du manuel cité ci-dessus.

La navigation basée sur les performances comporte deux types de spécifications de navigation :

- **Spécification de la performance de navigation requise (RNP)** : une spécification de navigation fondée sur la navigation de surface, avec fonction embarqué de

surveillance et d'alerte de la performance de bord (On board Performance Monitoring and Alerting Function), et qui est désigné par le préfixe RNP ; ex : RNP4, RNP APCH.

- **Spécification RNAV** : une spécification de navigation fondée sur la navigation de surface, sans fonction embarqué de surveillance et d'alerte de la performance de bord (On board Performance Monitoring and Alerting Function), et qui est désigné par le préfixe RNAV ; ex RNAV5, RNAV1

La spécification RNAV et RNP sont fondamentalement similaires. En effet, la principale différence entre elles est la fonction de la surveillance et alerte à bord en ce qui concerne les performances dont la RNP inclut cette obligation. Ces spécifications de navigation sont développées pour toutes les phases de vol de l'océanique à l'approche dont l'objectif est de standardiser.

$$RNP = RNAV + OPMA$$

La variable x fait référence à la précision latérale de navigation requise 95 % de temps de vol, ou autre désignateur (ex : RNAV 5).

La précision de navigation est exprimée par un chiffre (ex : RNAV 5, RNP0.3) qui représente l'écart latéral maximal de l'aéronef pendant 95% du temps de vol total.

Le manuel de l'OACI relatif à la navigation fondée sur les performances PBN explique en détail le concept de PBN en identifiant les relations entre applications RNAV et RNP ainsi que les avantages et les limitations du choix de l'une ou de l'autre comme de navigation requis pour un concept d'espace aérien. Il vise aussi à donner des éléments d'orientation pratiques aux états, fournisseurs de services de navigation aérienne et usagers de l'espace aérien, sur la façon de mettre en œuvre les applications RNAV et RNP, et la façon d'assurer que les exigences de performances sont appropriées pour l'application prévue.

Les applications utilisées ci-après sont les suivantes :

- **RNAV 10** : utilisée pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de la phase de croisière pour permettre des minimums de séparation latérale et longitudinale en espace aérien océanique ou éloigné.

- **RNAV 5** : utilisée pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de la phase de croisière en espace aérien continental.
- **RNAV 1 et 2** : utilisées pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de la phase de croisière, de SID, de STAR et d'approches jusqu'au FAF/FAP.
- **RNP 4** : utilisée pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de la phase de croisière pour permettre des minimums de séparation latérale et longitudinale en espace aérien océanique ou éloigné.
- **RNP 2** : utilisée pour appuyer des opérations RNP dans la phase de croisière en espace aérien océanique, éloigné ou continental.
- **RNP 1** : utilisée pour appuyer des opérations RNP dans le cadre de SID, de STAR et d'approches jusqu'au FAF/FAP sans surveillance ATS ou avec surveillance ATS limitée et en présence d'une circulation de densité moyenne à faible.
- **RNP avancée (ARNP)** : utilisée pour appuyer des opérations RNP dans la phase de croisière en espace aérien continental et dans le cadre de SID, de STAR et d'approches. L'ARNP impose les valeurs de précision de navigation suivantes : 0,3 NM en approche finale, 1 ou 2 NM dans la phase de croisière en espace aérien continental et 1 NM dans les SID, les STAR, les approches initiales/intermédiaires et les approches interrompues.
- **RNP 0,3** : utilisée pour appuyer les opérations RNP d'hélicoptères dans toutes les phases de vol, sauf l'approche finale.
- **RNP APCH** : utilisée pour appuyer des approches RNP aux minimums LNAV, LNAV/VNAV, LP et LPV.
- **RNP AR APCH** : utilisée pour appuyer des approches RNP, y compris dans le segment d'approche finale, qui suivent des segments rectilignes et/ou des segments à rayon fixe.

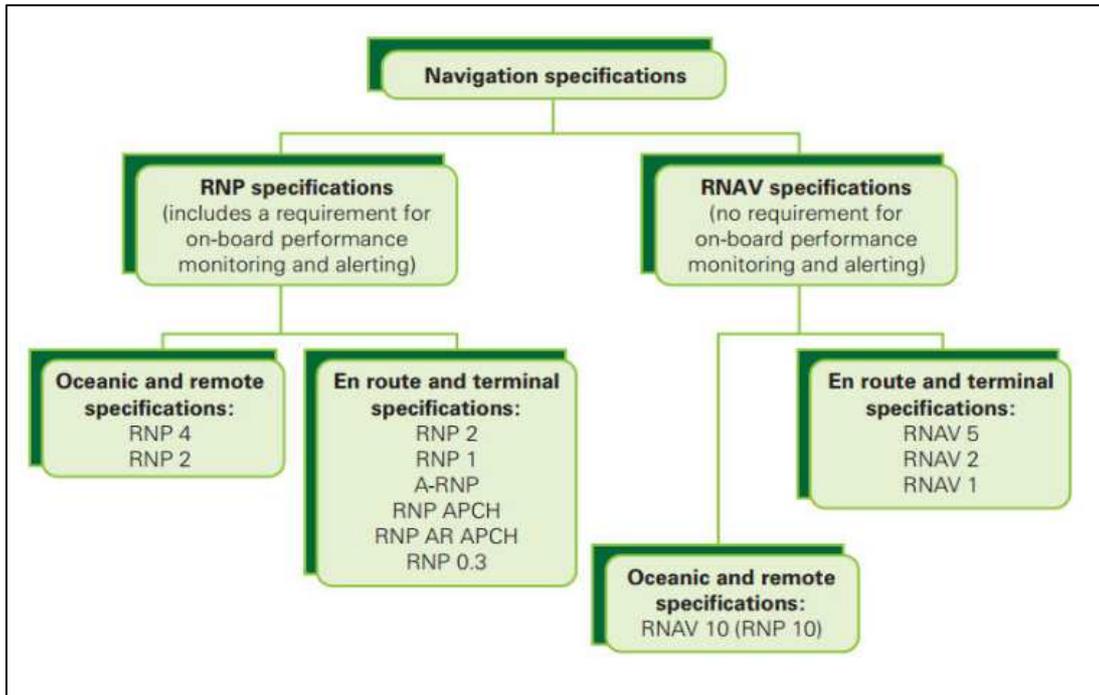


Figure 2.7 : Organigramme des spécifications de navigation [2]

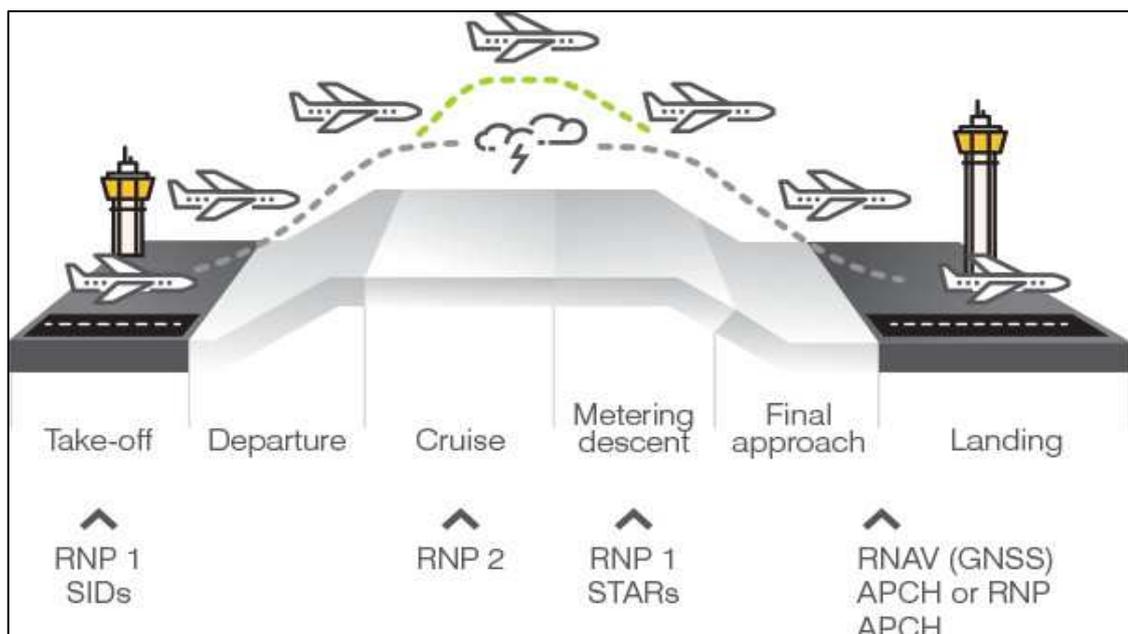


Figure 2.8 : les applications PBN dans les phases de vol []

2.6 Avantages de la PBN :

Le concept PBN, dans le contexte d'un système mondial de gestion du trafic aérien a été conçu pour répondre aux objectifs suivants :

- 1) Réduire la nécessité de maintenir des routes et des procédures à capteurs spécifiés, avec les couts y afférents ;
- 2) Eviter la nécessité de mettre au point des opérations à capteurs spécifiés à chaque évolution nouvelles des systèmes de navigation, ce qui serait prohibitif sur le plan des couts ;
- 3) Utiliser l'espace aérien d'une façon plus efficiente (choix de l'emplacement des routes , efficiences énergétiques, atténuation des bruit) ;
- 4) Indiquer plus clairement comment les systèmes RNAV sont utilisés ;
- 5) Faciliter le processus d'approbation opérationnelle pour les exploitants en permettant d'établir un ensemble limités de spécifications de navigation destinées à une utilisation mondiale .

2.7 Conclusion :

Le principe de la navigation basées sur les performances PBN met l'accent sur l'engagement des pays dans la voie de la modernisation de son espace aérien et l'amélioration des services fournis aux usagers de cet espace aérien.

En identifiant les relations entre applications RNAV et RNP ainsi que les avantages et les limitations du choix de l'une ou de l'autre comme mode de navigation requis pour un concept d'espace aérien, le manuel PBN vise à introduire des éléments d'orientation pratiques aux états, fournisseurs de service de navigation aérienne et usagers de l'espace aérien, sur la façon de mettre en œuvre les applications RNAV et RNP dans le pays sous forme d'un plan , et d'assurer que les exigences de performaces sont appropriées pour l'application prévue .

CHAPITRE 3

LA NAVIGATION DE SURFACE

CHAPITRE 3

LA NAVIGATION DE SURFACE

3.1 Historique :

En 1984, le groupe des experts de l'OACI traitait l'examen de la notion générale de l'espacement (RGCSP) qui a été chargé de l'élaboration des éléments indicatifs RNAV destinés à être utilisés dans tous les types d'espace aérien .

En 1985, la septieme réunion de navigation a convenu que le groupe européen de la planification de navigation aérienne (GEPNA) devrait poursuivre ses travaux en vue de l'introduction progressive de la RNAV dans la région d'europe.

En 1989, le bureau de l'OACI publiait le troisieme édition des éléments indicatifs sur l'application de la RNAV dans la region europe [].

En 1990, l'OACI publiait la premiere edition des elements indicatifs sur l'application de la RNAV au niveau mondial []

En 1993 la mise en place des premiers éléments d'un nouveau réseau européen de route principales adaptées aux principaux courants de trafic au-dessus du FL290.cette structure de réseau s'appuie sur la mise en œuvre de la navigation de surface.

3.2 Methode de navigation :

Il existe différents méthodes de navigation :

- *Navigation conventionnelle :*
 - VOR
 - NDB
 - ILS, MLS
- *Guidage radar*
- *Navigation de surface « RNAV » :*
 - VOR/DME
 - DME/DME
 - GNSS

-INS

3.3 Definition du systeme RNAV:

La RNAV est définie comme une méthode de navigation permettant le vol de l'aéronef sur n'importe quelle trajectoire voulue dans les limites de la couverture des aides de navigation à référence sur station, ou dans les limites des possibilités d'une aide autonome, ou grâce à une combinaison de ces deux moyens. Ceci élimine la restriction imposée sur les routes et procédures conventionnelles là où les aéronefs doivent survoler des aides de navigation référencées, permettant ainsi souplesse opérationnelle et efficacité (voir **figure 2.3**) [1]

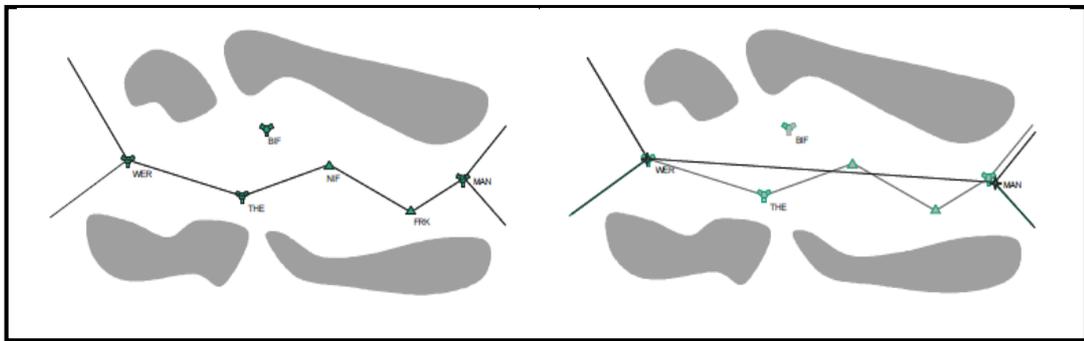
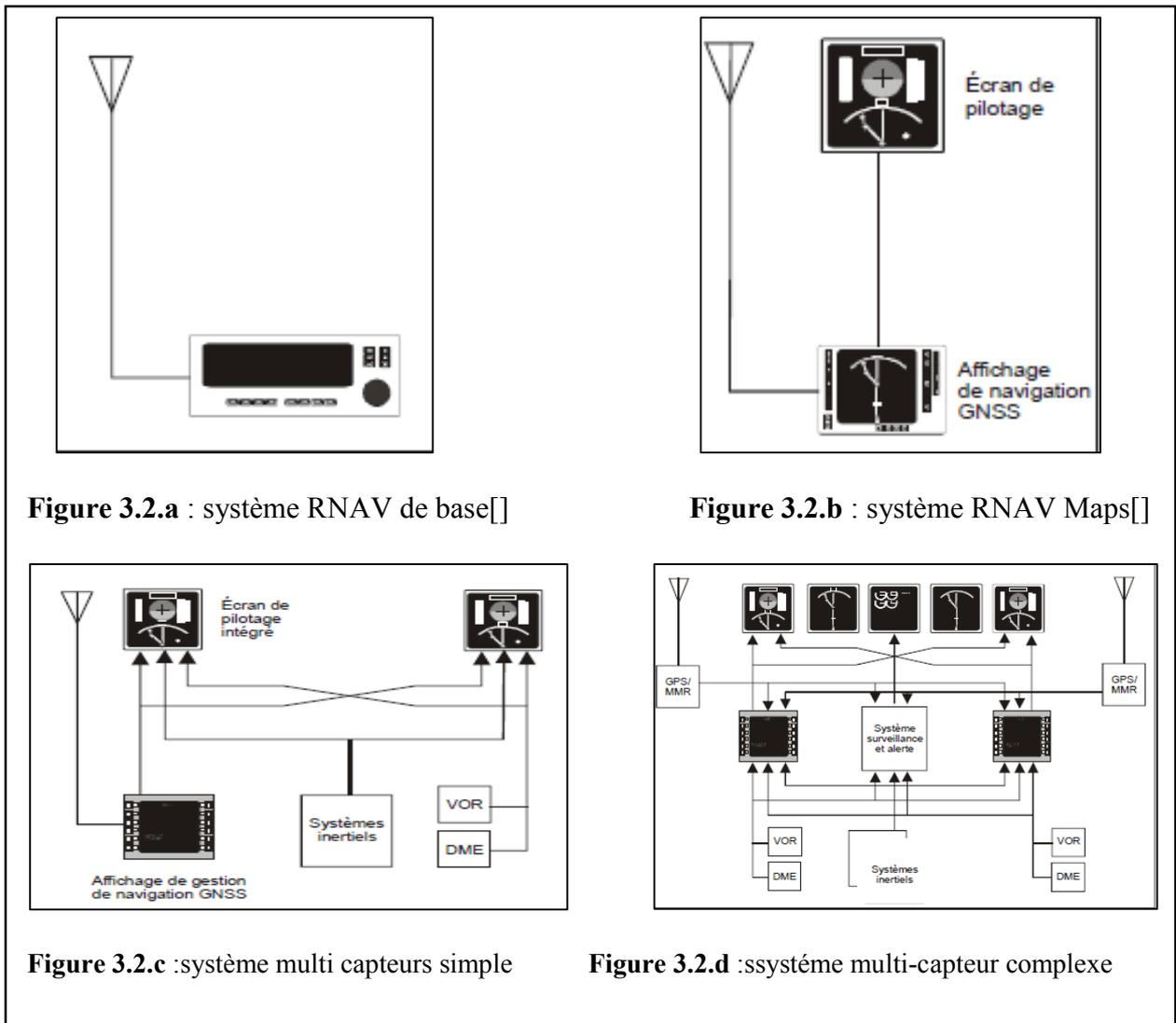


Figure 3.1 : navigation conventionnelle comparée à la RNAV[2]

Les systèmes RNAV vont des systèmes basés sur un capteur unique à des systèmes comportant des types multiples de capteurs de navigation. Les figures suivantes sont présentées à titre d'exemple, destinées seulement à montrer comment la complexité et l'interconnectivité peuvent varier grandement entre différents avioniques RNAV.



3.3.1 Objectifs de la navigation de surface :

Dans le but d'optimiser l'utilisation de l'espace aérien, le système de navigation de surface permet de :

- Voler vers les destinations qui ne sont pas desservies par des aides à la navigation ;
- Repérer des aéroports lorsque la météo est marginale ;
- Réaliser des économies sur la consommation en carburant ;
- Diminuer les zones d'exploitation au bruit ;
- Favoriser la sécurité et la réduction du trafic .

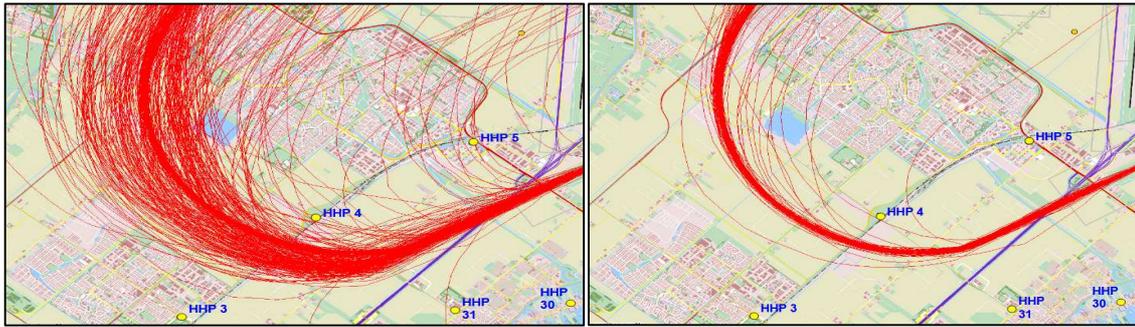


Figure 3.3 : Environnement conventionel et RNAV

- **Remarque :** le mode Drive to Drive signifie :
 - ✓ Descendre immédiatement jusqu'à l'altitude minimale des reperes de descente ou jusqu'à la MDA/H ;
 - ✓ Les pentes de descentes $\leq 15\%$;
 - ✓ L'approche interrompue est initiée au plus tard au MAPt.

3.3.2 Fonction de base du système RNAV :

Les systèmes RNAV sont conçus pour fournir des données de précision en définissant la trajectoire appropriée. Ils intègrent les informations provenant des capteurs tels que les données d'air , de référence inertielle, de navigation radio et de navigation par satellite , ainsi que des apports de base de données internes et des données entrées par l'équipage pour effectuer les fonctions de : la navigation, la gestion du plan de vol, le guidage et le contrôle ,et aussi l'affichage et commande du système .

La navigation peut être basées sur un seul type de capteurs de navigation tel que le GNSS, mais de nombreux systèmes sont des systèmes RNAV multi capteurs .Ceux-ci utilisent divers capteurs de navigation incluant GNSS, DME, VOR, et IRS pour calculer la position et la vitesse de l'avion .la mise en œuvre peut varier ,mais le système basera généralement ses calculs sur le plan précis des capteurs de positionnement existants .

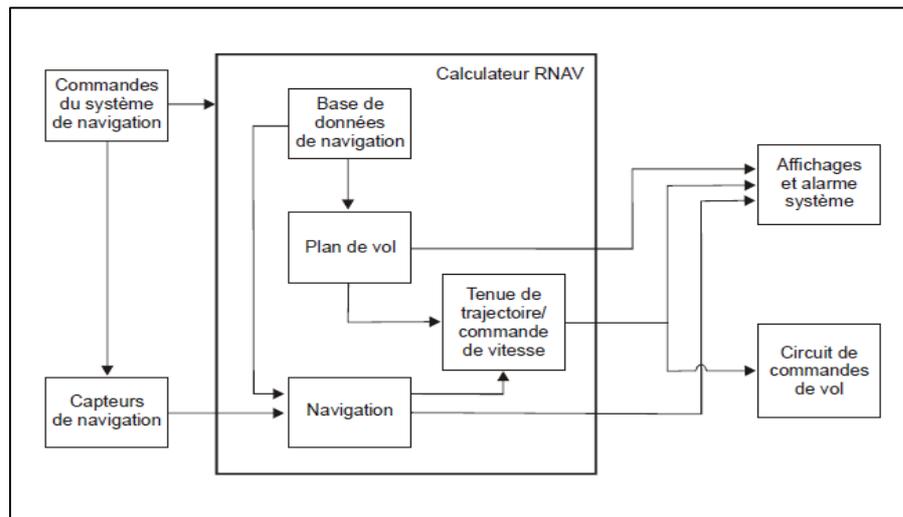


Figure 3.4 : Fonctions de base d'un système RNAV[2]

3.4 Base de données de navigation :

La base de données au système RNAV peut être interne ou externe. Elle doit contenir les données de navigation de référence en cours officiellement promulguées pour les besoins de l'aviation civile et au moins, des informations sur les aides à la navigation, les points de cheminement et les procédures couvrants la région d'exploitation prévue ainsi que les routes de départ et d'arrivée.

Le système peut offrir la possibilité de saisir des points de cheminement définis par l'équipage et/ou d'enregistrer un certain nombre de plan de vol

Dans le manuel PBN, il est spécifié que toute exigence spécifique concernant la base de données de navigation devrait être indiquée dans la spécification de navigation, en particulier si l'intégrité de la base de données doit en principe prouver la conformité à un processus établi d'assurance qualité des données[]

3.4.1 Etablissement des plans de vol :

La fonction plans de vol crée et regroupe le plan de vol latéral et vertical qu'utilise la fonction guidage.

Un aspect clé du plan de vol est la spécification des points de cheminement utilisant la latitude et la longitude, sans référence à l'emplacement d'aides de navigation au sol.

Insérer dans les champs suivants les indicateurs précisés ci-après :

- ✓ **Champ 10** : R (= éligible PBN)
- ✓ **Champ 18** : PBN/ [...]

PBN/ Indication des possibilités RNAV et/ou RNP et Incrire le plus grand nombre possible des descripteurs ci-dessous qui s'appliquent au vol, jusqu'à un maximum de 8 : maximum de 16 caractères

Tableau 3.1 : Indications plan de vol pour les spécifications de navigation []

| Désignation sur le FPL | Senseurs embarqués |
|------------------------|---|
| A1 | RNAV10 (RNP10) |
| B1 | RNAV5 tous capteurs permis |
| B2 | RNAV GNSS |
| B3 | RNAV5 DME/DME |
| B4 | RNAV5 VOR/DME |
| B5 | RNAV 5 INS ou IRS |
| B6 | RNAV5 LORANC |
| C1 | RNAV 2 tous capteurs permis |
| C2 | RNAV 2 GNSS |
| C3 | RNAV2 DME/DME |
| C4 | RNAV2 DME/DME/IRU |
| D1 | RNAV 1 tous les capteurs permis |
| D2 | RNAV1 GNSS |
| D3 | RNAV1 DME/DME |
| D4 | RNAV1 DME/DME/IRU |
| L1 | RNP4 |
| 01 | RNP1 de base tous capteurs permis |
| 02 | RNP1 de base GNSS |
| 03 | RNP1 de base DME/DME |
| 04 | RNP1 de base DME/DME/IRU |
| S1 | RNP APCH |
| S2 | RNP APCH avec BARO-VNAV |
| T1 | RNP AR APCH avec RF (autorisation spéciale requise) |
| T2 | RNP AR APCH sans RF (autorisation spéciale requise) |

3.5 Point de cheminement « waypoint » :

Est un emplacement géographique spécifié utilisé pour définir une route de navigation de surface est désigné par l'abréviation 'WP'.

Il peut être identifié par un nom (si celui-ci est disponible dans la base de données), un lieu (latitude/longitude), son relevement et par sa distance par rapport à un autre point définit, ou par sa distance par rapport à un autre point définit, ou par d'autres moyens.

A cet effet, la connaissance de l'emplacement des points de cheminement est nécessaire pour le calcul des informations de navigation, les points de cheminement peuvent également être associés à un changement de type de segment.

La fonction RNAV reposant sur une base de données embarquée contenant des waypoints définis dans le référentiel WGS84 (latitude et longitude), s'effectue par cheminement de WP en WP qui sont définis pour indiquer :

- Les points significatifs de la procédure (IAF, IF) ;
- Les points tournants ;
- Les contraintes d'altitude ou de vitesse ;
- Les points de reports ATC.

La longueur des segments doit être aussi suffisante pour permettre à l'aéronef de :

- ✓ Se stabiliser après un virage ;
- ✓ Atteindre la contrainte (altitude ou vitesse) au niveau du waypoint.

Fly over waypoint (point de cheminement à survoler) :

Point de cheminement avant lequel le pilote peut exécuter un virage et qui est suivi d'une manœuvre d'interception du prochain segment de vol.

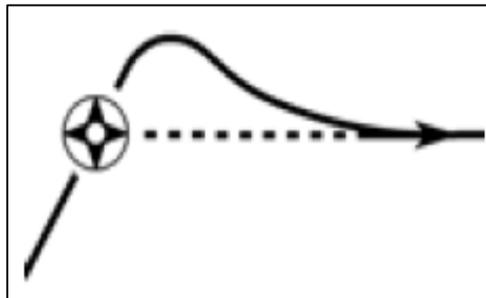


Figure 3.5.a : point de cheminement à survoler

Fly by waypoint (point de cheminement par le travers) :

Dans le cas d'un point RNAV 'fly by' le point de cheminement ou le pilote doit anticiper le virage afin d'éviter de dépasser le prochain segment de vol.

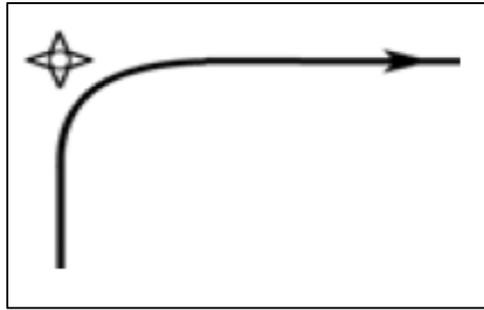


Figure 3.5.b : point de cheminement par le travers

3.5.1 Symbologie des waypoints :



Fly-By Waypoint



Fly-Over Waypoint



Fly-By Waypoint coïncide avec un point de report (point de compte rendu obligatoire)



Fly-Over Waypoint coïncide avec le VOR/DME

3.5.2 Utilisation en fonction du type de WP :

Tableau 3.2 : Types de waypoints

| | Fly-By | Fly-Over |
|--|--------|----------|
| IAF | ✓ | ✓ |
| IF | ✓ | ✓ |
| FAF | ✓ | ✓ |
| MAPt | | ✓ |
| MAHWP Missed Approach Holding WP | | ✓ |
| HWP Holding WP | | ✓ |

| | | |
|-----------------------------------|---|---|
| AWP Arrival WP | ✓ | ✓ |
| DWP Departure WP | ✓ | ✓ |

Remarque:

- Certains systemes ne peuvent pas prendre en compte les WP entre le FAF et le MAPt.
- Un repere de descente est définit par sa distance au prochain WP.

3.5.3 Tolérance d'un waypoint :

La tolérance d'un repere represente les positions de l'aéronef avec une probabilité acceptable lorsqu'ils sont à la verticale du repere .

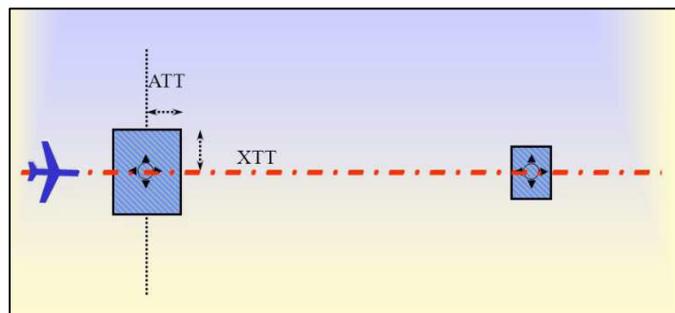


Figure 3.6 : tolérance d'un waypoint

3.6 Méthode de positionnement RNAV :

Le système RNAV permet :

- L'identification du prochain point de cheminement (waypoint) ;
- La sélection de la source de navigation la plus appropriée pour calculer sa position ;
- La fourniture des informations au pilote automatique pour suivre la trajectoire .

La fonction ' Navigation' du calculateur fournit les données qui comprennent : la position de l'avion, la vitesse, angle de route .

Ces données sont affichées sur le Navigation Display (ND) et/ou sur l'indicateur d'écart (CDI) et peuvent être données au directeur de vol (FD) ou alimenter l'Auto pilot [].

Une trajectoire RNAV peut être suivie manuellement.

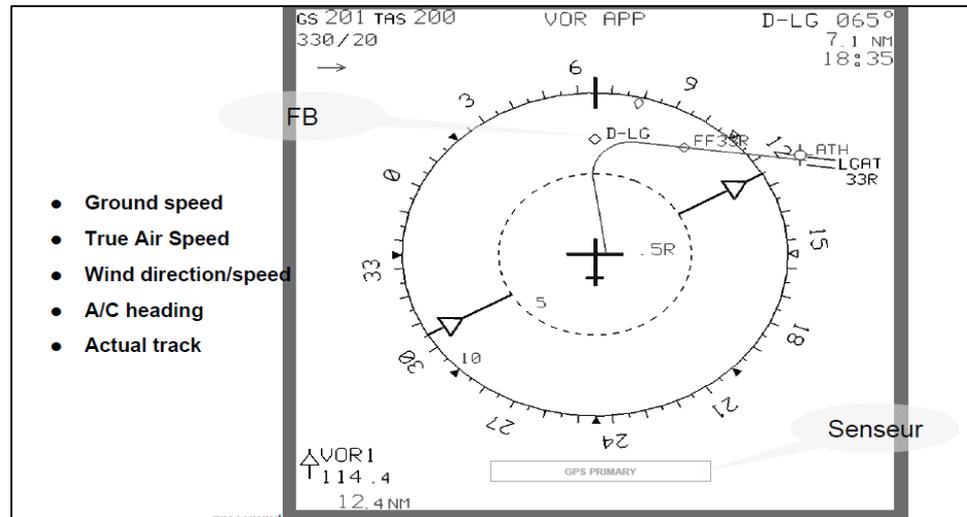


Figure 3.7 : Affichage sur le ND []

3.7 Précision de navigation :

Pour que le système RNAV soit solide, il est nécessaire que la précision de navigation soit également maintenue durant tout le vol et répondre aux exigences qui sont définies par l'OACI sous le signe RNP :

- **RNAV 2D** : permet au pilote de suivre des routes RNAV en utilisant des points de cheminements sur le plan N-S ou E-W.
- **RNAV 3D** : permet au pilote de suivre des routes RNAV et de définir le profil vertical.
- **RNAV 4D** : permet au pilote de suivre des routes RNAV, de définir le profil vertical et de contrôler la vitesse et taux de montée/descente pour se situer dans le temps.

3.8 Intégrité des bases de données de navigation :

L'obtention d'une LOA par un couple (codeurs de données ;équipementier) garantit la qualité du processus de traitement des données RNAV par ces acteurs. Cette dernière est un argument délivré par l'EASA ou la FAA suite à des audits réalisés chez les codeurs de données ou chez les équipementiers et visant à vérifier le respect des normes relatives au traitement des données aéronautiques.

3.8.1 Equipemets RNAV :

N'importe quelle combinaison d'équipements est utilisée pour fournir le guidage RNAV.

Dans le cas d'une procédure RNAV(GNSS) , le système de positionnement utilisé est un système satellitaire (GNSS).

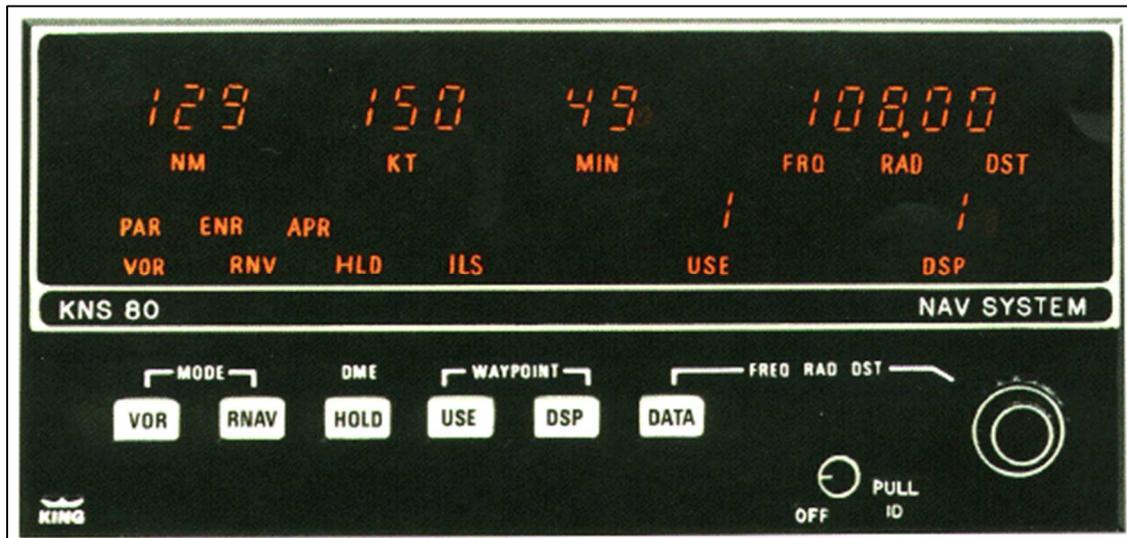


Figure 3.8 : Récepteur RNAV []

3.8.2 Certification RNAV :

Conformément aux spécifications de performances minimales des systèmes de bord, les aéronefs équipés de systèmes RNAV devront se soumettre à des tests de conformité aux normes de précision avant toute certification et approbation par les autorités compétentes.

Ces tests seront établis par les autorités conjoints de l'aviation (JAA).

3.8.3 Zone d'exploitation :

L'exploitant doit s'assurer que les performances de ses équipements sont conformes aux normes définies pour la (les) zone(s) dans laquelle(lesquelles) se dérouleront les opérations envisagés

3.9 Les différents types de la RNAV :

a. La RNAV de base 'B-RNAV' :

Ce type de navigation de surface défini par Eurocontrol dont la précision de tenue de route dans le plan latéral est de ± 5 NM et exploité par les aéronefs dotés d'un équipement RNAV ayant la capacité à déterminer leurs positions dans le plan horizontal avec une précision suffisante pour satisfaire à l'exigence de tenue en route. L'équipement RNAV qui permet de déterminer automatiquement la position de l'aéronef à partir d'un des systèmes suivants et qui a la capacité d'établir et suivre la route choisie, est susceptible de satisfaire à la norme relative au RNAV de base :

- I. VOR/DME ; et (ou)
- II. DME/DME.

b. La RNAV de précision 'P-RNAV' :

La P-RNAV est un type de RNAV défini dans le plan horizontal ou plus exactement à un niveau de vol donné.

Les principales caractéristiques demandées à l'équipement de bord RNAV sont les suivants :

1. Une précision de navigation horizontale de ± 1 NM pendant 95 % du temps de vol ;
2. Une continuité de service de 99,99 % du temps de vol (infrastructure sol et bord confondues).

c. La RNAV libre :

Est une opération RNAV dans le cadre de laquelle les itinéraires peuvent être planifiés sur des segments non définies par des routes ATS fixes.

De telle opération peuvent être limitée à certaines régions d'informations de vol (FIR) ou certaines parties de FIR au sein de la zone CEAC et peuvent faire l'objet de limitations de niveau de vol.

3.10 Procédures RNAV :

3.10.1 Généralités :

Est défini par un ou plusieurs points de cheminements, chacun défini par une appellation, un parcours et une extrémité et une série de contraintes

La description de la procédure sous forme de texte ou de tableau, inclura tous les éléments de données spécifiés dans le présent chapitre, et sera publiée au verso de la carte concernée ou sur une feuille distincte indiquant les références appropriés

3.10.2 Erreur technique de vol (FTE) :

Les valeurs de FTE 95% à partir desquelles les critères de conception d'applications PBN ont été établis sont énumérées dans le tableau 3.2 ci-dessous :

Tableau 3.2 :Erreur technique de vol des applications RNAV et RNP[]

| Spécification de navigation | FTE (95%) Propre à spécification de navigation prescrite |
|-----------------------------|--|
| RNAV 5 | 0.25NM |
| RNAV1 | 0.5NM |
| RNP 1 de base | 0.5NM |
| RNP APCH | 0.5NM 0.25NM en approche finale 0.50NM en approche interrompue |

3.10.3 Valeurs tampons (BV) :

Les tolérances d'écart latéral RNAV et RNP sont constituées de la NSE et de la FTE. Elles sont toutes les deux traitées comme si elles étaient gaussiennes et déterminées par la RSS qui est la racine carrée de la somme de ces deux erreurs. (Dans le cas de systèmes de RNP fondés sur le GNSS, la NSE est faible et la FTE est l'élément dominant.)

Les valeurs tampons (BV) sont utilisées dans toutes les applications PBN, sauf RNP AR. donc les valeurs tampons (BV) suivantes sont utilisées dans le cadre des applications RNP 4, RNP 1 de base, RNP APCH, RNAV 1, RNAV2, et RNAV 5 :

Tableau 3.3 : Valeurs tampons (BV) []

| Phase de vol | BV CAT A-E | BV CAT H |
|---|-----------------------|---------------------|
| SID et STAR (se terminant/débutant à une distance supérieure ou égale à 30NM par rapport à l'ARP de l'aérodrome de départ ou destination) | 2.0NM | 1.0NM |
| Terminal (STAR, approches initiale et intermédiaire débutant à moins de 30NM de ARP, SID et approches interrompues à moins de 30NM de L'ARP mais à plus de 15 NM de ce dernier) | 1.0NM | 0.7NM |
| Approche finale | 0.5NM | 0.35NM |
| Approche interrompue et SID jusqu'à 15NM de l'ARP | 0.5NM | 0.35NM |

3.10.4 Aire de franchissement d'obstacles :

3.10.4.1 Demi-largeur d'aire :

La demi-largeur d'aire ($\frac{1}{2}$ A/W) de l'aire de franchissement d'obstacles dans toutes les applications RNAV et RNP (sauf RNP AR) est calculée comme suit :

$$\frac{1}{2} A/W = 1,5 * XTT + BV$$

Où XTT est la valeur de la tolérance d'écart latéral de 2σ (appelée TSE) et BV, la « valeur tampon » indiquée dans le **tableau 3.3**.

Lorsque l'on peut utiliser plus d'un type d'aide de navigation dans une procédure (p. ex. DME/DME et GNSS pour la RNAV 1), les tolérances XTT et ATT et la demi-largeur d'aire seront calculées pour chaque type spécifique, et le franchissement des obstacles sera fondé sur la plus grande des valeurs ainsi obtenues.

3.10.4.2 Aire secondaire :

Le principe des aires secondaires est appliqué à tous les tronçons RNAV pour lesquels un guidage sur trajectoire est disponible.

3.10.4.3 Repère :

Les repères utilisés sont déterminés comme point de cheminement selon les spécifications de l'Annexe 15 (Service d'information aéronautique).

3.11 RNAV avec GNSS de base :

Cette partie énumère les paramètres latéraux et longitudinaux applicables au GNSS de base qui sont utilisés comme données d'entrées dans les critères de construction de procédure RNAV.

Le positionnement au GNSS de base est applicable aux spécifications de navigation suivantes :

- RNAV 5 ;
- RNAV 1 ;
- RNP 1 de base ;
- RNP APCH.

3.12 XTT, ATT et demi-largeur d'aire :

Chaque repère WP est caractérisé par une valeur XTT et ATT définie comme suit :

- ***XTT : Tolérance d'écart latéral :***

Tolérance de repère mesurée perpendiculairement à la trajectoire nominale, résultant des tolérances d'équipements embarqués et d'équipement au sol ainsi que la tolérance technique de vol (FTT). []

- ***ATT : Tolérance d'écart longitudinal :***

Tolérance de repère le long de la trajectoire nominale, résultant des tolérances de l'équipement embarqué et de l'équipement au sol []

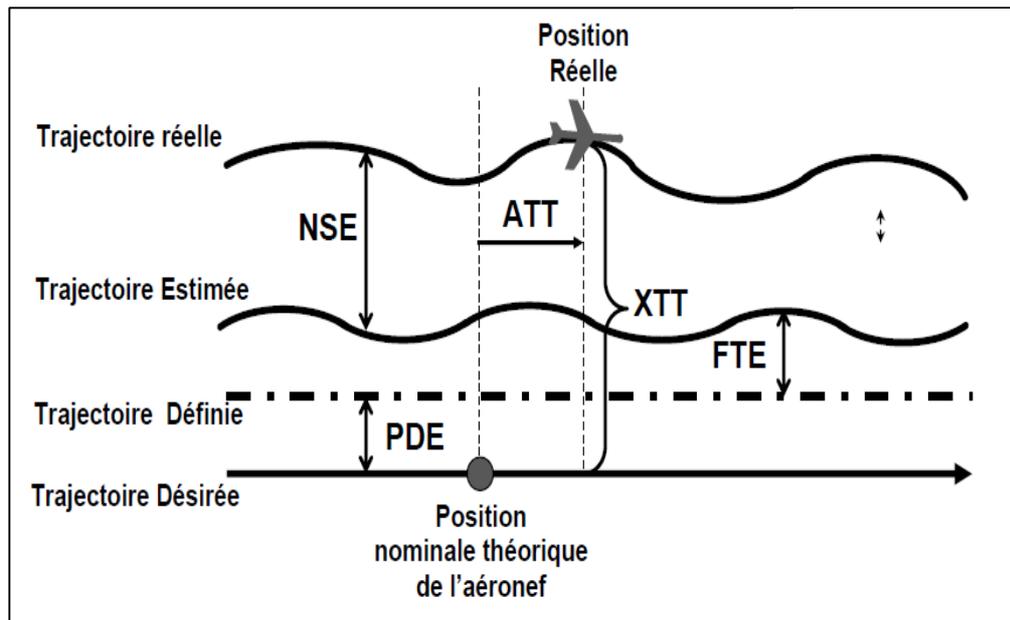


Figure 3.9 : Tolérance d'un waypoint (XTT, ATT) [ipdf3]

3.12.1 Précision du système GNSS de base :

Le niveau convenu de précision horizontale du segment spatial GNSS de l'ordre de 100 mètres (328ft) à 95% de fiabilité est admis.

La précision du système de navigation en RNAV au GNSS dépend des éléments suivants :

- Précision inhérente du segment spatial ;
- Tolérance du système de réception embarqué ;
- Tolérance de calcul de système ;
- Tolérance technique de vol.

Un moyen de mesure de la capacité opérationnelle du système de navigation est la capacité d'un récepteur à détecter ces facteurs et à en avertir le pilote lorsqu'ils représentent des inconvénients.

3.13 Comparaison des aires de protection des procédures RNAV et procédures conventionnelles :

3.13.1 Aire de protection :

Le but est de permettre de visualiser le bénéfice de l'une et de l'autre sans préjuger le type de guidage reçu le long de la trajectoire.

3.13.2 Principe des aires secondaires :

À chaque segment correspond une aire qui lui est associée. Normalement l'aire est symétriquement répartie de part et d'autre de la trajectoire à suivre.

En principe, cette aire est subdivisée en une aire primaire et des aires secondaires. Toutefois, dans certains cas, seules des aires primaires sont permises. Lorsque des aires secondaires sont permises, la moitié extérieure de chaque côté de l'aire (normalement 25 % de la largeur totale) est désignée comme aire secondaire.

La marge de franchissement d'obstacle décroît linéairement de sa valeur totale au bord de l'aire primaire jusqu'à zéro aux bords extrêmes des aires secondaires.

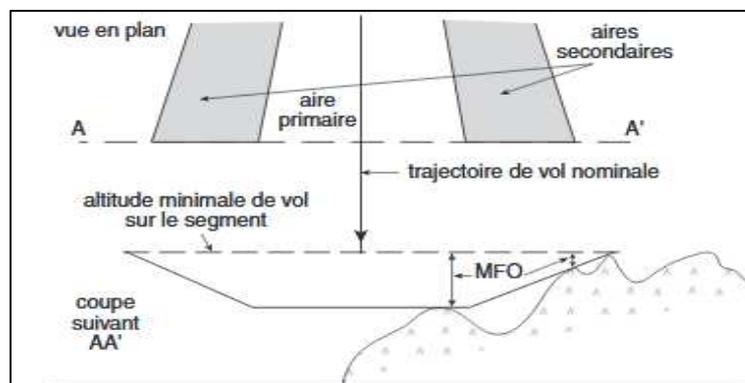


Figure 3.10 : principe de l'aire secondaire

3.13.3 Aires de protection des procédures RNAV :

Les aires de protection des procédures RNAV sont construites en considérant la valeur de la tolérance latérale du point de cheminement augmentée d'une valeur tampon.

3.13.4 Superposition des aires RNAV / Conventionnelles :

L'exemple ci-après présente la superposition des aires de protection d'une approche finale VOR en bleu et d'une approche finale RNP APCH en gris. Outre l'alignement parfait de l'axe de la procédure avec l'axe de piste, une légère réduction de la largeur des aires de protection RNAV dans ce cas permet de réduire le nombre d'obstacles pris en compte dans le calcul de l'OCH.



Figure 3.11 : superposition des aires de protections d'une approche finale VOR et d'une approche finale RNP APCH []

Et voilà un autre exemple pour comparer une aire de protection d'une procédure NDB décalée (en vert) et la possibilité offerte par la procédure LNAV (dans l'axe de piste) dont les aires de protection s'inscrivent à l'intérieur de celles du NDB.

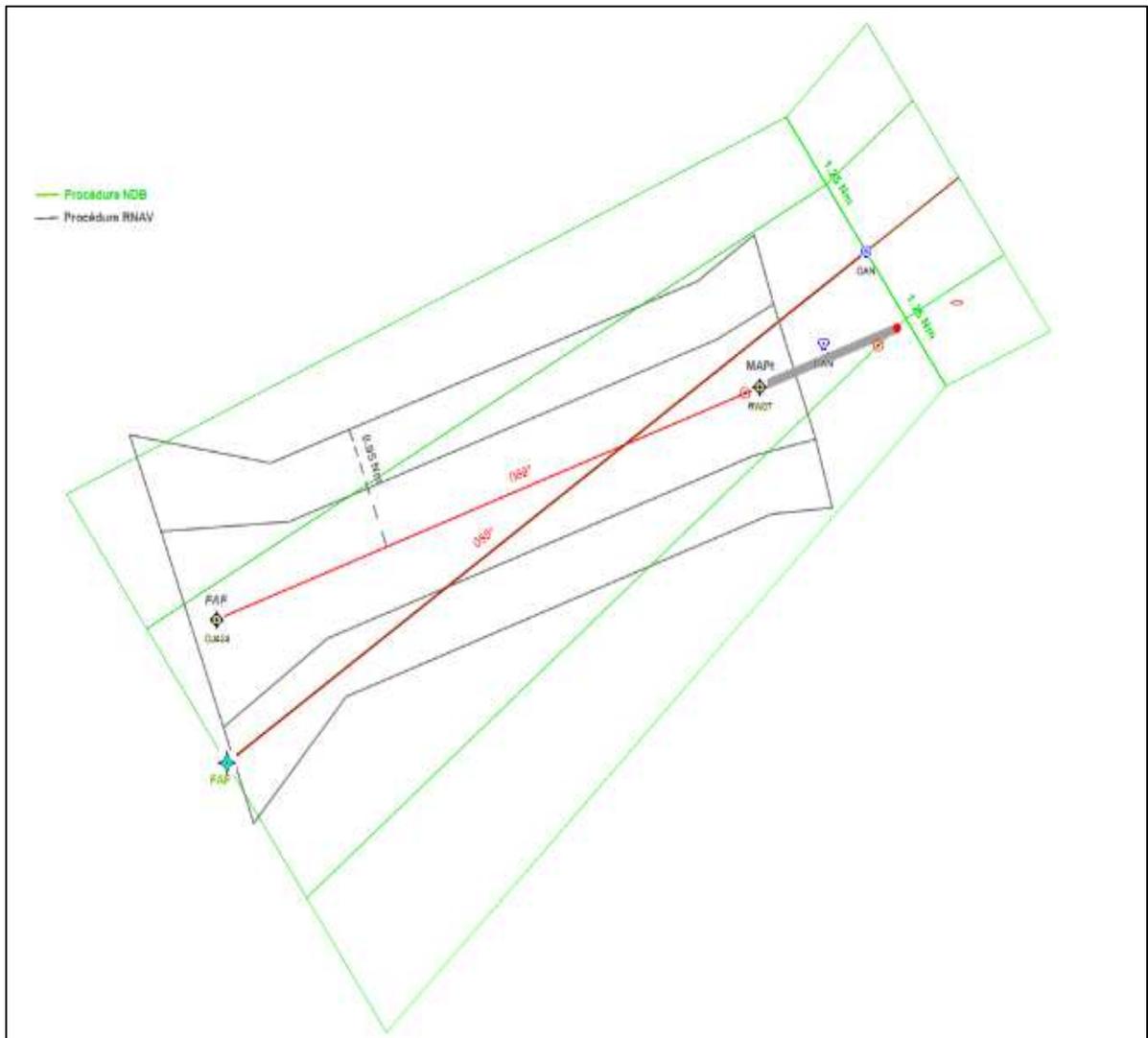


Figure 3.12 : comparaison entre une aire de protection d'une procédure NDB et d'une procédure LNAV []

3.14 Les avantages de la navigation de surface (RNAV) :

La RNAV présente des avantages en vue de contribuer à une meilleure utilisation de l'espace aérien tout en assurant la sécurité et en offrant des avantages aux compagnies aériennes tant du point de vue économique que sur le plan de l'exploitation.

✓ **Economie :**

- Réduction des distances parcourues entraînant une réduction de la consommation de carburant ;
- Baisse des coûts d'entretien induite par la réduction du nombre d'aide au sol ;
- Augmentation probable des capacités des pistes.

✓ **Environnement :**

- Meilleur suivi des trajectoires permettant de réduire la signature des aéronefs au niveau de vol ;
- Réduction de la consommation se traduisant par une réduction de la pollution ;
- Flexibilité des trajectoires ce qui permet d'éviter de concentrer le bruit sur un même secteur en permanence ;
- Evitement de certaines contraintes liées au survol des reliefs, des villes, et des zones à statut particulier.

✓ **Organisation de l'espace :**

La navigation RNAV apporte un certain nombre d'avantages, par rapport à la navigation conventionnelle dont les principaux sont les suivants :

- Un nombre plus important de routes pour compenser une augmentation du trafic, une même route pourra être simplifiée par la création de waypoint stratégiquement placés et ainsi permettre des trajectoires parallèles assurant les minimas de séparation requises ;
- Des trajectoires simplifiées permettant aux appareils ne faisant que survoler des zones à forte densité de trafic de ne pas être retardés ;
- Amélioration de guidage ;
- Une plus grande liberté latérale aux aéronefs.

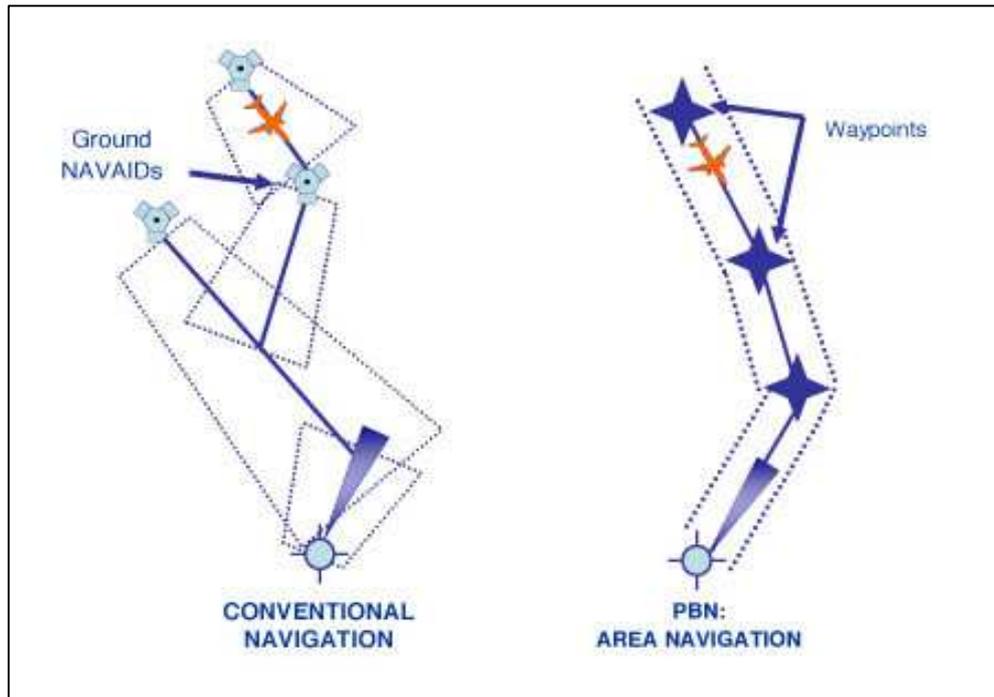


Figure 3.13 : la différence entre la navigation conventionnelle et la navigation de surface [1].

✓ **Point de vue des ATM :**

L'implantation de la RNAV, dans un premier temps dans le réseau en route, et dans un deuxième temps la TMA aura pour conséquences :

- Le raccourcissement des trajectoires (réseau ATS et TMA).
- L'augmentation du nombre de routes dans un espace considéré (route parallèle) et donc l'augmentation de la capacité des secteurs ;
- Une augmentation du taux d'utilisation des pistes ;
- Des séparations stratégiques entre les trajectoires (notamment dans les TMA) liées à une plus grande précision de suivi des trajectoires.

3.15 Problèmes actuels de la RNAV :

Malgré les avantages que possède la navigation de surface, elle présente certaines contraintes et des caractéristiques qu'il Ya lieu d'examiner en particulier :

- Des variations parfois considérables dans les performances et les trajectoires de vol des aéronefs ;
- Une impossibilité de prévoir le comportement des calculateurs de navigation dans toutes les situations. Il en résultait de grandes surfaces d'évaluation. d'obstacles OAS, de sorte que l'avantage réalisé en termes de réduction des surfaces de protection d'obstacle était mineur ;

- Différents algorithmes d'estimation de position et des systèmes de configurations, engendrant une différence dans l'interprétation des données de base de données de navigation ;
- Le comportement du système, dépendent de la méthode avec laquelle il est opéré, est assez différent lorsqu'il est utilisé dans différents aéronefs.

3.16 Conclusion :

La navigation de surface peut être considérée comme la meilleure solution en ce moment pour pallier à l'augmentation du trafic. Elle peut offrir de grands avantages dans l'exploitation et la gestion de l'espace aérien. Elle permet également de réduire le temps de vol et aussi diminuer les retards liés à l'encombrement des réseaux.

CHAPITRE 4

LE SYSTEME DE NAVIGATION

PAR SATELLITE

CHAPITRE 4

SYSTEME DE NAVIGATION PAR SATELLITE

4.1 Introduction :

La navigation par satellite ‘Global Navigation Satellite System (GNSS)’ a été reconnue par l’Organisation d’Aviation Civile Internationale comme étant un élément clé des systèmes CNS/ATM et également une base sur laquelle les états peuvent s’appuyer afin de délivrer des services de navigation aérienne performants.

Depuis de nombreuses années, le GNSS est considéré comme un moyen intéressant pour l’aviation civile grâce à sa capacité de fournir des services de navigation pour toutes les phases de vol ayant une possibilité d’étendre une zone de couverture mondiale.

Cependant, le GNSS doit atteindre des niveaux d’exigences adaptés en termes de précision ; d’intégrité ; de disponibilité et de continuité.

Pour atteindre ces performances, des moyens d’augmentation ont été développés dans le but de corriger les mesures faites en utilisant les signaux GNSS et de surveiller la qualité du signal reçu

Le GNSS englobe les systèmes d’augmentation suivants : le GBAS, le SBAS et l’ABAS.

4.2 Historique :

En 1991, la 10ème conférence de navigation aérienne a adopté le concept du futur système de navigation aérienne élaboré par les comités FANS, qui devait répondre aux besoins de la communauté de l’aviation civile jusque bien au-delà du tournant du siècle.

Le concept FANS, connu aujourd’hui sous la désignation de systèmes CNS/ATM, faisant intervenir un ensemble complexe de technologies connexes qui reposaient largement sur les satellites.

C’était la vision élaboré par l’OACI avec l’entière coopération de tous les secteurs de la communauté aéronautique pour répondre aux besoins futurs du transport aérien international comme il a été énoncé au (DOC9613 AN/937 ; 2008), en Février 1994, les conclusions du comité FANS (Futur Air Navigation System) qui ont permis de lancer la navigation par satellite.

En Octobre 1994, la lettre du gouvernement des États-Unis à l'OACI offrant, sans percevoir de charges directes, un service de positionnement ouvert à l'aviation civile (GPS). Puis, en juin 1996 ; la lettre de la fédération de Russie proposant un service identique pour GLONASS sont données une impulsion décisive permettant à l'OACI d'engager les Travaux de standardisation du GNSS, avec pour objectif de définir des systèmes GNSS utilisables, pendant toutes les phases de vol, de la navigation océanique aux atterrissages de précision de Catégorie III.

Suite à ces décisions, les travaux du groupe d'expert GNSS Panel ont permis à l'OACI de publier, en Novembre 2002, dans l'annexe 10 à la convention de Chicago, des Standards GNSS couvrant l'ensemble des phases de vol jusqu'aux approches de Catégorie I.

Il fut décidé de s'arrêter aux applications de Catégorie I dans cette première version des standards GNSS car les travaux de définition et de validation des standards GNSS avaient montré qu'avec les signaux actuels GPS ou GLONASS (mono-fréquence), il était très difficile d'assurer un niveau de performance tel que celui requis pour l'ILS ou le MLS catégorie II/III

Afin d'assurer les niveaux requis en matière de précision, d'intégrité, de continuité de service de disponibilité du GNSS pour les différents phases de vol, les normes GNSS OACI définissent différents architectures de renforcement des constellations de base (GPS et GLONASS) :

- ABAS (Airborne Based Augmentation System) ;
- GBAS (Ground Based Augmentation System) ;
- SBAS (Satellite Based Augmentation System).

4.3 Définition du 'GNSS' :

L'OACI a défini dans l'Annexe 10 à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale le GNSS comme étant un système de navigation fournissant aux utilisateurs des informations précises de positions, vitesse et temps et ceci partout dans le monde.[]

Ce système est composé des éléments suivants :

- Constellation de base : constellation GPS, constellation GLONASS et Constellation GALILEO dans le futur ;
- Récepteur utilisateur ;
- Système de renforcement permettant d'améliorer le contrôle d'intégrité et la précision.

Le GNSS est divisé en deux générations :

GNSS-1 :

Le GNSS-1 est la première génération, combinant l'utilisation des systèmes GPS et GLONASS, avec des systèmes d'augmentation satellitaires (SBAS) ou terrestres (GBAS).

Aux Etats-Unis, le complément satellitaire est le WAAS, en Europe, c'est EGNOS, et au Jappant le MSAS

Les systèmes complémentaires terrestres (GBAS) sont généralement locaux, comme le 'LAAS'.

Les performances du GNSS-1 sont compatibles avec la navigation « en route »

GNSS-2 :

Le GNSS-2 présente la seconde génération de système, capable de fournir tous les services civils, l'exemple le plus avancé est le GALILEO européen.

Ces systèmes procurant simultanément la précision et l'intégrité nécessaire à la navigation civile dans toutes les phases de vol.

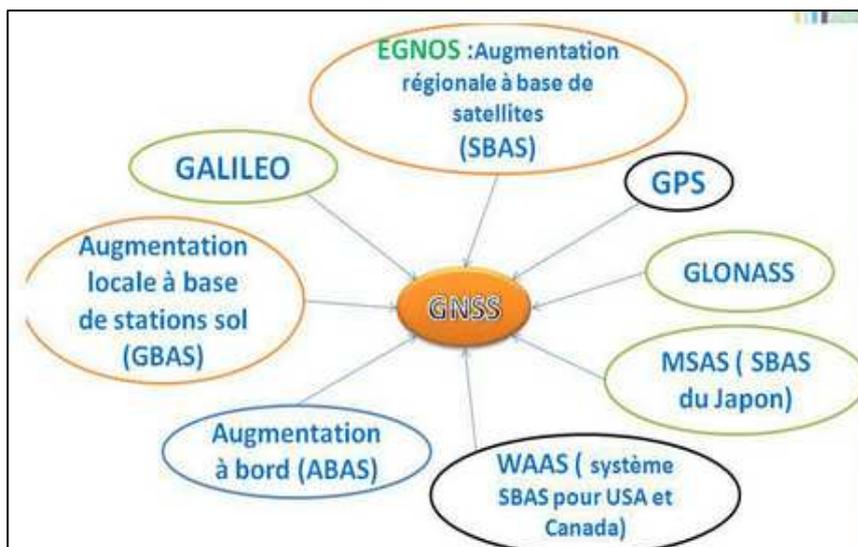


Figure 4.1 : Types d'applications du GNSS []

Le GNSS est un système de radionavigation destiné à compléter ou remplacer dans un premier temps un certain nombre d'autres moyens de navigation comme les VOR et à plus long terme les ILS.

Ce système est un ensemble de composants reposant sur une constellation de satellites artificiels permettant de fournir à un utilisateur par l'intermédiaire d'un récepteur portable sa position 3D, sa vitesse et l'heure. Cette catégorie de système de géo positionnement se caractérise par une précision, et une couverture mondiale.

Le GNSS a une couverture mondiale et est utilisé pour la navigation en route, dans les régions océaniques, dans les régions terminales et pour les approches de non-précision. Conjugué aux systèmes de renforcement appropriés et à des procédures adéquates, le GNSS prend en charge les approches avec guidage vertical et les approches de précision. Le GNSS constitué par les constellations satellitaires de base et leurs renforcements appropriés spécifiés dans l'Annexe 10 assurent dans l'ensemble du monde un service de navigation de haute intégrité, de haute précision et en tous temps.

4.4 Constellation de base :

✓ **GPS 'Global Positioning System' :**

Le GPS américain a été développé par le département de la défense des états unis déclaré opérationnel le 8 décembre 1993

La constellation GPS est contrôlée et opérée par le « Department of Defense » des états unis d'Amérique. Composée de 24 satellites en 1995 (32 aujourd'hui), elle permet aux

utilisateurs équipés de récepteurs adéquats d'obtenir leur position avec une précision à 95 % de 33m dans le plan horizontal et de 73m dans le plan vertical

4.5 Principe du GPS :

Le GPS permet d'effectuer les opérations suivantes ; illustrant dans la **Figure 4.2**

1. Mesure de la distance utilisateur-satellite à partir des informations de temps (horloge satellite et utilisateur) ;
2. Positionnement du satellite contenu dans le signal du GPS ;
3. Détermination de la solution de navigation par triangulation ;
4. Calcul des erreurs.

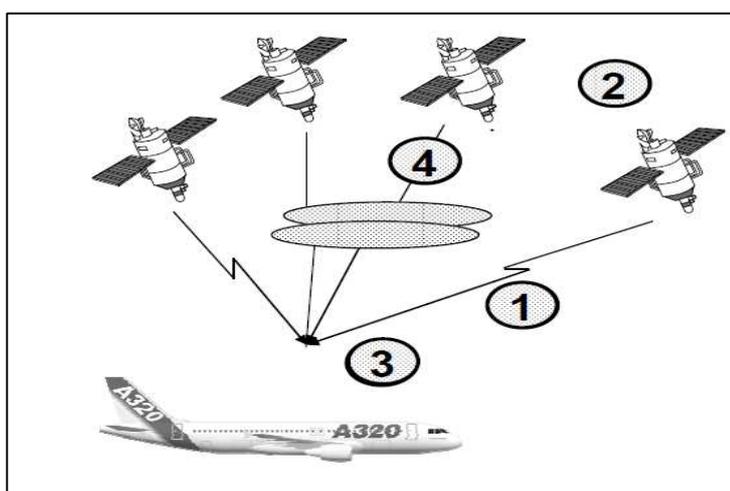


Figure 4.2 : Principe du GPS [1]

Le GLONASS russe est un système qui a été également offert à l'OACI par le Gouvernement de fédération de Russie le 4 juin 1996

La constellation GLONASS est contrôlée et opérée par la fédération de Russie. Elle est constituée, à ce jour, de 11 satellites opérationnels.

Les plans de développement ont prévu une constellation finale de 24 satellites en 2010 pouvant fournir une précision à 95% de 28 m en horizontal et de 60 m en vertical

✓ GALILEO :

Depuis mars 2002, il a été lancé le programme GALILEO, système européen de navigation par satellite qui, comme le GPS et le GLONASS, permettra aux utilisateurs

équipés d'un récepteur adéquat de connaître leur position en temps réel, avec une précision à 95 % de 4m dans le plan horizontal et de 8m dans le plan vertical.

La constellation GALILEO comportera 30 satellites et était opérationnels aux alentours de 2010.

➤ **L'Approche de l'Europe**

✓ **EGNOS :**

Le système européen de navigation EGNOS est un système chargé de la correction du GPS tout en assurant la couverture d'une zone centrée sur l'Europe.

Il se compose de plusieurs charges utiles de navigation installées sur des satellites en orbite géostationnaire et d'un réseau terrestre comprenant un ensemble de stations de positionnement et plusieurs centres de contrôles. Ce système est opérationnel depuis le 1^{er} octobre 2009.

Le système EGNOS a pour but principal de rendre disponible en temps réel, grâce à des satellites géostationnaires de télécommunication, des corrections différentielles (troposphère ; ionosphère) ainsi qu'une information d'intégrité. Les signaux transmis par EGNOS sont semblables à ceux de GPS. Pour les utilisateurs ces satellites apparaissent comme de satellites GPS supplémentaires.

L'objectif d'EGNOS est donc de permettre l'utilisation du GPS en toute sécurité, y compris dans des domaines critiques, comme par exemple le guidage d'un avion par GPS en phase finale et d'atterrissage.

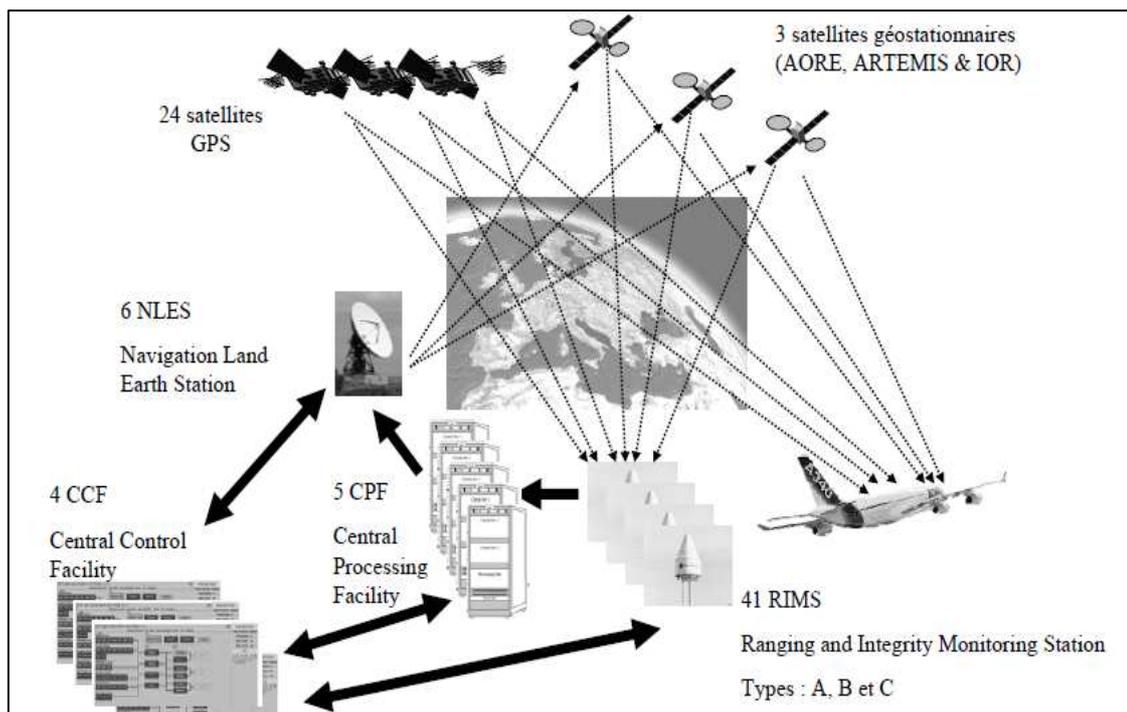


Figure 4.3 : Principe de fonctionnement d'EGNOS [1]

4.6 Principe de fonctionnement du GNSS :

Les systèmes de navigation par satellites réalisent le positionnement d'un utilisateur, Possédant un récepteur GNSS, à partir d'ondes radioélectriques émises par des satellites en orbite dans l'espace.

La position de l'utilisateur est calculé par triangulation (processus de trouver le centre de l'intersection de trois sphères dans laquelle le point central et le rayon de chacun des trois sphères doivent être connus) à partir des mesurerais de distance séparant l'utilisateur des satellites en vue de récepteur.

Pour obtenir celui-ci, le récepteur estime les temps d'arrivées des signaux radioélectriques par une méthode de corrélation en tirant profit des caractéristiques spécifiques des codes utilisées par les satellites GNSS. Les temps de propagation associés sont alors déduits.

A partir de la vitesse de propagation des ondes radioélectriques dans le vide, les distances séparant le récepteur de chaque satellite peuvent donc être estimées.

Un positionnement selon les trois dimensions spatiales nécessite trois mesures de distance et donc trois satellites. Chaque distance satellite-récepteur représente le rayon d'une sphère centrée sur le satellite en question.

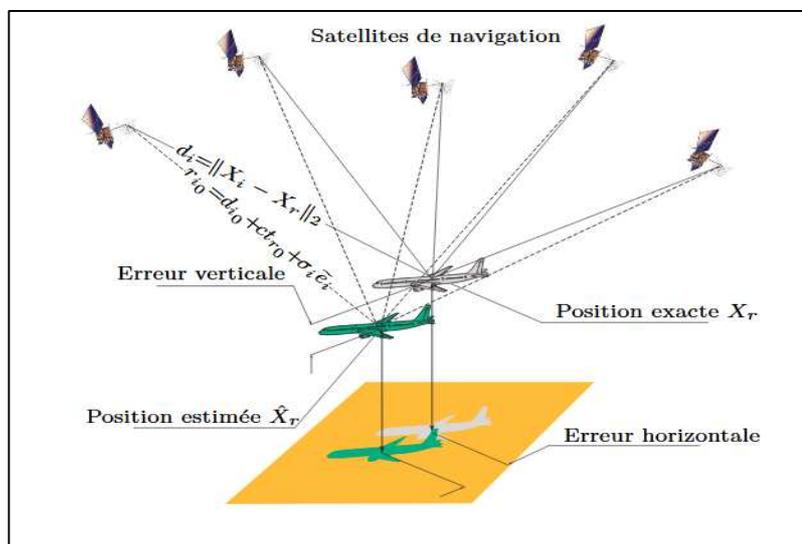


Figure 4.4 : Principe de la navigation par satellite

La **Figure 4.5** illustre le principe de détermination de la position par trois sphères (méthode de trilatération)

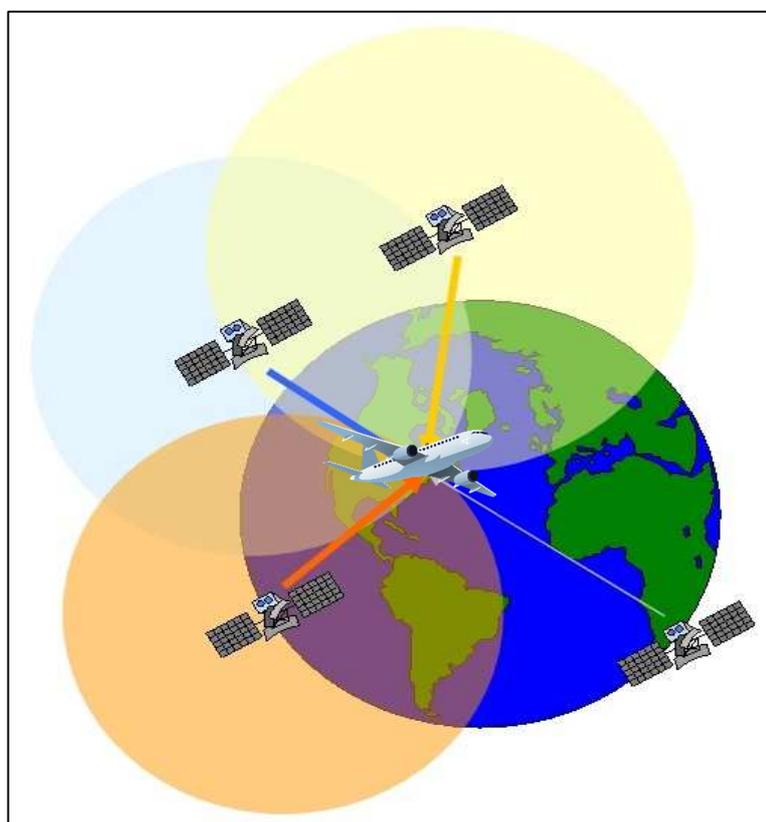


Figure 4.5 : Determination de la position pour trois sphères

Comme le positionnement par satellite est fondée sur des mesures de temps de propagation des ondes radioélectriques émises par les différents satellites , il est crucial de compenser les décalages des horloges du récepteur et chaque satellite. La dérive de l'horloge satellite est contrôlée par des infrastructures au sol.

Cependant : il est nécessaire que le récepteur estime le décalage de son horloge embarqué par rapport au temps de référence du système de navigation en question.

Dans cette étude , nous considérons le cas où les décalages d'horloges associés aux autres systèmes de navigation peuvent être déductibles à partir de celui estimé.

En effet, une des stratégies proposées pour l'interopérabilité du GPS et de Galileo est de diffuser la différence entre les temps de références de ces deux constellations par le système GNSS

Ainsi , l'estimation d'un seul biais d'horloge associé à un des deux temps de référence est nécessaire

Par conséquent quatre paramètres inconnus doivent être en pratique estimés ; quatre mesures sont alors nécessaires pour résoudre le problème de positionnement par satellite

Du fait de la perturbation induite par le décalage de l'horloge récepteur sur la mesure de distance et des différents types d'erreurs .

Le récepteur GNSS :

Un récepteur GNSS est une combinaison de matériels et de logiciels capable de recevoir les signaux GNSS provenant de plusieurs satellites pour ensuite faire un traitement afin d'obtenir : une position utile, une vitesse , et des informations sur la synchronisation

Le système de positionnement GNSS utilise le concept de mesure de temps de propagation d'un signal émis par des satellites vers des récepteurs utilisateurs qui peuvent être des véhicules aéronautiques, maritimes ou même terrestres.

La distance entre l'émetteur et le récepteur est déduite du temps de propagation par simple multiplication par la vitesse de la lumière .

Le rôle du récepteur est d'acquiescer ces signaux émis à haute fréquence, de les traiter et de calculer à partir des mesures de distances satellites-porteurs une position dans un repère général.

Le récepteur doit obéir à des contraintes technologiques rigoureuses liées à l'utilisation de signaux haute fréquence, qui peuvent être brouillées ou dégradés, à des mesures de temps et à des calculs réalisés à haute résolution. De plus, il doit être capable de garantir l'intégrité de ses résultats.

4.7 du GNSS :

Il est escompté du GNSS qu'il répondrait aux besoins de toute la phase du vol et notamment des opérations à la surface des aéroports.

Cependant, les SARP actuelles, portent sur des opérations en route et en région terminale ainsi que sur les opérations d'approche et d'atterrissage jusqu'à l'approche de précision de catégorie 1.

4.7.1 Equipement de bord :

Les systèmes de navigation incluant un récepteur GNSS sont de deux sortes :

- ✓ Les systèmes GNSS autonomes « stand alone » sont des systèmes qui effectuent et affichent une information de navigation et/ou de guidage indépendamment des autres équipements de l'aéronef, et cela uniquement basée sur les données fournies par le récepteur GNSS ;
- ✓ Les systèmes multi-senseurs ou « multi capteurs » sont alors utilisés par le système de navigation qui utilisent plusieurs capteurs dont éventuellement un récepteur GNSS.

Les informations fournies par ce dernier sont alors utilisées par le système et peuvent éventuellement être combinées à d'autres informations provenant d'autres capteurs (IRS ; VOR ; DME etc...) pour élaborer et afficher les informations de navigation et/ou de guidage.

Afin d'opérer les procédures d'approche RNAV GNSS ; les aéronefs équipés de systèmes multi-senseurs devront être dotés d'un récepteur GNSS.

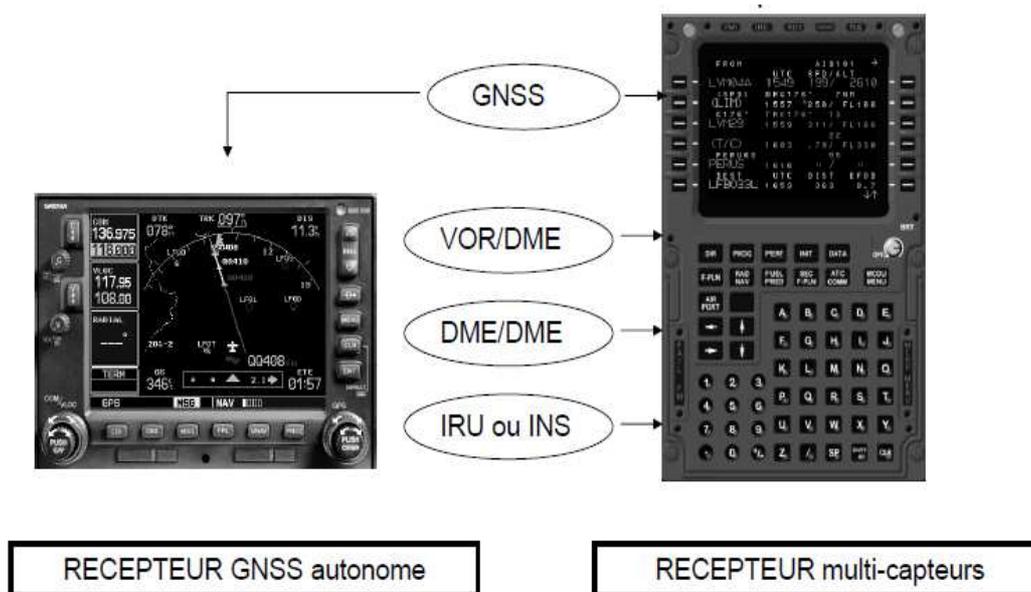


Figure 4.6 : récepteur GNSS autonomes et multi capteurs [1]

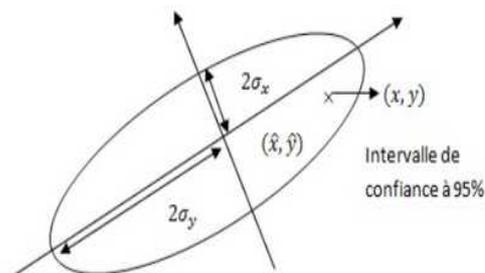
4.8 Critères de performances de navigation :

Les systèmes de navigation sont caractérisés par leurs performances pour les applications souhaitées, principalement telles qu'elles sont définies dans l'annexe 10 de l'OACI par les critères de précision, intégrité, disponibilité, continuité de services à respecter pour le vol envisagé dans le cadre d'un concept particulier d'espace aérien.

✓ Précision :

L'erreur de position du GNSS est l'écart entre la position estimée et la position réelle. En tout point, la probabilité que cet écart soit inférieur ou égal à la spécification de précision doit être d'au moins 95 %.

✓ Intégrité :



L'intégrité est la mesure du niveau de confiance dans l'exactitude des informations fournies par l'ensemble du système. Elle peut également être définie comme l'aptitude d'un

système à fournir au moment voulu des avertissements valables pour l'utilisateur (les alarmes) quand ce système ne doit pas être utilisé pour une opération (ou phase de vol) donnée.

✓ **Disponibilité :**

La disponibilité du GNSS se caractérise par l'intervalle durant lequel le système doit être utilisé pour la navigation et au cours duquel des données de navigation fiables sont présentées soit à l'équipage, soit au pilote automatique ou à tout autre système de gestion du vol.

✓ **Continuité de service :**

La continuité du service d'un système est son aptitude à remplir sa fonction sans interruptions non prévues pendant l'opération envisagée.

Donc la continuité d'un système est donc aussi la probabilité que les performances seront atteintes et cela pendant toute la durée d'un cycle d'opération (par exemple pendant une approche).

✓ **Couverture :**

Un système peut avoir soit une couverture globale ou bien régionale et peut être indispensable pendant des périodes plus ou moins longues ou avoir des manques de satellites.

4.10 Systèmes de renforcement :

Afin de pouvoir respecter les spécifications de performances opérationnelles (précision, intégrité, disponibilité, et continuité) durant toutes les phases du vol, le GPS et GLONASS doivent être renforcés à différents degrés.

Le système de navigation par satellite unifié GNSS englobe l'ensemble des systèmes de navigation présentés ci-dessus ainsi que des infrastructures supplémentaires, appelées augmentations. Elles sont regroupées selon trois catégories :

- * Systèmes de renforcement embarqués (ABAS) ;
- * Systèmes de renforcement par satellite géostationnaire (SBAS) ;
- * Système de renforcement par station sol (GBAS).

4.10.1 Systèmes de renforcement embarqués (ABAS) :

‘Airborne Based Augmentation System’ est un système de contrôle situé dans l’avion et qui a pour but de centraliser les données des autres éléments du GNSS, ainsi que l’hybridation avec d’autres outils de navigation tels que les systèmes de navigation inertielle.

Le système de renforcement ABAS est composé de deux techniques de contrôle d’intégrité définies comme suit :

✓ **RAIM :**

Cette fonction de contrôle autonome de l’intégrité par le récepteur est mise en œuvre dans les récepteurs GNSS autonomes .Elle permet de vérifier l’état des signaux reçus des constellations de satellites. La fonction RAIM émet une alerte indiquant la possibilité d’une erreur de position inacceptable quand elle détecte une incohérence dans l’ensemble de mesures de distance transmises par les satellites utilisées.

- ✓ **AAIM :** l’algorithme AAIM est mis en œuvre dans les systèmes multi-senseurs. Il exploite les propriétés complémentaires du GNSS et d’autres senseurs de navigation (notamment les centrales à inertie) pour combiner leurs mesures et élaborer un contrôle d’intégrité plus performant.

Tableau 4.1 : Comparaison entre RAIM et AAIM

| RAIM | AAIM |
|---|---|
| Contrôle autonome de l’intégrité par le récepteur. | Contrôle autonome d’intégrité par l’aéronef |
| Récepteur GNSS autonome Système multi-capteurs. | Systèmes multi capteurs. |
| Basé sur la redondance et la géométrie des satellites GPS | Basé sur la combinaison du signal GNSS avec autres capteurs |

4.10.2 Systèmes de renforcement par satellite (SBAS) :

Le SBAS est un système permettant de corriger les erreurs contenues dans les signaux des satellites, et cela en utilisant les informations provenant d'un réseau de station au sol par l'intermédiaire des satellites géostationnaires.

Ce système utilise un ou plusieurs satellites géostationnaires pour transmettre aux utilisateurs des signaux des constellations de base des données complémentaires de trois (3) types :

- Données concernant l'intégrité des données issues des constellations de base.
- Corrections régionales à appliquer aux données de constellations de base afin d'améliorer la précision ;
- Données de distance par rapport au satellite géostationnaire qui est alors vu par le récepteur comme un satellite GNSS supplémentaire.

Les récepteurs SBAS permettent d'effectuer des approches de non précision RNAV (GNSS). Avec généralement de meilleures performances, en particulier la disponibilité du contrôle d'intégrité, que le système de bord de type ABAS.

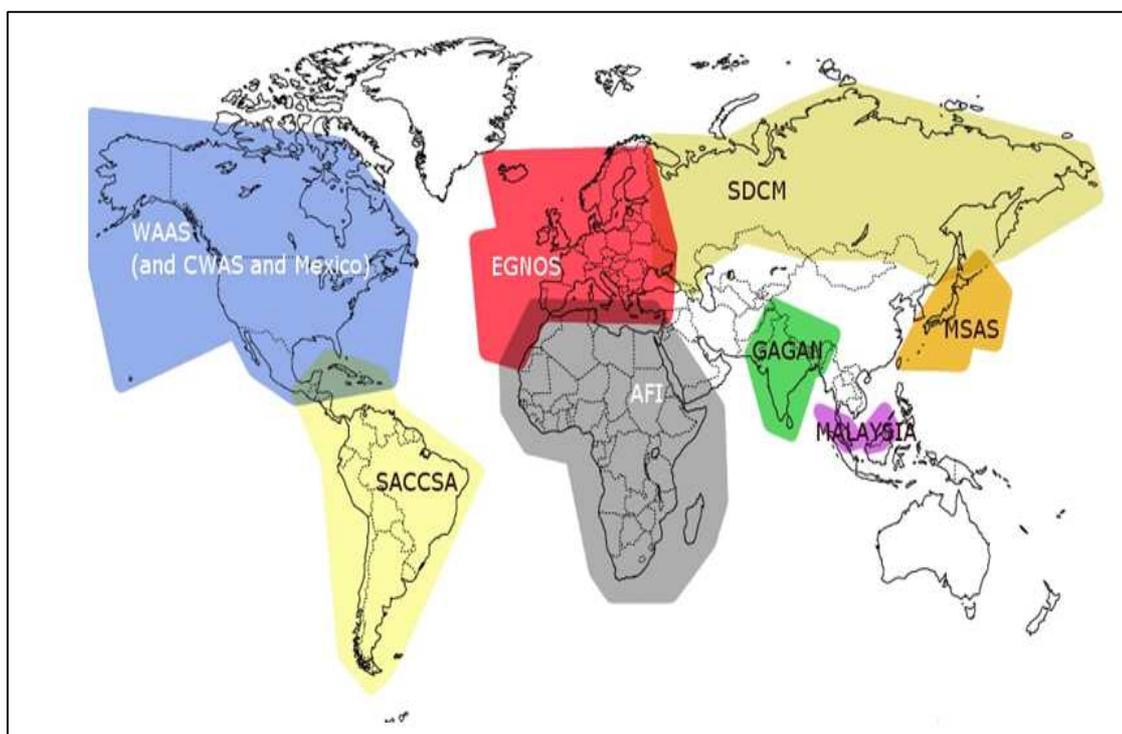


Figure 4.7 : les augmentations SBAS dans le monde []

4.10.3 Système de renforcement par satellite (GBAS) :

Le GBAS est un ensemble d'émetteurs au sol centralisant divers informations de corrections et d'intégrité provenant des différents satellites en vue et les transmettant à l'avion lorsque celui-ci s'approche du sol.

Les systèmes GBAS émettent sur les fréquences VHF. Leurs couvertures est d'une trentaine de kilomètres et permettent ainsi d'améliorer les performances des systèmes de navigation pour les phases de vol correspondant au décollage et à l'atterrissage de l'avion.

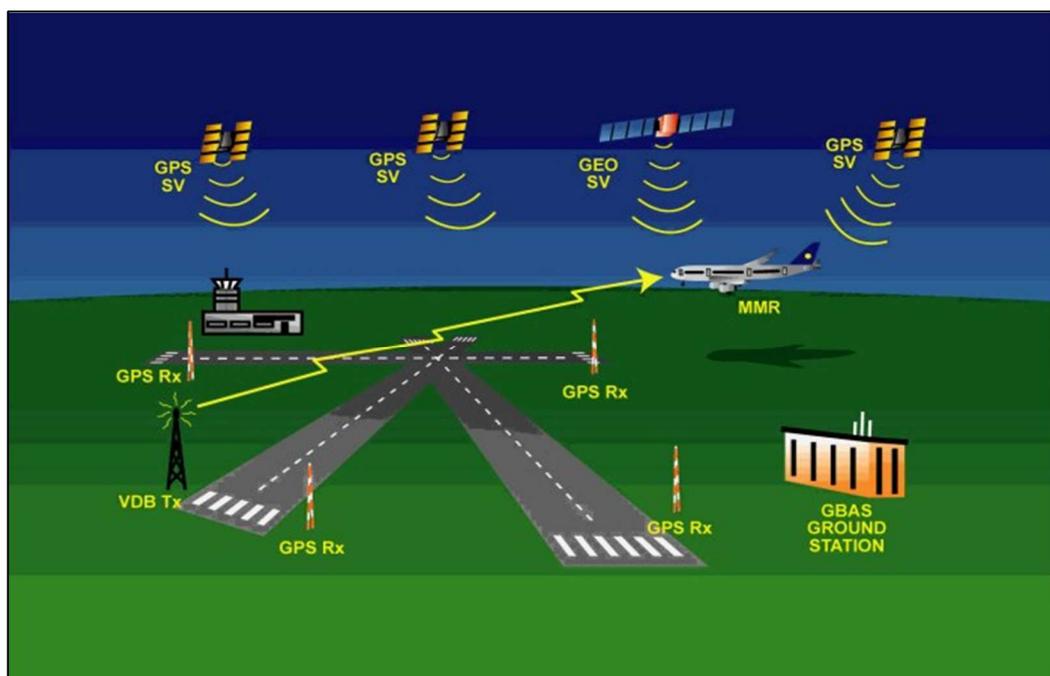


Figure 4.8 : Les augmentations GBAS

La **Figure 4.9** : résume les différents composants des systèmes GNSS ainsi que les différentes augmentations mises en œuvre pour améliorer les performances des systèmes.

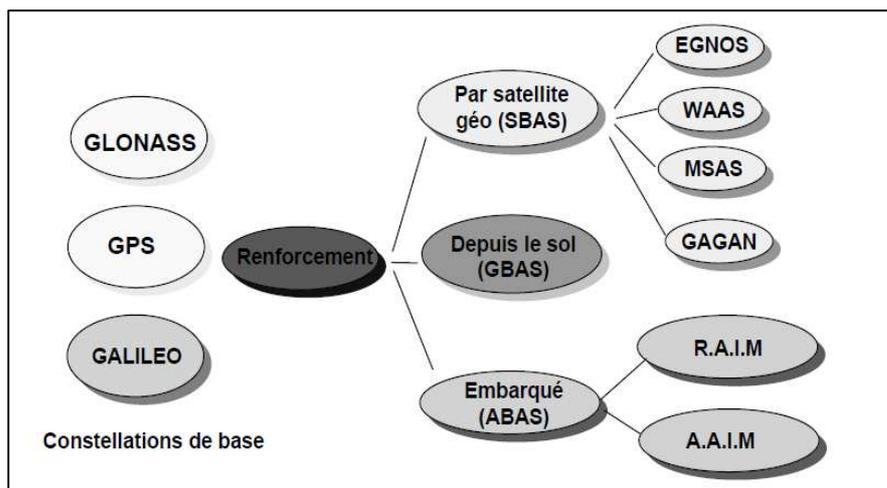


Figure 4.9 : Définition OACI du GNSS

4.11 Les avantages du GNSS :

- De nombreux États ont mis en œuvre des opérations GNSS de base sans élaborer un bilan de rentabilité détaillé, parce que l'infrastructure du système de navigation (GPS) était fournie gratuitement. De nombreux exploitants d'aéronefs ont décidé de s'équiper d'avionique TSO C129 standard lorsqu'ils ont calculé les économies de carburant que procurent des acheminements directs et les économies associées à des minimums d'approche plus bas ;
- Une réduction des perturbations des vols et des coûts connexes, en offrant des minimums plus bas vers de nombreuses pistes ;
- Accès amélioré aux pistes où des contraintes de localisation empêchent l'utilisation d'aides classiques ;

4.12 Conclusion :

Dans cette partie, le principe de la navigation par satellite pour l'aviation civile ainsi que les différentes augmentations mises en œuvre pour améliorer les performances des systèmes ont été mises en évidence.

Pour l'OACI, le système de navigation par satellites GNSS a été conçu pour compléter ou remplacer dans un premier temps un certain nombre d'autres moyens de radionavigation comme les VOR, les NDB, et à plus long terme les ILS.

CHAPITRE 5

**CONCEPTION DES PROCEDURES
D'ATTENTE , D'APPROCHE, ARRIVEE
NORMALISEE AUX INSTRUMENTS.**

5.1 Introduction :

Ce chapitre sera axé sur l'élaboration d'une procédure d'approche basée sur les performances RNAV(GNSS) : configuration en 'T' pour l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene, piste 05

Ainsi que des arrivées normalisées aux instruments (STAR) ; et deux (2) attentes qui seront créés, la première se trouve au nord Est de l'aérodrome sur la radiale 053° de ALR, a une distance de 40 NM et la deuxième au nord-ouest se trouve sur la radiale 284° de ALR a une distance de 40 NM ; objet du thème de ce mémoire de fin d'études.

Ces procédures répondent au besoin des usagers de l'espace aérien tout en assurant la sécurité et en offrant des avantages aux compagnies aériennes tant du point de vue économique que sur le plan de l'exploitation.

Le présent chapitre sera subdivisé selon deux (2) sections, désignées et intitulées comme suit :

La section 1 : présentation de l'aérodrome d'Alger et analyse de la situation actuelle ;

La section 2 : Projet d'élaboration des procédures RNAV (GNSS) pour l'aérodrome d'Alger.

Section I :

*Présentation de l'aérodrome d'Alger et étude
de l'existant.*

5.1.1 Introduction

Cette section présente une description de l'aérodrome d'Alger, une collecte et une validation de données aéronautiques, des obstacles traités lors de l'étude, et aussi l'examen des procédures existantes.

Présentation de l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene :

L'aérodrome d'Alger est un aéroport civil situé sur la commune de Dar El Beïda à 16 km à l'est d'Alger. Premier aéroport algérien par son importance, il est désigné troisième meilleur aéroport d'Afrique en 2015.

Il porte le nom du 2^e chef de l'État algérien Houari Boumediene avec indicateur d'emplacement DAAG ; desservant la capitale algérienne et sa région (wilayas d'Alger, de Tipaza, de Blida, de Médea, d'Aïn Defla Boumerdès et de Tizi Ouzou). Il s'agit du plus important de tous les aéroports algériens. Sa capacité actuelle est d'environ 18 millions de passagers par an pour un flux réel de plus ou moins 9 millions en 2013[21]

Description de l'aérodrome d'Alger :[15]

Les paramètres géographiques sont les suivants :

- *Coordonnées du point de référence et emplacement de l'aérodrome :*
36° 41' 40'' N 003° 13' 01 '' E Intersection des TWY : B4, B5, A4 et A5.
- *Altitude :* 25 mètres .
- *Température de référence :* 30,6°C
- *Déclinaison magnétique/Variation annuelle :* 1° E (2019) 0° 6' E
- *Types de trafic autorisés :* IFR/VFR.
- *Altitude de transition :* 1200 m
- *Classification de l'espace aérien :* D

Caractéristiques dimensionnelles de l'aérodrome :

Caractéristique physique de la piste :

✚ Piste 05/23 :

- **Identification :** RWY 05/23.
- **Orientation vrai :** QFU 05 : 053° / QFU 23 : 233°
- **Longueur :** 3500m
- **Largeur :** 60 m
- **Pentes :** QFU : +0,09% / QFU 23 : 0,09%
- **Altitude du seuil :** QFU 05 : 22m / QFU 23 : 25m.
- **Nature de la surface :** Béton bitumineux.

✚ Piste 09/27 :

- **Identification :** RWY 09/27.
- **Orientation vrai :** QFU 09 : 092° / QFU 27 : 272°
- **Longueur :** 3500m.
- **Largeur :** 45m.
- **Pentes :** QFU 09 : 0.11% / QFU 27 : 0.11%.
- **Altitude du seuil :** QFU09 : 17 m / QFU 27 : 20 m.
- **Nature de surface :** Asphalte 78 F/D/W/T.

Distances déclarées :

Le tableau ci-dessous montre les différentes distances déclarées tel que TORA, TODA, ASDA, LDA :

Tableau 5.5 : Distances Déclarées [15].

| Piste | TORA (m) | TODA (m) | ASDA (m) | LDA (m) |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| RWY 05 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 |
| RWY 23 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 |
| RWY 09 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 |
| RWY 27 | 3500 | 3500 | 3810 | 3500 |

Balissage de piste et dispositifs lumineux d'approche :

Le tableau suivant montre les différents balisages lumineux de la piste (RWY 05/23) qu'elle est en cours de développement et construction et la piste (RWY 09/27) ainsi que les dispositifs lumineux d'approche :

Tableau 5.6 : Balisage lumineux de piste et dispositifs lumineux d'approche [15]

| Piste | THR | PAPI | Feux de bord de piste | Feux d'extrémité de piste |
|---------------|------|------------|-----------------------|---------------------------|
| RWY 05 | Vert | PAPI 3° | Blanc | Rouge |
| RWY 23 | Vert | PAPI 3,07° | Blanc | Rouge |
| RWY 09 | Vert | PAPI 3,03° | Blanc | Rouge |
| RWY 27 | Vert | PAPI 3° | Blanc | Rouge |

Type d'obstacle de l'aérodrome :

Dans l'étude deux types d'obstacle sont pris en considération :

Obstacle naturel :

Les altitudes des obstacles massifs (relief naturel) sont retirées directement des cartes topographiques obtenue de L'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) qui dispose d'une agence commerciale de vente des cartes topographiques et produits de la cartographie situé au : *Palais des expositions –Pins maritimes- Alger*, et les confirmer pour être plus précis à l'aide du logiciel de conception automatisé Géo TITAN

- Carte topographiques 1/200 00 : Blida, Tizi-Ouzou, Alger [9]
- Carte topographiques 1/50 000 : Che raga 5, Alger 6, Dellys7, Azeffoun 8, Tipaza 20, Boufarik 21, Rouiba 22, Bordj Mnael 23, Tizi-ouzou 24. [9]

 **Obstacle artificiel :**

Les différents obstacles minces et filiformes sur les aires d'approche et de décollage, et l'aire de manœuvre à vue de l'aérodrome d'Alger :

Tableau 5.2 : Obstacle artificiels

| Piste | Type d'obstacle | Hauteur | Coordonnées |
|---------------|------------------------|--------------------|--|
| RWY 09 | Château d'eau | 31.84 M ALT60.64 M | QDR 87.15° et à 2746M du THR 27 |
| RWY 09 | Bâtiment | 18 M ALT28 M | 364135.8N 0030932.5E |
| RWY 23 | Antenne LLZ | 1.10 M ALT26.10 M | 364131.96N 0031303.06E |
| RWY 27 | Minaret | 290 M | 364408.93N 0030816.933 E |
| RWY 27 | Torche de raffinerie | 100 M ALT120 M | 364051.89 N 0030724.03 E |
| RWY 27 | Stade de Baraki | 51.91 M ALT64.11 M | position à l'ouest de l'aérodrome, 4300M de la THR09, au prolongement de RCL 27. |
| RWY 27 | Bâtiment | 124M 385 M | 364606.313 N 0030111.405 E |
| RWY 05 | New TWR | 72 M ALT 87.17 M | 364156.03N 0031234.28E |

Installation de télécommunication des services de circulation aérienne qui se trouvent sur l'aérodrome d'Alger sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5.3 : Installation de télécommunication[15]

| Désignation du service | Indicatif d'appel | Fréquences | Heures de fonctionne ment | Observations : |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------|--|-----------------------|
| TWR | ALGER TOUR | 118.7 – 119.7(s) | H 24 | |
| APP | ALGER APP | 121.4 -- 120.8 (s) | H 24 | |
| SOL | ALGER SOL | 121.8 | H 24 | |
| VDF | ALGER GONIO | 121.4 – 119.7(s) | H 24 | |
| ATIS | ALGER | 128.525 | H 24 | Langue : Anglais. |

Aide de radionavigation et d'atterrissage :

Tableau 5.4 :Aide de radionavigation et d'atterrissage

| Type d'aide CAT d'ILS/MLS (pour VOR/ILS/MLS indiquer déclinaison) | Identification | Fréquences | Heures de fonctionnement | Coordonnées de l'emplacement de l'antenne d'émission | Altitude de l'antenne d'émission DME | Observations |
|--|----------------|--------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| DVOR/DME (1°E 2017) | ALR | 112.5 MHZ (CH 72 X) | H 24 | 364127.59N 0031255.73E | | |
| DVOR/DME (1°E 2017) | ZEM | 116.6 MHZ (CH 113 X) | H 24 | 364742N 0033415E | | 200NM / FL 400 |
| DVOR/DME (1°E 2017) | SDM | 113.9 MHZ (CANAL 86X) | H 24 | 363747.69N 0025821.50E | | |
| NDB | SMR | 370 KHZ | H 24 | 364134.39N 0030523.54E | | |
| NDB | MAR | 416 KHZ | H 24 | 364105.15N 0024655.78E | | |
| NDB | ZEM | 359 KHZ | H 24 | 364746.22N 0033418.46E | | |
| LOC23/ILS CAT III (1°E 2017) | AG | 110.3 MHZ | H 24 | 364131.96N 0031303.06E | | 233°/300 M du THR05. |
| GP 23 | | 335 MHZ | H 24 | 364236.54N 0031457.00E | | 343M du THR23 et 120M à gauche de RWY 23. |
| DME | AG | CH 40 X | H 24 | 364236.54N 0031457.00E | | Co-implanté avec le GP 23 |
| LOC09/ILS CAT II (1°E 2017) | HB | 108.5 MHZ | H 24 | 364127.78N 0031247.89E | | 092°/300 M du THR27. |
| GP 09 | | 329.9 MHZ | H 24 | 364127.40N 0031027.40E | | 300M du THR09 et 120M à droite de RWY 09. |
| DME | HB | CH 22X | H 24 | 364127.40N 0031027.40E | | Co-implanté avec le GP 09 |
| OM 23 | 2 traits/sec | 75 MHZ | H 24 | 364505.98N 0031851.56E | | |

Description de shema de circulation aérienne de l'aérodrome d'Alger :

TMA ALGER :

Comme tout aérodrome de densité de trafic importante , l'aerodrome d'Alger est doté d'une région de contrôle d'Approche (TMA), cette dernière se décrit par un Segment de droites joignant les points : 364000N 0021055E - 360500N 0022600E 360500N 0035104E - 364500N 0043000E 365900N 0043000E Puis arc de rayon 64NM centré sur le DVOR/DME ALR (364127.59N 0031255.73E) jusqu'au point 373000N 0040444E, ensuite segment de droite jusqu'au point 373128N 0031256E puis arc de rayon 50NM centré sur le DVOR/DME ALR jusqu'au point 364000N 0021055E.

Cette TMA est classifiée en espace « D » c'est à dire qui est généralement de la surface à 2 500 pieds au-dessus de l'altitude de l'aéroport, les vols VFR est contrôlé, c'est-à-dire qu'il est soumis à contact radio et clairance avant de pénétrer. C'est le contrôleur contrôle les caps et les niveaux pour séparer les IFR entre eux, le service du contrôle entre IFR/VFR et VFR/VFR se borne à apporter une assistance aux pilotes pour assurer « voir et éviter » dès que la séparation risque de passer en dessous de la norme. Autrement dit, l'outil utilisé pour le service du contrôle est « l'information de trafic », qui sera renouvelée jusqu'à ce que les pilotes acquièrent un contact visuel.

Trajectoire IFR :

Vue que la densité de trafic aérien sur l'aérodrome d'Alger est assez importante et qui progresse d'une année à l'autre , donc les arrivées et les départs sur cet aérodrome sont des procédures de départs normalisé aux instruments et des arrivées normalisé aux instruments (STAR) (des trajectoires qui ne sont pas encore publiées) et des procédures de départs normalisé aux instruments (SID) et des approches . (Voir ANNEXE A).

5. Problématique :

Les contraintes opérationnelles :

Suite à l'utilisation du schéma de circulation aérienne existant par les différents usagers de l'espace aérien.

Tel que les pilotes et les contrôleurs d'approche de l'aérodrome d'Alger, et la présence de plusieurs zones à statut particulier et des nouveaux obstacles artificiels aux abords de l'aérodrome d'Alger :notamment le minaret Djamaa EIDjazair, la torche et le Stade de Baraki ce qui a engendré des contraintes sur la bonne gestion de trafic aérien en matière de fluidité et d'efficacité du trafic due au contraintes des procédures de vol existantes.

Et vu le plan d'action relatif à la mise en œuvre de la navigation fondée sur les performances (PBN) en Algérie, élaboré par un groupe de travail créé par une décision N° 1016 SG/DACM du 07 Avril 2015 Ministère des Transports.

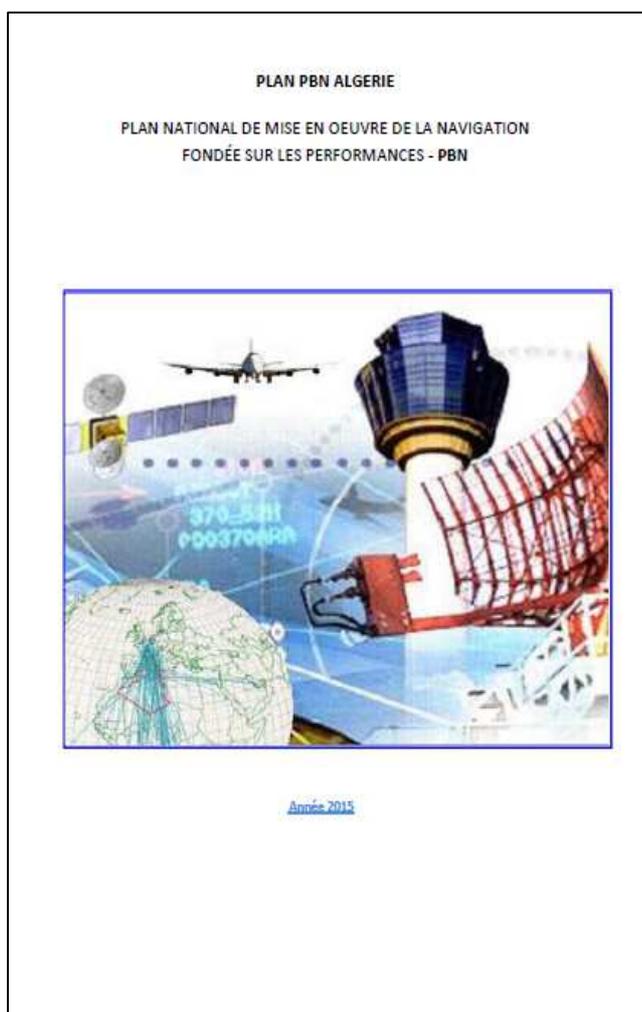


FIGURE 5.1 : PLAN PBN ALGERIE

<https://www.icao.int/safety/pbn/PBNStatePlans/Algeria%20PBN%20Implementation%20Plan.pdf>

Le plan national suivant est proposé pour la mise en œuvre des opérations PBN en FIR Alger. Il est établi sur trois périodes : court terme (2015/2019), moyen terme (2020/2024) et long terme (2025 et après). Les objectifs et les moyens envisagés pour les atteindre sont précisés pour les différentes phases de vol.

1. Court terme (2015/2019) :

Cette première phase constitue une transition partant de l'existant en termes de moyens terrestre et de moyens à bords. Ses objectifs sont :

1. mettre en place les instances de travail définies pour valider avec l'ensemble des acteurs les hypothèses de travail,

Poursuivre le déploiement déjà amorcé de certaines opérations PBN dans les différents types d'espaces aériens en FIR Alger, en fonction des priorités identifiées.

Les différentes spécifications de navigation retenues pour accompagner cette transition sont, par domaine :

- ✚ *En route* : RNAV 5 ;
- ✚ *Espace terminal* : RNAV 1 ;
- ✚ *Approche* : RNP APCH.

• Espace En- Route :

Le réseau fondé sur la spécification de navigation RNAV-5 sera déployé durant ce terme (court terme) en FIR Alger. Une route RNAV en Algérie est caractérisée par les lettres UN, UM, suivie d'un chiffre

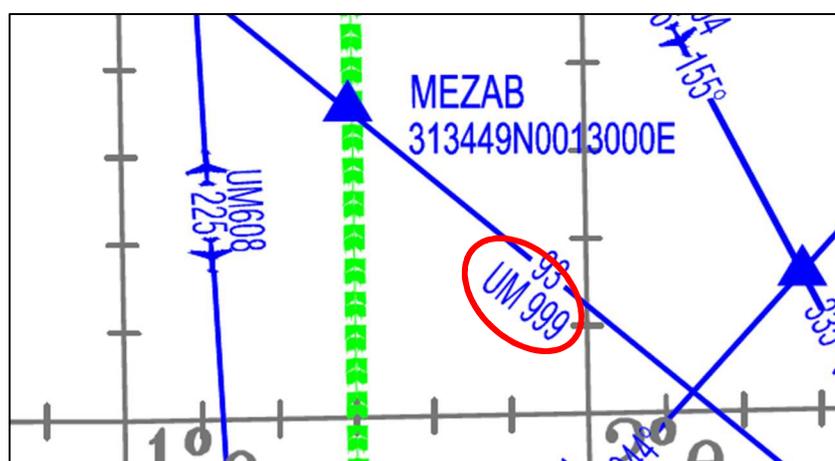


Figure 5.5 : Exemple route RNAV Algérie [21]

Ce réseau de route repose sur un ensemble d'aides à la navigation aérienne dont les chiffres suivants illustrent l'importance :

- ❖ VOR : 40
- ❖ DME : 40
- ❖ NDB : 33
- ❖ LOCATOR : 5
- ❖ ILS : 25

- **Espace terminal :**

Actuellement toutes les routes RNAV implémentées en espace terminal en FIR Alger sont de type conventionnel. Le réseau fondé sur la spécification de navigation RNAV-1 ou RNP-1 de base sera déployé durant ce terme (court terme).

L'Algérie s'engage dans la mise en œuvre progressive des trajectoires RNAV-1 dans les régions de contrôle terminales avec surveillance radar.

Durant cette phase un retrait progressif de certains moyens de radionavigation en remplaçant certaines trajectoires conventionnelles par les nouvelles trajectoires RNAV1 ou RNP 1. Toutefois, ce processus de rationalisation doit être pondéré et l'étude sera menée en coordination avec les opérateurs aériens concernés.

- **Approche :**

Les objectifs visés sont la publication, d'ici fin 2019 (GNSS est obligatoire) d'approches RNAV(GNSS) sur l'ensemble des extrémités de pistes des aéroports IFR contrôlés dotés de services d'approche (Alger, Oran, Constantine, Annaba, Hassi messaoud) dont un certain nombre avec guidage vertical (APV Baro-VNAV).

Durant cette phase des études peuvent être initiées également pour la mise en œuvre de procédures RNP-AR APCH sur les aéroports dont l'environnement opérationnel est complexe.

De même certaines procédures ILS Cat I pourraient être remplacées par une procédure APV. Ces analyses seront menées au cas par cas. Les éléments suivants devront être pris en compte :

- ✓ environnement (obstacles) ;
- ✓ équipement des usagers fréquentant l'aéroport ;

- ✓ rentabilité économique (trafic justifiant le maintien de l'installation) ;

2. Moyen terme (2020/2024) :

Cette seconde phase doit consolider les choix et hypothèses de la phase initiale « le court terme ». L'objectif principal est de renforcer les changements induits par cette première phase et d'améliorer les bénéfices dus aux trajectoires PBN par la mise en œuvre de spécifications de navigation plus précises.

Les différentes spécifications de navigation retenues pour accompagner cette phase sont :

-  En route : RNAV 5 (réflexions lancées sur l'application de l'Advanced RNP) ;
-  Espace terminal : RNAV 1 (réflexions lancées sur l'application de l'Advanced RNP) ;
-  RNP APCH pour les approches avec un guidage vertical barométrique

3. Long terme (2025 et après) :

Cette troisième phase se caractérisera par la mise en œuvre du règlement 'PBN' et en particulier par la mise en vigueur de l'obligation d'emport qui sera définie par ce règlement.

Cette phase devrait donc permettre une nouvelle étape de rationalisation du réseau d'installations sol défini jusqu'alors (ILS, VOR et DME).

Section II :

*Projet d'élaboration des procédures RNAV (GNSS)
pour l'aérodrome d'Alger.*

Introduction :

Une application des critères de conception des procédures d'approches et d'arrivées RNAV GNSS figurant au chapitre 1 est nécessaire afin d'exposer les différentes propositions de solutions à la problématique définie dans la partie hypothèse et dégager ainsi les principaux avantages dus à leur utilisation sur l'aérodrome d'Alger.

Hypothèse :

L'aérodrome d'Alger dispose d'une piste principale (05/23) d'une longueur de 3500 m

La nouvelle procédure d'approche reposera sur le GNSS de base et sera élaborée sur le seuil 05. Ce choix ainsi proposé vise à réduire la forte densité de trafic sur les deux pistes et d'après l'analyse de situation la TMA Alger caractérisé par des routes d'arrivée longues engendrant un plus grand temps d'exécution et donc une surconsommation de carburant.

Avant l'élaboration de la procédure il est nécessaire d'éprouver en considération les zones DA-R84A et DA-R84B. De Boufarik que l'aéronef doit contourner ou bien la survoler avec une séparation verticale de 1000 ft.

| | | |
|--|----------------------------------|---------------------------------------|
| <p>DA - R84A BOUFARIK</p> <p>Segments de droites joignant les points :</p> <p>364005N 0024935E - 363950N 0025740E</p> <p>363745N 0030020E - 363400N 0025648E</p> <p>363445N 0024035E - 364005N 0024935E</p> | <p><u>2500 FT</u></p> <p>GND</p> | <p>H 24</p> <p>Exercices aériens.</p> |
| <p>DA - R84B BOUFARIK</p> <p>Segments de droites joignant les points :</p> <p>363400N 0025648E - 363145N 0024035E</p> <p>362550N 0024745E - 363400N 0025648E</p> | <p><u>FL 50</u></p> <p>GND</p> | <p>H 24</p> <p>Exercices aériens.</p> |

Choix de type de procédure :

L'élaboration de la procédure RNAV proposé sera appuyée sur le GNSS de base et consistera à passer par des repères avec attente point fixe.

Ses repères seront déterminés sous formes de points de cheminement défini par une latitude et une longitude en degré, à une précision minimum d'un centième de seconde d'arc ou une précision équivalente.

Dans la procédure RNAV(GNSS) sur visée, 6 (six) points de cheminements au maximum seront utilisés depuis le segment d'approche initiale jusqu'au point de l'approche interrompue.

TAA :

Altitude minimale d'arrivée est de 5200 ft

MFO Applicable :

| Altitude du relief | MFO |
|---------------------------|--------------|
| Inférieur à 900 m | 300 m |
| Entre 900 m et 1500 m | 450 m |
| Supérieur à 1500 m | 600 m |

Construction des segments des procédures :

Après études des scénarios et l'analyse de la situation actuelle de l'environnement de l'aérodrome d'Alger ; seuls les routes qui présentent un avantage opérationnels seront établies et publiées.

La construction se subdivise des segments suivants :

- ✓ Segment d'approche final ;
- ✓ Segment d'approche intermédiaire ;
- ✓ Segment d'approche initiale ;
- ✓ Segment d'approche interrompue ;
- ✓ Attente ;
- ✓ Arrivée.

Et prendre en compte une aire pour un tour de terrain en condition de vol à vue.

- **Segment d'approche final :**

C'est un segment de descente en vue de l'atterrissage qui devrait être alignée sur l'axe de la piste.

Début : FAF. 

Fin : MAPT.

 **Longueur :** La longueur optimale est de 9,3 km (5,0 NM), mais elle ne devrait pas normalement dépasser 18,5 km (10,0 NM).

Pour ma procédure après plusieurs propositions et scénarios j'ai opté pour une longueur de 6,7 NM (14,816 km)

Vérification des taux de descente :

$$Pente \% = h / d . 100$$

$$H = d . 0.0524$$

$$h = 6,7 \text{ NM} . 0.0524 = 776.3584 \text{ m au final}$$

$$h = 776,3584 + 22 \text{ m} + 15 \text{ m}$$

Ou :

22 m : l'altitude de seuil de piste par rapport au niveau moyen de la mer.

15 m : La hauteur du point de repère.

$$h = 813.3584 \text{ m} .$$

Sachant que 1 m = 3.2808 ft

Donc on a hauteur à 'FAF' :

$$h = 2668,4662 \text{ ft}$$

 **Pente :** prendre une pente optimale de : **5.24 %**.

 **Largeur de l'aire d'approche finale :** L'aire du segment d'approche finale s'obtient en appliquant la demi-largeur d'aire publiée pour le MAPt comme le montre le tableau suivant et construire une fusion de 15 ° comme indique la figure suivante

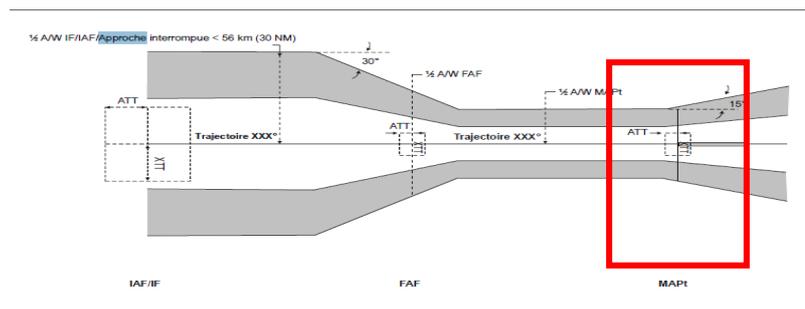


FIGURE 5.2 : LES DEMI-LARGEURS D'AIR D'UNE RNP APCH

Tableau 5.3 : XTT, ATT et demi-largeur d'aire pour la RNP APCH phases d'approche initiale/intermédiaire/finale et approche interrompue (NM) [8]

| <i>IF/IAF/Approche interrompue (<30 NM de l'ARP)</i> | | | <i>FAF</i> | | | <i>MAPt/approche interrompue en ligne droite initiale (LP/LPV seulement)</i> | | | <i>Approche interrompue (<15 NM de l'ARP)</i> | | |
|---|------------|----------------|------------|------------|----------------|--|------------|----------------|--|------------|----------------|
| <i>XTT</i> | <i>ATT</i> | <i>1/2 A/W</i> | <i>XTT</i> | <i>ATT</i> | <i>1/2 A/W</i> | <i>XTT</i> | <i>ATT</i> | <i>1/2 A/W</i> | <i>XTT</i> | <i>ATT</i> | <i>1/2 A/W</i> |
| 1,00 | 0,80 | 2,50 | 0,30 | 0,24 | 1,45 | 0,30 | 0,24 | 0,95 | 1,00 | 0,80 | 2,00 |

La méthode de fusion exposée entre des largeurs différentes :

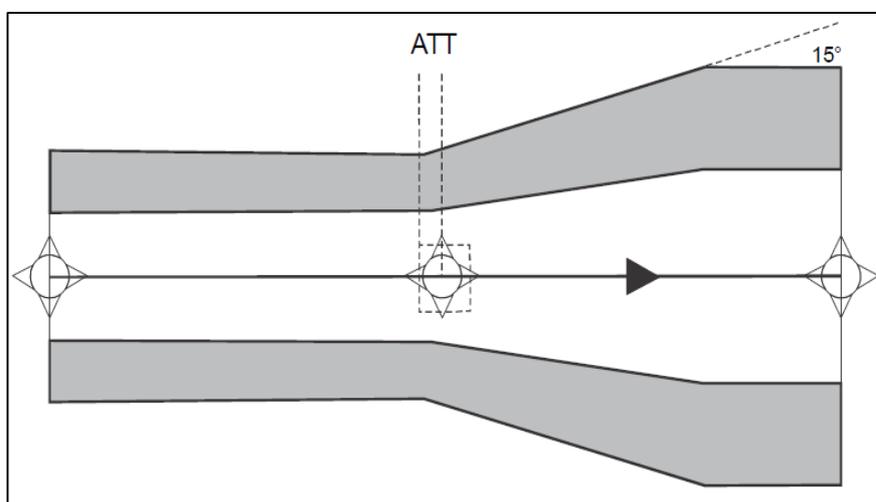


FIGURE 5.3 : FUSION DE SEGMENTS DE LARGEURS DIFFERENTES [8]

* Type de point de cheminement : par le travers (fly-by) 

* Altitude de franchissement d'obstacle :

$$OCA = Alt\ Obs\ pén + MFO$$

Obstacle plus pénalisant : est l'obstacle artificiel mentionné dans AIP Algérie comme « NEW TWR » avec une altitude de 87,17 m

On mentionne ce point dans le calque à l'aide du logiciel SERVAERO qui est un logiciel technique qui permet de calculer la distance entre deux points à partir des coordonnées des deux points géographiques

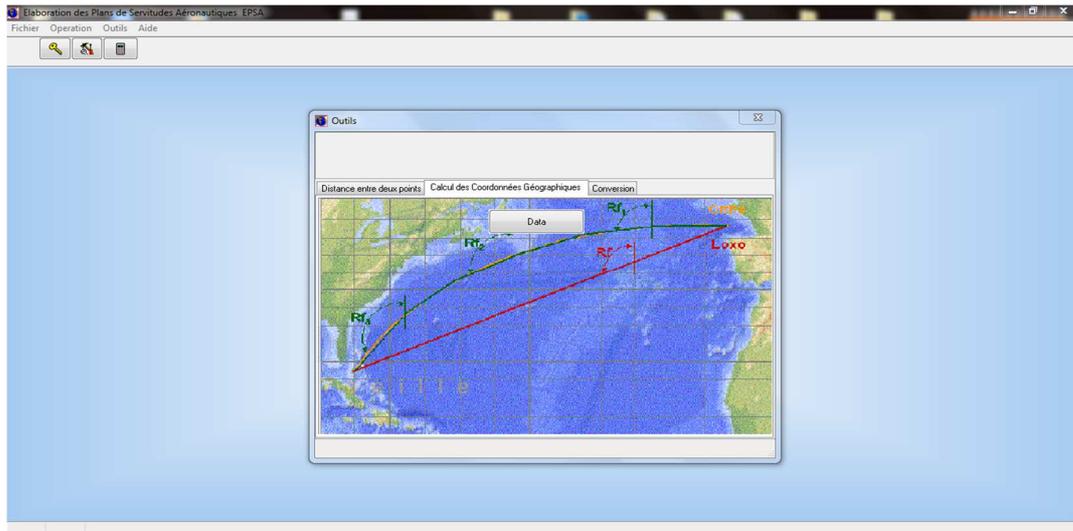
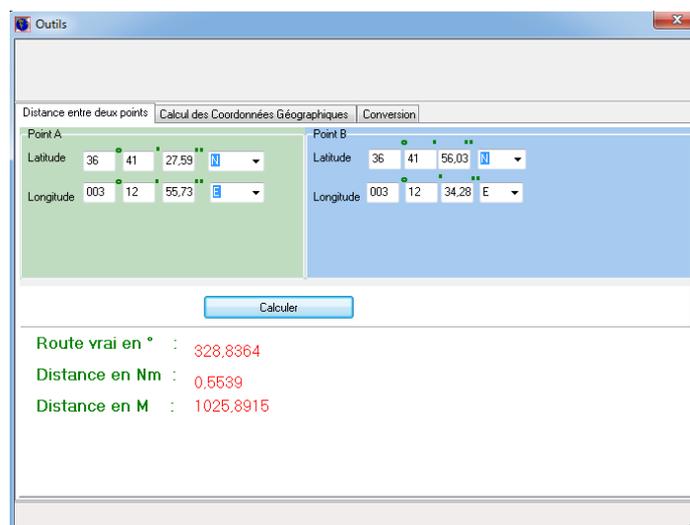


FIGURE 5.4 : SURFACE DU LOGICIEL SERVAERO

Latitude : 36°41'56.00"N

Longitude : 003°12'34.28"E



Route Vrai en (°) : 328.8364

Distance en (NM) : 0.5539

Distance en (M) : 1025.8915

MFO = 87,17m + 75 m = 162.17m

$$MFO = 162,17 \text{ m}$$

• **Segment d'approche intermédiaire :**

Début : IF

Fin : FAF



Le segment intermédiaire avec un virage par le travers à l'IF comprend deux composantes :

- a) une composante virage ;
- b) ensuite, une composante rectiligne immédiatement avant le point de cheminement d'approche finale.

a) le composant virage est un virage de 90 ° de code RF : les paramètres sur lesquels les aires de virage sont basées, ainsi que les variables qui les représentent dans les dessins

✚ Altitude. : 271.725 m + 813,3584 m = 1085.0834 m

$$h = 3559,075 \text{ ft}$$

✚ Vitesse indiquée (VI) : prendre une vitesse indiquée limitée pour IAS=Vi=185 kt

✚ Pente de descente : on va appliquer le principe de repere de palier de descente (SDF)

Donc pour une longueur de segment optimale de 5 NM :

- 2,2 Nm pente de 0 %
- 2.8 Nm pente de 5.24 %

Tableau 5.6 : Vitesses (VI) pour les calculs de procédures, en nœuds (kt)

| Catégorie d'aéronefs | V _{at} | Fourchette de vitesses pour l'approche initiale | Fourchette de vitesses d'approche finale | Vitesses maximales pour manœuvres à vue (approche indirecte) | Vitesses maximales pour approche interrompue | |
|----------------------|-----------------|---|--|--|--|----------|
| | | | | | intermédiaire | finale |
| A | <91 | 90/150(110*) | 70/100 | 100 | 100 | 110 |
| B | 91/120 | 120/180(140*) | 85/130 | 135 | 130 | 150 |
| C | 121/140 | 160/240 | 115/160 | 180 | 160 | 240 |
| D | 141/165 | 185/250 | 130/185 | 205 | 185 | 265 |
| E | 166/210 | 185/250 | 155/230 | 240 | 230 | 275 |
| H | S/O | 70/120** | 60/90*** | S/O | 90 | 90 |
| CAT H (PinS) *** | S/O | 70/120 | 60/90 | S/O | 70 ou 90 | 70 ou 90 |

$$VV=Vi \times k$$

Où :

k : est le facteur de conversion (voir ANNEXE ...)

$$VV = 189.198 \text{ kt} \longrightarrow VV = 350.39 \text{ km/h.}$$

$$VV = 97,33 \text{ m/s}$$

Le rayon de virage est de $r = (TAS^2) / (g \cdot \tan i)$

$$r = (97.33)^2 \cdot (9.81 \cdot 0.4663)$$

$$r = 2186,2 \text{ m}$$

✚ Effet du vent :

$$E_{\theta} = (\theta / R) * (w/3600)$$

✚ Vent : est de 30 kt ;

✚ Angle d'inclinaison latérale (α) : $\alpha = 25^\circ$

✚ Tolérances techniques de vol :

* Temps d'établissement d'inclinaison latérale : 5 secondes ;

* Temps de réaction du pilote : est de 6 secondes.

✚ Vitesse angulaire du virage :

$$R = (3431 \text{ tg } 25) / 3.14 * 189.198) \quad [8]$$

$$R = 2.69 \text{ }^\circ/\text{s}$$

✚ Construction de la spirale de vent :

$$E_{\theta} = (\theta/R) * (w/3600) \text{ km (NM)}$$

On a :

- $E_{90} = 0,278 \text{ NM}$;
- $E_{120} = 0,37 \text{ NM}$;
- $E_{150} = 0,4646 \text{ NM}$;
- $E_{180} = 0,557 \text{ NM}$;
- $E_{225} = 0,697 \text{ NM}$;
- $E_{270} = 0,836 \text{ NM}$

Et on calcule les points b_2, c_2, \dots, n_2 , situés sous un angle $\arcsin (w/V)$ avant b_1, c_1, \dots, n_1 et à une distance E_{θ} du point b, c, \dots, n respectivement ;

Avec : $(w/V) = 0,158$ (sans unité)

$$\text{Arc sin } 0,158 = 9.12^\circ$$

La construction de la spirale du vent pour la procédure d'approche est présentée dans la page suivante :

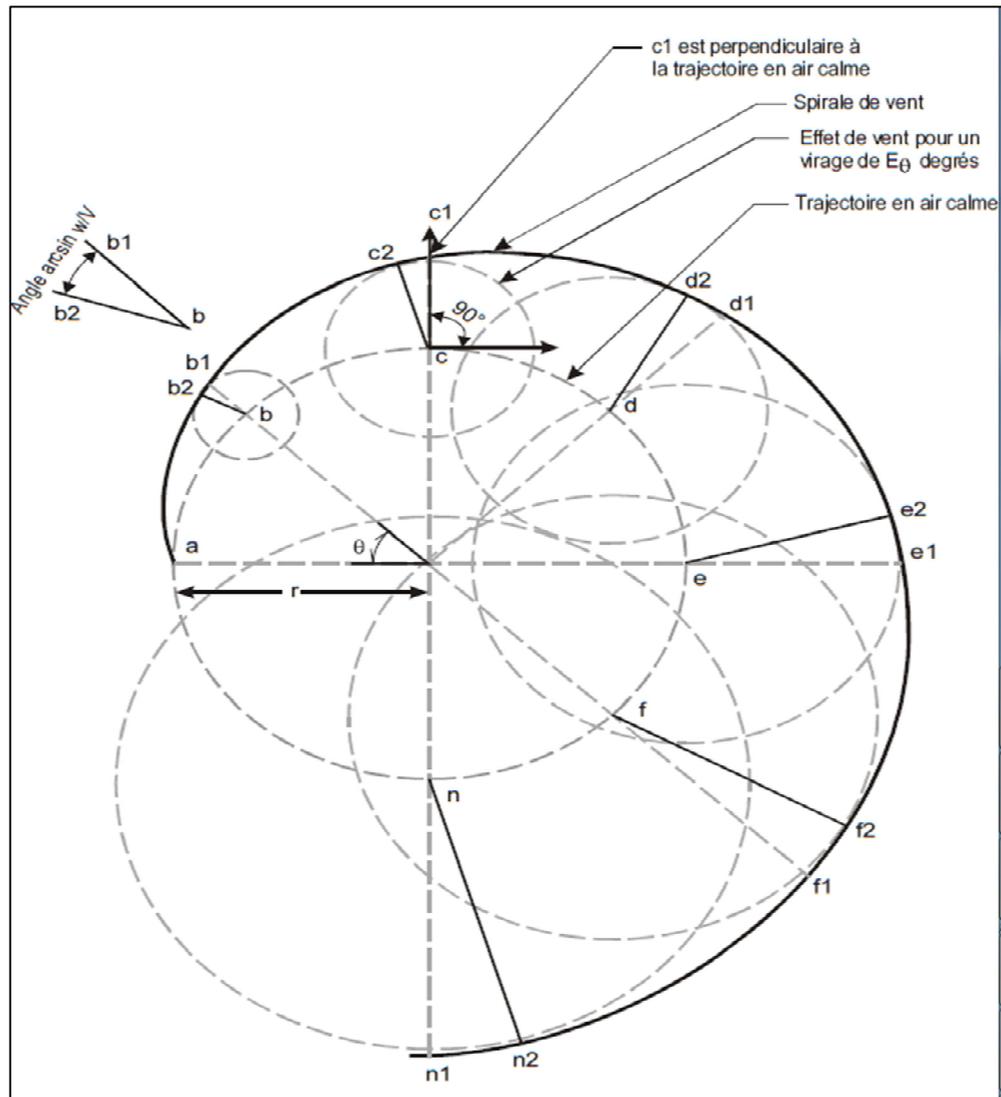


FIGURE 5.5 : CONSTRUCTION D'UNE SPIRALE DE VENT [1].

✚ Calcul des points de virage amont et aval :

- Point de virage amont : avant le point de cheminement

$$KK' = ATT + r \tan A/2$$

$$KK' = 0,8 \text{ NM} + 1,2867 \text{ NM}$$

$$KK' = 2,0867 \text{ Nm} \longrightarrow 4,76 \text{ cm sur carte}$$

- Aval : distance de mise en virage

$$SS' = r \operatorname{tg} A/2 - ATT - \text{temps réaction du pilote (6 s)}$$

$$D = 97,33 * 6 \text{ s} = 583,98 \text{ m}$$

$$SS' = 1,2867 \text{ Nm} - 0,8 \text{ Nm} - 0,36225 \text{ Nm}$$

$$SS' = 0,1244 \text{ Nm} \longrightarrow 0,46 \text{ cm sur calque.}$$

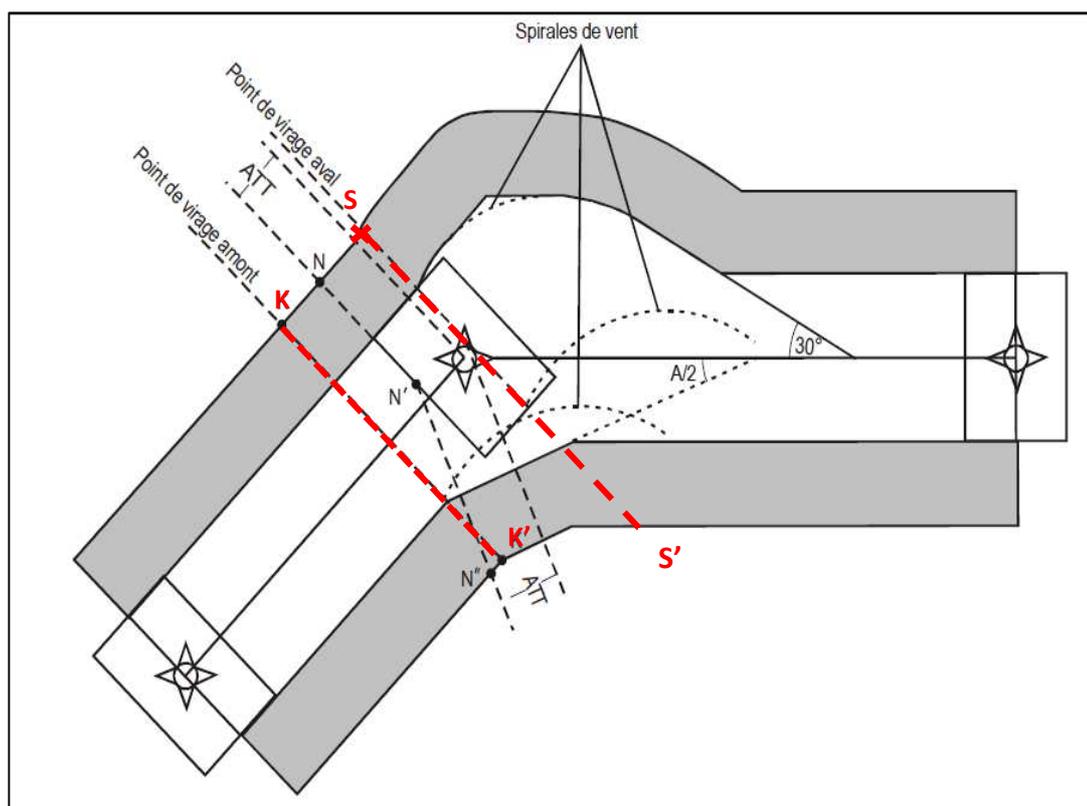


FIGURE 5.6 : CONSTRUCTION D'UNE SPIRALE DE VENT [8].

✚ Pente de descente : pour ce segment, on va appliquer le principe

- **Segment d'approche initiale :**

Début : IAF.



Fin : IF



✚ Longueur : Dans le cas du GNSS, la longueur optimale du segment d'approche initiale est de 5 NM et le maximum est de 10 NM avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ Nm de } 0\% \text{ de pente ;} \\ 5 \text{ Nm de } 5.5\% \text{ de pente.} \end{array} \right.$$

Dans le calcul de la pente (g1) entre l'IAF et le repère de palier de descente :

d1 = distance horizontale entre le IAF et le SDF ;

h1 = distance verticale entre la hauteur du FAF et la hauteur du SDF ;

2) dans le calcul de la pente (g2) entre le repère de palier de descente et le IF :

d2 = distance horizontale entre le SDF et le IF ;

h_2 = distance verticale entre l'altitude/hauteur au SDF et l'altitude de IF

✚ Hauteur au point IAF : $h_1 + h_2 = (d_1 \cdot 0.055) + (d_2 \cdot 0 \%)$

$$h = d \cdot 0.055$$

$$h = 5 \text{ Nm} \cdot 0,055 \longrightarrow h = 509,3 \text{ m}$$

$$h = 509.3 \text{ m} + 1085.0834 \text{ m}$$

$$h = 1580.383 \text{ m}$$

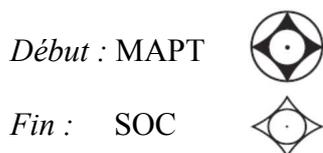
$$\boxed{h = 5209,5 \text{ ft}}$$

✚ Largeurs d'aires : comme l'indique le tableau 5.9

- **Segment d'approche interrompue** : Une procédure d'approche interrompue sera établie pour chaque approche aux instruments et spécifiera un point où la procédure commence et un point où elle se termine. notre procédure d'approche interrompue est amorcée au point de repère d'approche initiale

✚ Type d'approche interrompue : une approche interrompue avec virage.

I. *Approche interrompue initiale* :



La détermination du SOC sera définie avec un MAPt défini par une installation de navigation ou un repère (point de cheminement).

Ce qui fait le SOC est déterminé par la somme suivante

1) Tolérance intégrale de l'installation / repère (MAPt) c'est-à-dire le ATT du MAPt qui est égale à 444m

2)

$$\boxed{\text{Distance de transition}} = \boxed{\begin{array}{l} \text{Temps de réaction de pilote 3s à} \\ \text{la vitesse maximale d'approche} \\ \text{finale pour la catégorie de} \\ \text{l'aéronef la plus rapide 'D'} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{l} \text{Facteur} \\ \text{vent} \\ \text{arrière} \end{array}}$$

○ *Application numérique* :

Tolérance intégrale de l'installation ou du repère : ATT = 0.24 NM = 444,4 m

* $V_i = 185 \text{ kt}$

* *Altitude de l'aérodrome* = 25 m

- * température 30.6 °C :ISA+15

D'après le tableau de facteur de conversion qui se trouve dans « l'ANNEXE B » :

- * $K = 1.0261$
- * $VV = 189,827 \text{ kt}$
- * *Distance de transition*
- * *Temps réaction du pilote : 3s* **→** $(189.827 \text{ kt} + 10 \text{ kt}) * 3s$
- * $d = 307.12332 \text{ m}$

$$d = 0,1657 \text{ Nm}$$

Donc la tolérance de MAPt :

$$0,24\text{Nm} + 0.1657 \text{ Nm} = 0,4057 \text{ NM} \quad \dots(1)$$

- * *Distance de transition (X) : 15 secondes pour VV approche finale + le facteur du vent*

$$X = (199,8285 \text{ kt}) * 15 \text{ sec}$$

$$X = 1535,61 \text{ m}$$

$$X = 0.829 \text{ Nm} \quad \dots(2)$$

Donc la position du SOC (START OF CLIMB) : Tolérance MAPt + X

$$= 0.4057 \text{ Nm} + 0.829 \text{ Nm}$$

$$\text{Position SOC} = 1.2347 \text{ Nm}$$

✚ Pente de montée : dans la phase initiale la pente est nulle et la trajectoire de vol est horizontale et aucun virage ne peut être spécifié dans cette phase.

II. *Approche interrompue intermédiaire :*

La phase intermédiaire commence au SOC jusqu'au premier point ou une marge de franchissement d'obstacle de 50 m 164 ft.

Début : SOC

Fin : TP



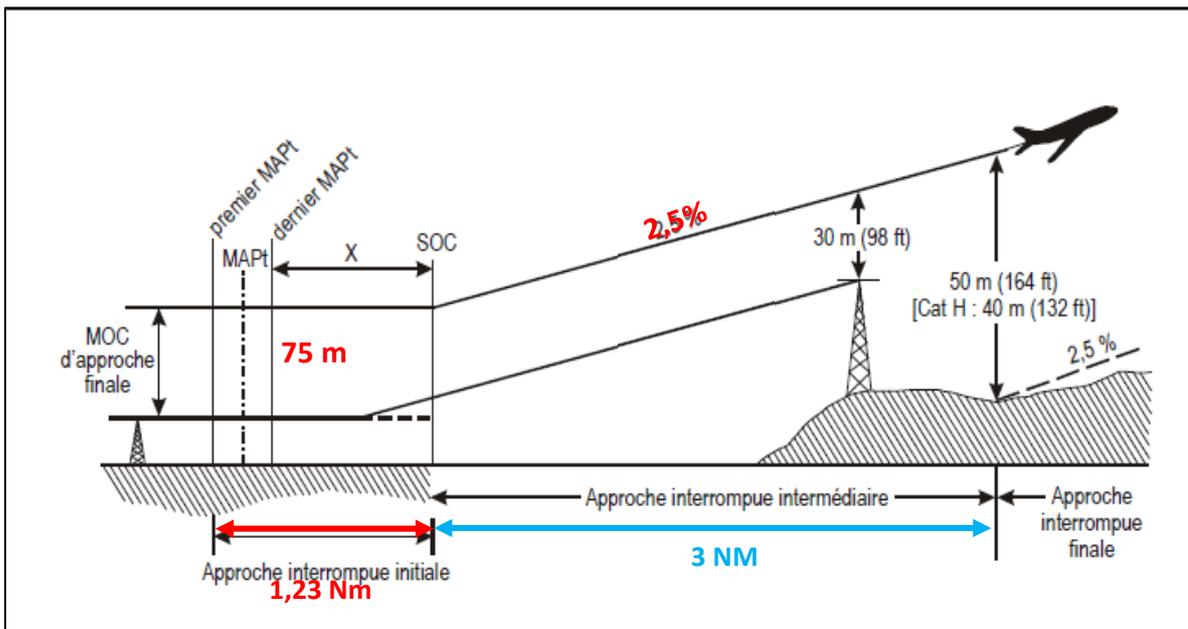


FIGURE 5.7 : APPROCHE INTERROMPUE ≤ 15 NM ARP [8]

- ✚ Pente : la pente est de 2,5%
- ✚ Longueur du segment : est la distance minimale d'un segment est de 3 Nm
- ✚ Marge de franchissement d'obstacle

Tableau 5.2 : Longueur minimale d'un segment RNAV limité par au moins un point de cheminement qui n'est pas un point de cheminement avec virage

| Phase de vol | D : distance minimale jusqu'au point de cheminement* |
|--|--|
| Croisière Plus de 56 km (30 NM) de l'ARP de l'aérodrome de départ ou de destination | 9,3 km (5,0 NM) |
| STAR, approche initiale moins de 56 km (30 NM) de l'ARP | 5,6 km (3,0 NM) |
| SID moins de 28 km (15 NM) de la DER, et approche intermédiaire et finale | 2,8 km (1,5 NM) |
| Approches interrompues et SID moins de 56 km (30 NM) de l'ARP | 5,6 km (3,0 NM) |
| * Lorsque la distance de stabilisation est supérieure à D, D est égale à la distance de stabilisation. | |

III. *Approche interrompue final :*

Début : TP

Fin : IAF

Approche interrompue finale avec virage $\geq 10^\circ$

✚ Paramètre de virage :

✚ Construction de la spirale de vent :

✚ Altitude : Altitude aérodrome + 300 m = 25 + 300 m = 325 m = 1066 ft

✚ Vitesse indiquée : une vitesse limitée de 200 kt

✚ Vent : 30 kt

✚ Angle d'inclinaison latérale : $\alpha = 15^\circ$

✚ Vitesse angulaire : $R = (3431 \text{ tg } 15) / (15 * 208.42)$

✚ Rayon de virage $r = (208.42)^2 / (9.81 * 0.2679)$

$$r = 4027,98 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad 8,054 \text{ cm sur carte}$$

- E 90 = 0,51 NM ;
- E 120 = 0,98 NM ;
- E 150 = 1.18 NM ;
- E 180 = 1,474 NM ;
- E 225 = 0,697 NM ;
- E 270 = 0,836 NM.

✚ La ligne KK' : est perpendiculaire à la trajectoire de vol du parcours de rapprochement et se situe au point de virage amont 2.086 NM \longrightarrow 4,7 cm sur carte. Elle définit l'extrémité du segment rectiligne avant le virage.

✚ Marge de franchissement d'obstacle :

| Segment d'approche interrompue | MFO applicable |
|------------------------------------|----------------|
| Approche interrompue initiale | 75 m |
| Approche interrompue intermédiaire | 30 m |
| Approche interrompue finale | 50 m |

APV/NAVIGATION VERTICALE BAROMÉTRIQUE (BARO-VNAV) :

Début : FAP

Fin : TP

Les procédures baro-VNAV sont classées comme des procédures APV pour les opérations d'approche 3D. Elles utilisent une DA/H et non une MDA/H, sans que soit identifié ni FAF ni point d'approche interrompue (MAPt).

Elles emploient des surfaces d'évaluation d'obstacles (OAS) similaires à celles de l'ILS mais fondées sur le système de guidage latéral particulier.

Les procédures baro-VNAV sont utilisées en combinaison avec des procédures LNAV seulement. Le FAF et le MAPt indiqué et calculé précédemment est pour LNAV seulement sont nécessaires pour définir les aires latérales et assurer le guidage latéral mais ils ne sont pas utilisés pour la fonction de navigation verticale.

 Angle de trajectoire verticale (VPA) :

Le VPA effectif sera différent du VPA promulgué car il dépend de la température et de l'altitude de l'aérodrome.

- Le VPA effectif à la température régnante la plus basse sera supérieur ou égal à 2,5° ;
- Le VPA effectif à la température régnante la plus haute sera inférieur ou égal à 3,5°.

Le segment APV d'une procédure baro-VNAV contient le segment de descente finale pour l'atterrissage ainsi que les segments initial, intermédiaire et final de l'approche interrompue. Il sera aligné sur le prolongement de l'axe de piste.

OAS APV

L'OAS APV commence au point d'approche finale (FAP), qui se trouve à l'intersection de la trajectoire verticale et de l'altitude de la procédure spécifiée pour le segment précédent en conditions ISA.

Effet de la température :

Si la température est éloignée de la valeur ISA, le plan vertical Baro VNAV sera différent du plan nominal de la procédure sans incidence sur les informations présentées au pilote. Ainsi une pente verticale basée sur l'information altimétrique sera plus faible par temps froid et plus forte par temps chaud sans qu'il n'y ait d'écart vertical affiché à l'indicateur de déviation verticale du pilote.

Les approches RNAV(GNSS) LNAV/VNAV ne sont pas autorisées en absence de calage altimétrique local (QNHlocal). Il est aussi important que le pilote dispose d'une information de calage altimétrique récente. L'équipage devrait ainsi demander la confirmation du calage altimétrique avant le passage au FAF.

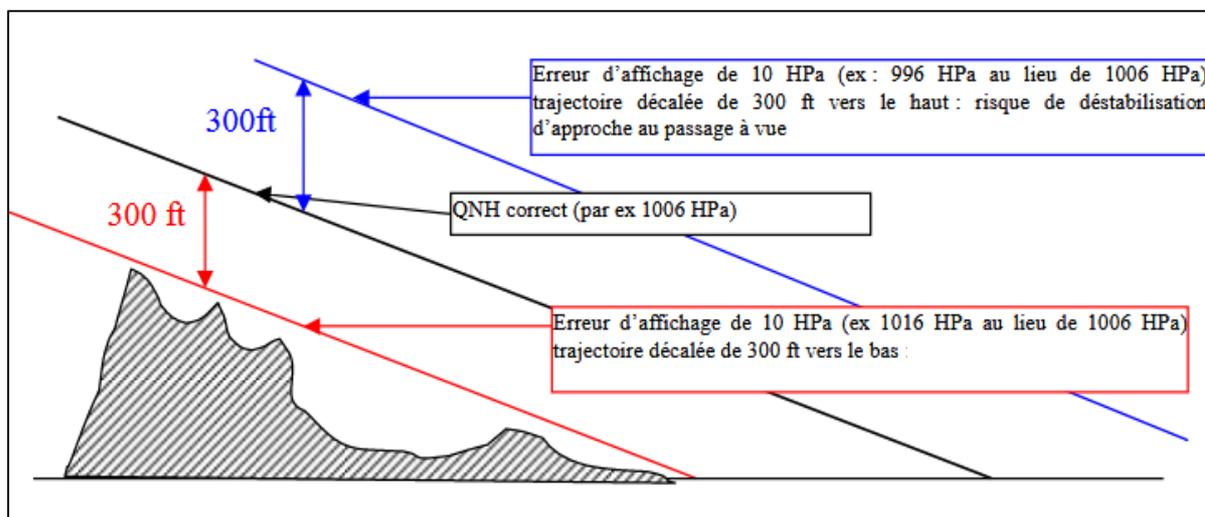


FIGURE 5.8 : L'INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LE PLAN DE DESCENTE [8]

Définition de l'OAS

4.3.4.1 L'OAS sert à déterminer les obstacles à prendre en compte. Elle se compose des surfaces suivantes :

- a) surface d'approche finale (FAS) ;
- b) plan de sol ;
- c) surface d'approche interrompue (surface Z).

a) *Surface d'approche finale (FAS) :*

La FAS a son origine au niveau du seuil, à une distance de 444 m (ATT) avant le point où la trajectoire verticale promulguée atteint une hauteur spécifiée au-dessus du seuil.

b) *Surface d'approche interrompue (Z) :*

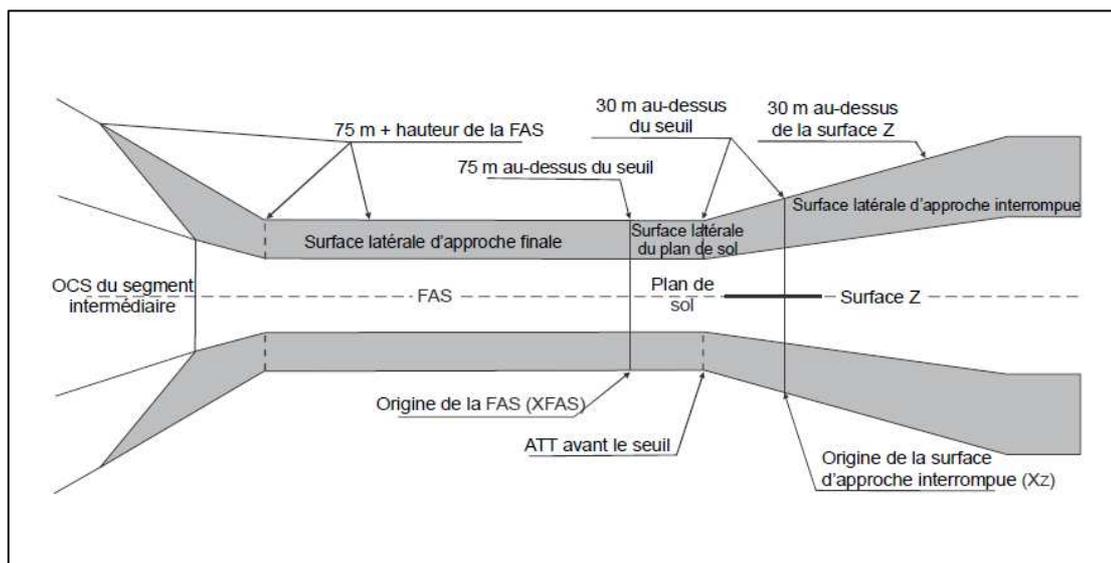


FIGURE 5.9 : AIRE APV BARO-RNAV SURFACES OAS APV VUE EN PLAN [1]

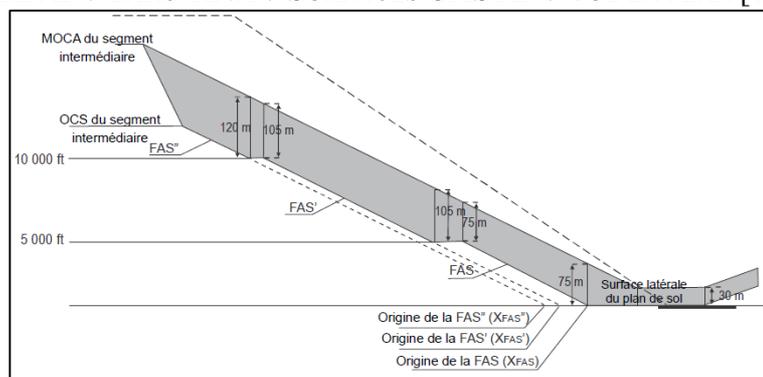
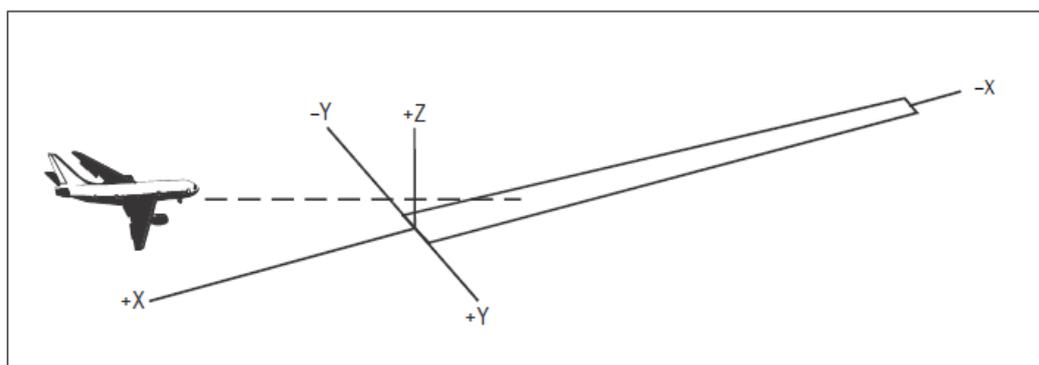


FIGURE 5.10 : OAS BARO-VNAV VUE DE PROFIL

La surface d'approche interrompue (Xz) a son origine au niveau du seuil entre -900 et $-1\ 400$ m par rapport au seuil. Elle a une pente nominale de $2,5\ \%$.

L'origine de la surface Z dépend de la catégorie d'aéronefs, comme suit :

- CAT A et B : $Xz = -900$ m
- CAT C : $Xz = -1\ 100$ m
- CAT D : $Xz = -1\ 400$ m



✚ Détermination de la température minimale de publication :

Calcul de la température basse moyenne :

- ✓ Mois le plus froid de l'année
- ✓ Depuis les 5 dernières années
- ✓ Arrondi au 5° inférieur.

a) Equation de FAS : $Z = (X - XFAS) \cdot \tan(\alpha \text{ FAS})$

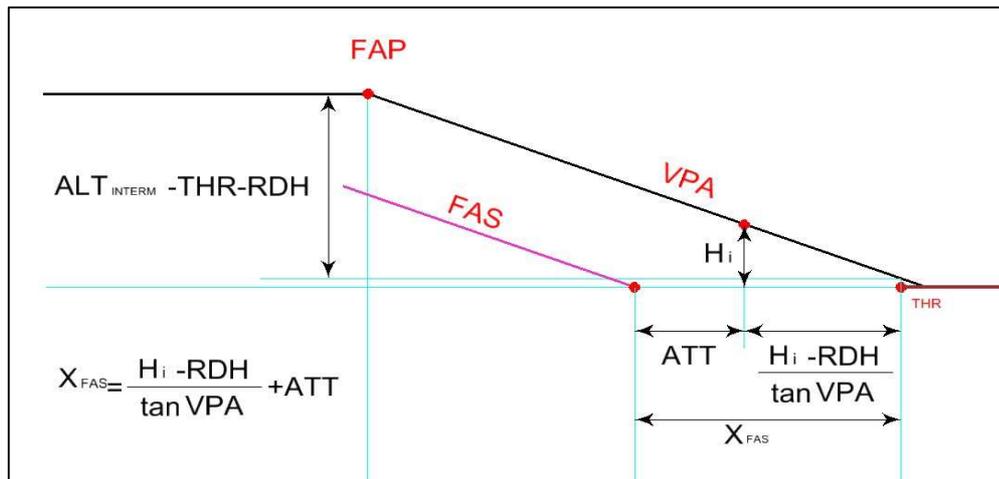
✚ L'angle de FAS est :

$$(\text{hauteur au FAP} - \Delta h - H_i) \cdot \text{tgVPA} / (\text{hauteur au FAP} - H_i)$$

$$\alpha \text{ FAS} = 3,540^\circ$$

✚ X FAP : est : $\text{Alt}_{\text{intermédiaire}} - \text{THR} - \text{RDH} / (\text{tang VPA})$

$$\text{XFAP} = 12406.55 \text{ m}$$



b) Surface w : cette utilisation pour tenir compte des aéronefs qui suivent une indication de pente de descente angulaire fournie par un récepteur SBAS cette surface dépend de VPA ; Catégorie d'aéronefs, RDH, les constants pour les calculs de la surface W sont

fournies par le logiciel PANS OAS sur les OAS

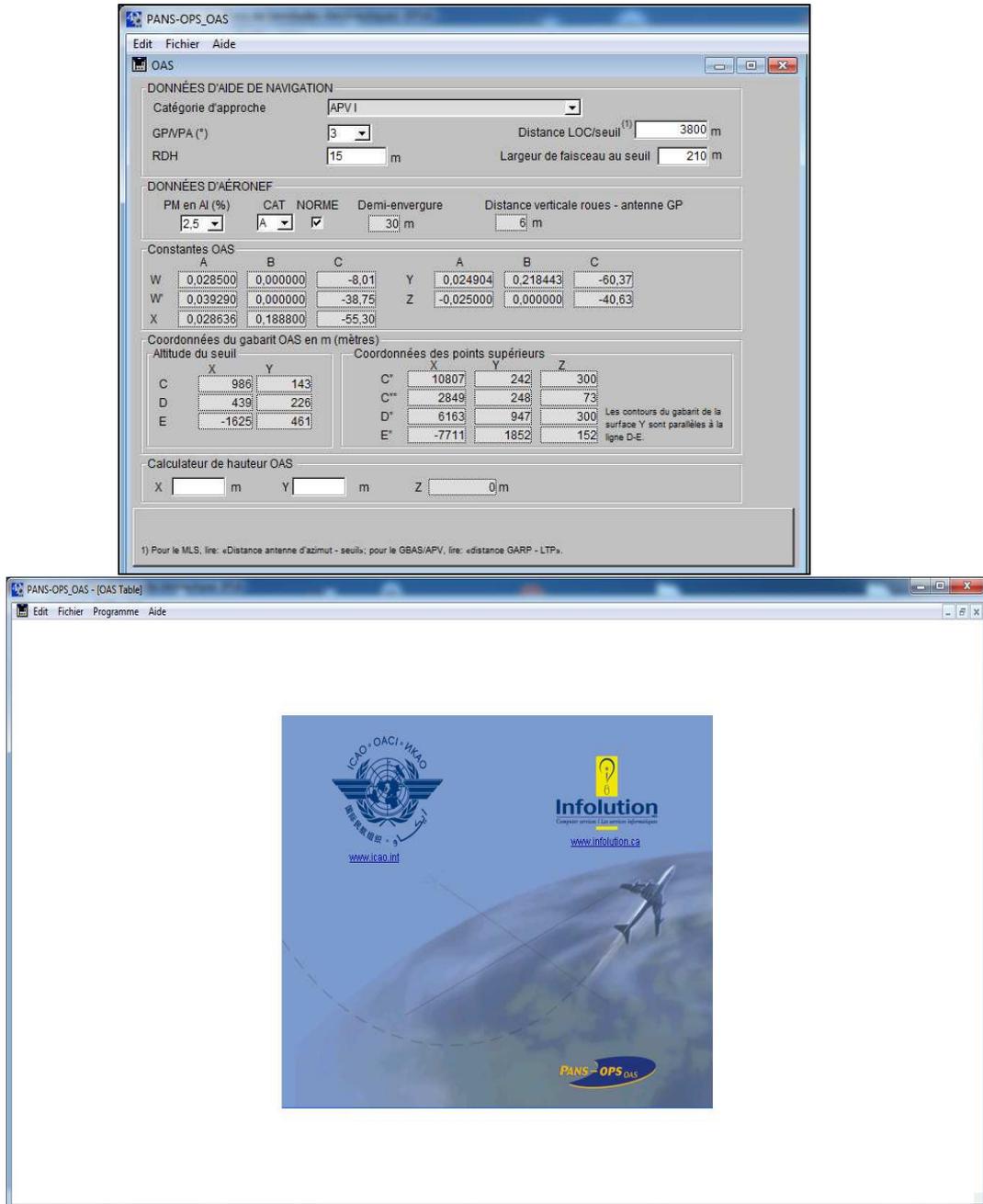


FIGURE 5.11 : SURFACE DU LOGICIEL PANS OPS OAS

Figure 5.15 : Données de sortie OAS généré par le logiciel PANS-OPS sur les OAS

Pour dessiner le gabarit ; d'après l'AIP la longueur du piste 05/23 est de 3500m. On prend la distance 300m par rapport au seuil opposé et on met un point fictif

- Détermination des obstacles :
 - * TWR : 45 m avec une distance de 819.2594 par rapport au seuil
 - * Antenne GP : Alt 38.65 m, hauteur de 16.65 m. et une distance par rapport au seuil est de 4039.5 m donc on a HFAS = 153.98 et on a HFAS plus grande que la hauteur d'obstacle dans ce point
 - * Obs. 52 m c'est une antenne Radar SMR a une hauteur de 30 m par rapport au seuil se trouve dans la surface
 - * Obstacle New TWR h = 65.18 m au seuil de la piste 05
H surfaces latérales dans l'obstacle donc cet obstacle le plus pénalisant

Tableau 5.9 : Marges de perte de hauteur

| Catégorie d'aéronefs (V_{at}) | Marge avec radioaltimètre ¹ | | Marge avec altimètre barométrique | |
|-----------------------------------|--|----|-----------------------------------|-----|
| | mètres | ft | mètres | ft |
| A – 169 km/h (90 kt) | 13 | 42 | 40 | 130 |
| B – 223 km/h (120 kt) | 18 | 59 | 43 | 142 |
| C – 260 km/h (140 kt) | 22 | 71 | 46 | 150 |
| D – 306 km/h (165 kt) | 26 | 85 | 49 | 161 |

L'obstacle le plus pénalisant on l'ajoute à cet obstacle une marge de perte de hauteur Et dans les trois surfaces on distingue que l'obstacle NEW TWR est le plus pénalisant

| Cat A/C | OCH | OCH |
|---------|---------------|----------|
| A | 65,17m + 40m | 105.17 m |
| B | 65,17m + 43 m | 108.17 m |
| C | 65,17m+ 46 m | 111.17 m |

| | | |
|----------|---------------|----------|
| D | 65,17m + 49 m | 114,17 m |
|----------|---------------|----------|

Promulgation :

| OCA | A | B | C | D |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| LNAV | 318.15 | 318.15 | 318.15 | 318.15 |
| LNAV/VNAV | 105.17 m | 108.17 m | 111.17 m | 114,17 m |

On distingue que les minimas opérationnels de la procédure BARO VNAV est plus basse par rapport à l'approche classique (LNAV) et c'est le but désiré de toute conception d'une procédure basé sur les performances.

- **Attente :**

D'après le nouveau schéma de circulation élaboré basé sur le PBN La conception du nouveau schéma de circulation aérienne notamment les Sid et les STARs est basée sur les statistiques des flux de trafic évoluant au niveau de l'aérodrome d'Alger. Pour les STARs le flux de trafic a été réparti comme suit:

Les arrivées venant du Nord, Nord Est et le Sud Est

Les arrivées venant du Nord-Ouest, Sud-Ouest et l'Ouest, pour cela :

1) Deux (02) attentes ont été créés, la première se trouve au nord Est de l'aérodrome sur la radiale 053° de ALR a une distance de 40 NM et la deuxième au nord-ouest se trouve sur la radiale 284° de ALR a une distance de 40 NM.

- Cinq 05 arrivées ont été reliées à l'attente du Nord Est par des arcs DME de **25 NM ZEM** qui sont comme suit :
 - STAR JANOB 01 arrivée de BSA (sur ALR ou Shark)
 - STAR TOUJA 02 arrivée de BJA
 - STAR PASTA 03 arrivée de BOURI
 - STAR BADIS 04 arrivée d'OTARO
 - STAR CASBA 05 arrivée de BOUYA (sur ALR ou Shark)

- Quatre 04 arrivées ont été reliées à l'attente du nord-ouest par des arcs DME **32 NM SDM** qui sont comme suit :
 - STAR MERIM 06 arrivée de SADAF
 - STAR ABBAS 07 arrivée de KIRLA
 - STAR MAZIG 08 arrivée de MOS
 - STAR GAMAZ 09 arrivée de TRB

La conception de ces nouvelles Stars a engendré la création de neuf (09) nouveaux points d'intersection entre les limites de la CTA avec ces nouvelles STARS qui seront les points de transfert du trafic entre le CCR et l'approche d'Alger.

Conclusion :

Vu la complexité de l'étude de ce nouveau schéma de circulation aérienne liées à la séparation stratégiques entre plusieurs trajectoires en même temps. Il a été proposé plusieurs scénarios et différents hypothèses dont les calculs furent refaits à chaque fois pour arriver à la fin à adopter le scénario le plus optimale qui permettra d'éliminer les contraintes existantes et de répondre aux besoins des usagers de l'espace aérien d'Alger à court, moyen et à long terme.

Les paramètres du gabarit d'attentes :

| | | | |
|---------------------------------------|---------|--------|--|
| K | 1,2755 | | |
| $V=K * V_i (Kt)$ | 293,376 | | |
| $v=V/3600$ | 0,081 | | |
| $R=509,26/V$ | 1,736 | | |
| $r=V/ (62,83 * R)$ | 2,690 | 2,491 | |
| $h=Altitude/1000$ | 14 | | |
| $w=2*h+47$ | 75 | | |
| $w'=w/3600$ | 0,021 | | |
| $E_{45} = 45w'/R$ | 0,540 | 0,500 | |
| $t=60 * T$ | 60 | | |
| $L= v * t$ | 4,890 | 4,528 | |
| $ab=5 v$ | 0,407 | 0,377 | |
| $ac=11 v$ | 0,896 | 0,830 | |
| $Gi1=Gi3 =(t-5) * v$ | 4,482 | 4,150 | |
| $Gi2=Gi4 =(t+21) * v$ | 6,601 | 6,112 | |
| $Wb=5 w'$ | 0,104 | 0,096 | |
| $Wc=11 w'$ | 0,229 | 0,212 | |
| $Wd=Wc+E_{45}$ | 0,769 | 0,712 | |
| $We=Wc+2 E_{45}$ | 1,309 | 1,212 | |
| $Wf=Wc+3 E_{45}$ | 1,849 | 1,713 | |
| $Wg=Wc+4E_{45}$ | 2,389 | 2,213 | |
| $Wh=Wb+4E_{45}$ | 2,264 | 2,097 | |
| $Wo=Wb+5E_{45}$ | 2,805 | 2,597 | |
| $Wp=Wb+6E_{45}$ | 3,345 | 3,097 | |
| $Wi1=Wi3=(t+6)*w'+4E_{45}$ | 3,535 | 3,274 | |
| $Wi2=Wi4=Wi1+14w'$ | 3,827 | 3,544 | |
| $Wj=Wi2+E_{45}$ | 4,367 | 4,044 | |
| $Wk=Wl=Wi2+2E_{45}$ | 4,907 | 4,544 | |
| $Wm=Wi2+3E_{45}$ | 5,447 | 5,044 | |
| $Wn3=Wi1+4E_{45}$ | 5,696 | 5,274 | |
| $Wn4=Wi2+4E_{45}$ | 5,987 | 5,544 | |
| $Xe=2r+(t+15) * v + (t+26+195/R) *w'$ | 15,624 | 14,468 | |

1/200000

| | | | |
|--|-------|-------|--|
| $Y_e = 11 v \cdot \cos 20 + r \cdot (1 + \sin 20) + (t + 15) v \cdot \tan 5 + (t + 26 + 125/R) \cdot w'$ | 8,279 | 7,666 | |
|--|-------|-------|--|

Conclusion :

Après cette étude il est possible de dégager les principaux avantages dus à l'application des procédures PBN :

- Sécurité : Procédure facile apportant une meilleur utilisation de l'espace aérien ;
- Simplicité : virage optimums
- Economie : diminution de la distance et par conséquent réduction du temps d'exécution d'impact économique sur la consommation du carburant

**CONCLUSION
ET
PERSPECTIVES**

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'établissement de ce mémoire a permis de réaliser un nouveau schéma de circulation aérienne constitué de différentes procédures fondée sur la navigation basée sur les performances et basé principalement sur le flux de trafic en provenance et à destination Nord , Est , Ouest ,Sud de l'aérodrome d'Alger. Ce nouveau schéma représente à notre sens une meilleur solution qui pourrait être efficace à contraintes opérationnelles évoquées par le schéma existant.

Les différentes procédures de vol aux instruments ont été conçues en travaillant en coordination permanente avec les usagers de l'espace aérien et les concepteurs de procédures de l'établissement national de la navigation aérienne tout en prenant en considération les paramètres les plus contraignants pour un aéronef et pour les cas les plus défavorables. Notre étude a commencé tout d'abord par l'élaboration de l'attente point fixe qui s'est arrêté après plusieurs scénarios sur la radiale 053° de ALR a une distance de 40 NM et la deuxième au nord-ouest se trouve sur la radiale 284° de ALR a une distance de 40 NM. Puis la conception d'une procédure d'approche RNAV GNSS ou le guidage vertical est barométrique car la piste 05 ne dispose pas d'un ILS, après les STAR reliant les nouvelles attentes

Ce projet va être exposé dans la future proche par les concepteurs de procédures de vol au niveau de l'aérodrome d'Alger, ensuite il va être envoyé au service Système de gestion de sécurité pour effectuer l'étude de sécurité appropriée. Et au contrôle en vol pour vérifier la pilotabilité des procédures en réalisant un vol d'essais avec l'avion laboratoire.

Si aucune anomalie n'est signalée, les différentes procédures de vol établis seront validées par la DACM la direction d'aviation civile et de la météorologie ensuite coder les points de cheminement conformément à la base de données WGS84 ensuite publiées par le service information aéronautique. Après six mois s'il n'aura aucun problème signalé par les compagnies aériennes ou les contrôleurs cette dernière va passer automatiquement à la publication permanâtes selon le plan PBN national.

Enfin cette étude qu'elle est la première étude en matière de conception de procédures basée sur la navigation par satellite, certainement sera un point de départ pour la réalisation d'un projet qui comble cette étude par exemple la conception des départs. Comme il peut être proposé d'élaborer des procédures d'approches basé sur les performances liées aux anciennes procédures conventionnelles dans la phase finale de l'approche.

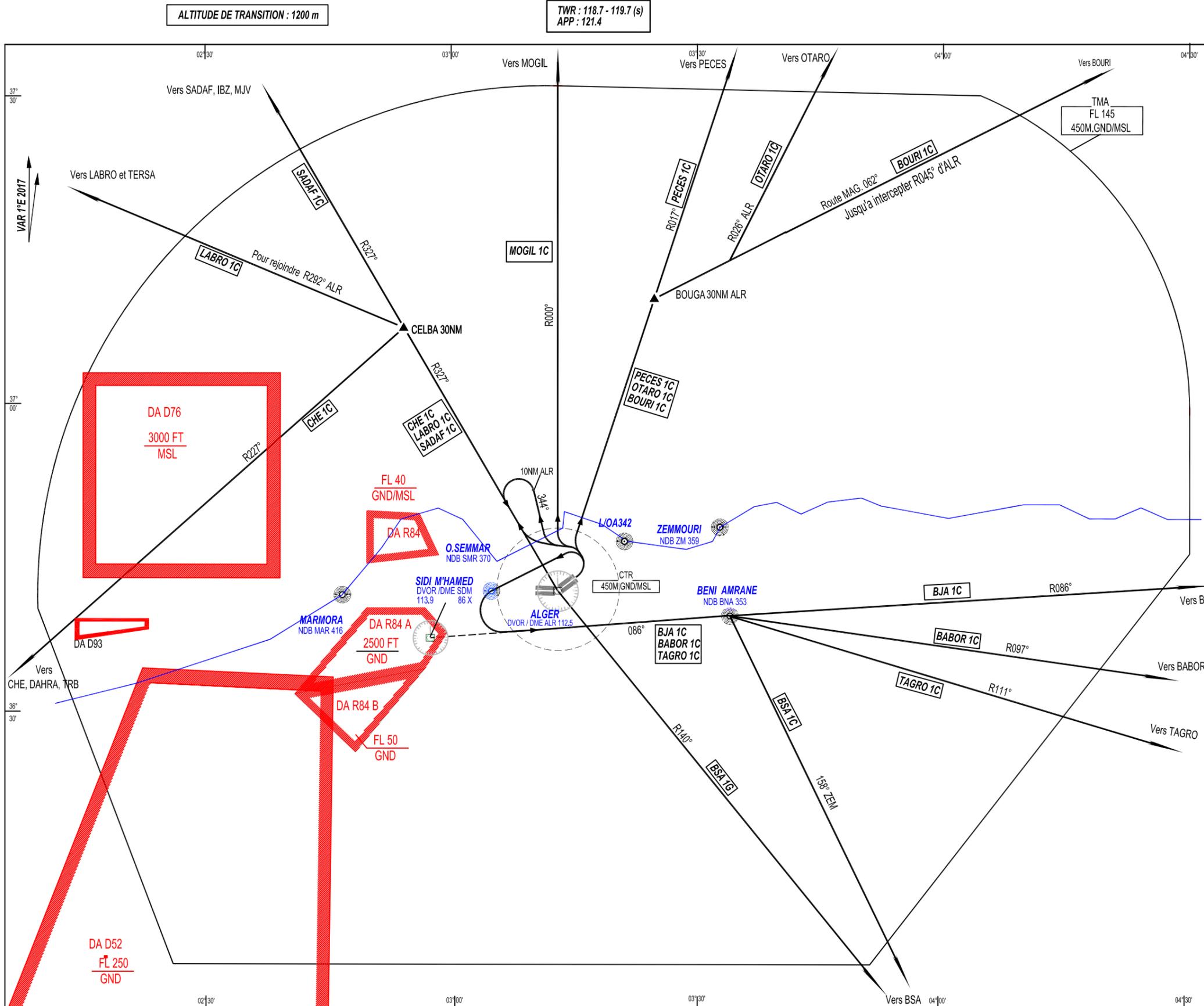
Et puisque l'élaboration et la conception des procédures est considéré comme des séparations stratégiques, on propose une étude qui traite la séparation tactique en étudiant la trajectoire de vol en quatre dimensions et l'évitement des zones à statut particulier.

LISTE DES ANNEXES ET APPENDICES

ANNEXE 1 : schéma de circulation aérienne de l'aérodrome d'Alger

APPENDICE A : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCEUIL- ENNA

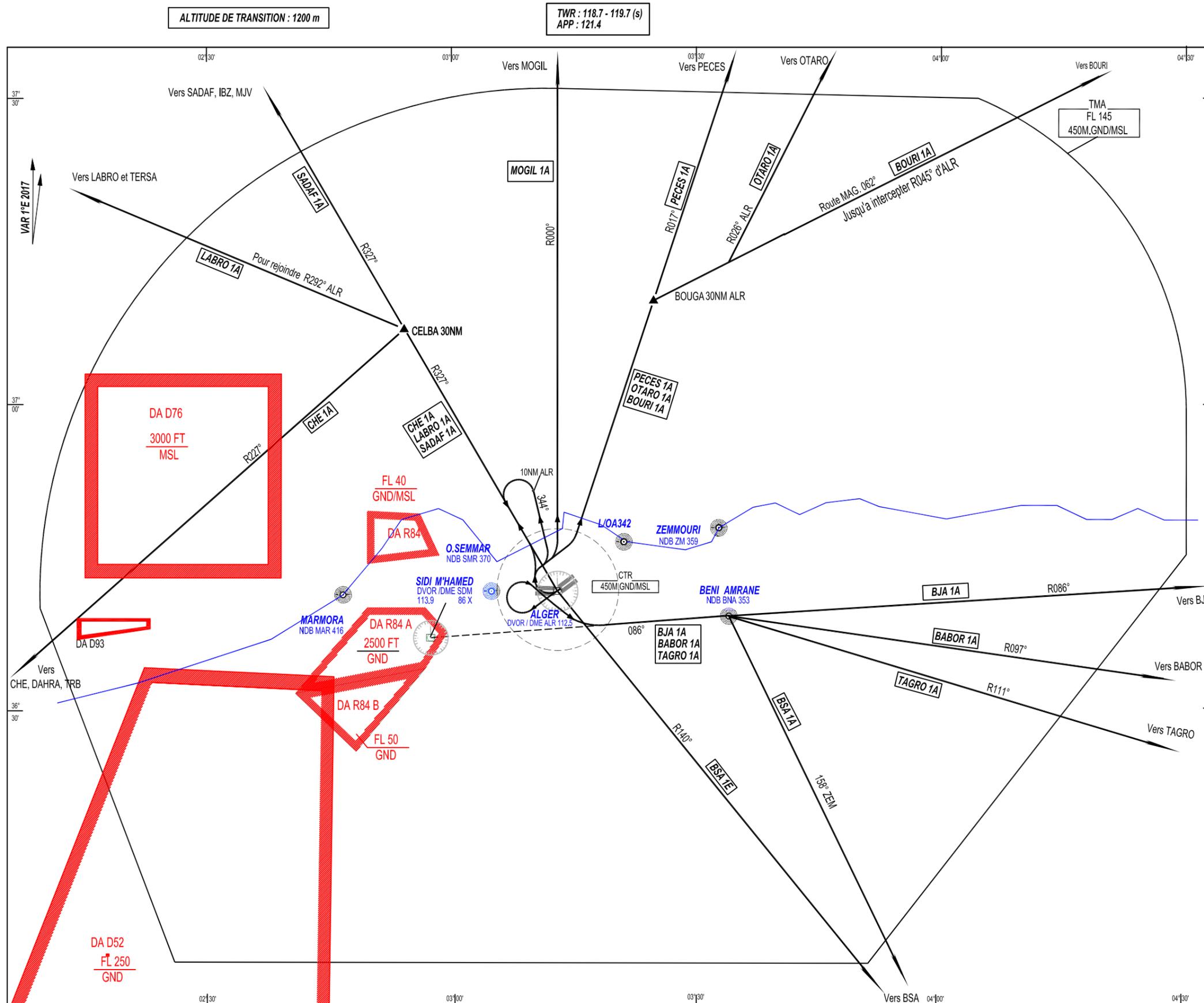
RWY 05



TMA CENTRE (ALGER)
PROCEDURES DE DEPARTS - ALGER HOUARI BOUMEDIENE
RWY 05

| Indicatif | POINT DE SORTIE | CHEMINEMENTS |
|-----------|-----------------|---|
| MOGIL 1C | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R000° ALR vers MOGIL. |
| PECES 1C | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R017° ALR sur PACES puis MHN. |
| OTARO 1C | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite RM 062° pour rejoindre R026° ALR vers OTARO |
| BOURI 1C | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite RM 062° pour rejoindre R045° ALR vers BOURI. |
| BJA 1C | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL 40 minimum puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum, puis route vers BJA. |
| BABOR 1C | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL 40 minimum puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum, puis route vers BABOR. |
| TAGRO 1C | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL 40 minimum puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum, puis route vers TAGRO. |
| BSA 1C | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL40 minimum pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA, passer BNA FL70 minimum, puis route vers BSA |
| BSA 1G | | Après décollage, virer à gauche pour intercepter et suivre R344° ALR, à 10NM virer à gauche pour revenir sur R327° vers ALR, passer ALR FL70 minimum puis rejoindre R140° ALR vers BSA |
| CHE 1C | | Après décollage virer à gauche pour intercepter et suivre R327° à CELBA (30NM) ALR virer à gauche sur CHE vers DAHRA ou TRB |
| LABRO 1C | | Après décollage, virer à gauche pour intercepter et suivre R327° à CELBA (30NM) ALR virer à gauche pour rejoindre R292° ALR vers TERSA puis LABRO |
| SADAF 1C | | Après décollage, virer à gauche pour intercepter et suivre R327° ALR en route vers SADAF puis IBZ ou MJV |

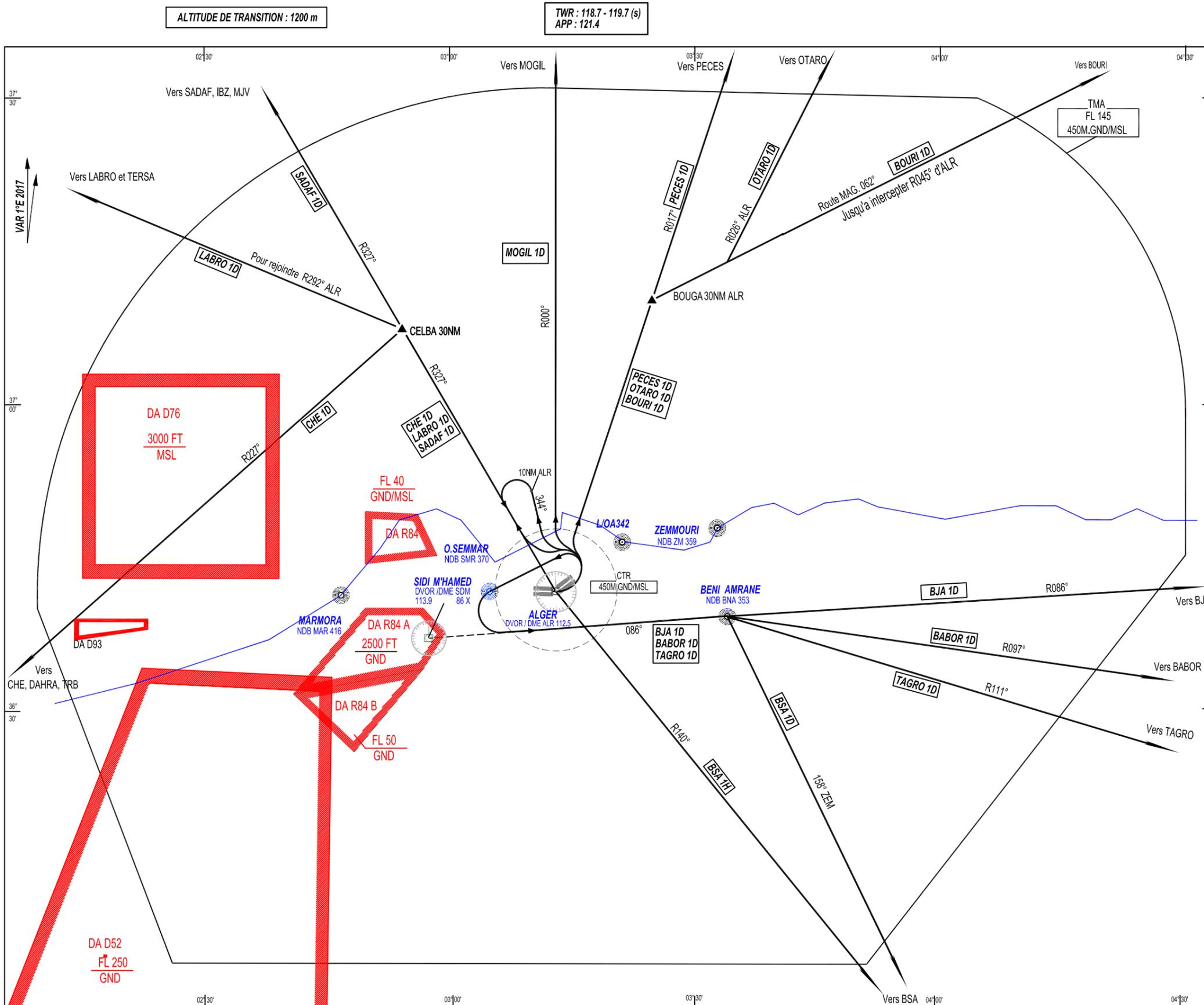
RWY 23



TMA CENTRE (ALGER)
PROCEDURES DE DEPARTS - ALGER HOUARI BOUMEDIENE
RWY 23

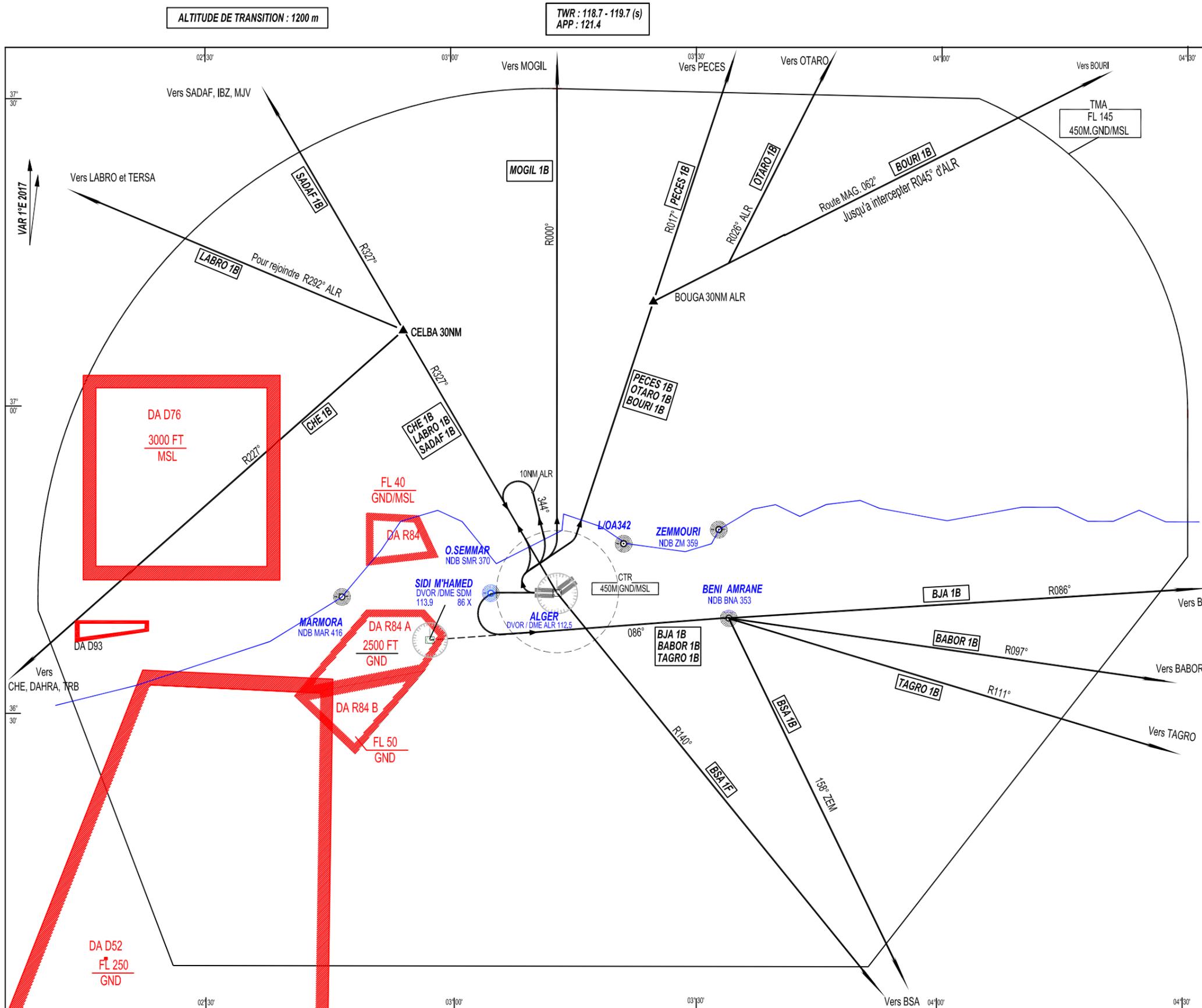
| Indicatif | POINT DE SORTIE | CHEMINEMENTS |
|-----------|-----------------|---|
| MOGIL 1A | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R000° ALR vers MOGIL puis MJV. |
| PECES 1A | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R017° ALR sur PACES puis MHN. |
| OTARO 1A | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite pour rejoindre R026° ALR vers OTARO. |
| BOURI 1A | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite pour rejoindre R045° ALR vers BOURI. |
| BJA 1A | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage ALR, s'éloigner sur R232° ALR à une distance de 4NM virer à droite pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum puis route vers BJA. |
| BABOR 1A | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage ALR, s'éloigner sur R232° ALR à une distance de 4NM virer à droite pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum puis route vers BABOR. |
| TAGRO 1A | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage ALR, s'éloigner sur R232° ALR à une distance de 4NM virer à droite pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum puis route vers TAGRO. |
| BSA 1A | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage ALR, s'éloigner sur R232° ALR à une distance de 4NM virer à droite pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum puis route vers BSA. |
| BSA 1E | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R344° ALR, à 10NM virer à gauche pour revenir sur R327° vers ALR, passer ALR FL70 minimum puis intercepter R140° ALR vers BSA |
| CHE 1A | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R327° ALR à CELBA (30NM) ALR virer à gauche sur CHE vers DAHRA ou TRB |
| LABRO 1A | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R327° ALR à CELBA (30NM) ALR virer à gauche pour rejoindre R292° ALR vers TERSA puis LABRO |
| SADAF 1A | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R327° ALR en route vers SADAF puis IBZ ou MJV |

CARTE DE DEPART NORMALISE AUX INSTRUMENTS (SID) - OACI
RWY 09



| TMA CENTRE (ALGER) | | |
|---|-----------------|---|
| PROCEDURES DE DEPARTS - ALGER HOUARI BOUMEDIENE | | |
| RWY 09 | | |
| Indicatif | POINT DE SORTIE | CHEMINEMENTS |
| MOGIL 1D | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R000° ALR vers MOGIL. |
| PECES 1D | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R017° ALR sur PACES puis MHN. |
| OTARO 1D | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite RM 062° pour rejoindre R026° ALR vers OTARO |
| BOURI 1D | | Après décollage virer à gauche, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite RM 062° pour rejoindre R045° ALR vers BOURI. |
| BJA 1D | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL 40 minimum puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum, puis route vers BJA. |
| BABOR 1D | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL 40 minimum puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum, puis route vers BABOR. |
| TAGRO 1D | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL 40 minimum puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA passer BNA FL70 minimum, puis route vers TAGRO. |
| BSA 1D | | Après décollage, virer à gauche procéder vers SMR, passer sur SMR FL40 minimum pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA, passer BNA FL70 minimum, puis route vers BSA |
| BSA 1H | | Après décollage, virer à gauche pour intercepter et suivre R344° ALR, à 10NM virer à gauche pour revenir sur R327° vers ALR, passer ALR FL70 minimum puis rejoindre R140° ALR vers BSA |
| CHE 1D | | Après décollage virer à gauche pour intercepter et suivre R327° à CELBA (30NM) ALR virer à gauche sur CHE vers DAHRA ou TRB |
| LABRO 1D | | Après décollage, virer à gauche pour intercepter et suivre R327° à CELBA (30NM) ALR virer à gauche pour rejoindre R292° ALR vers TERSA puis LABRO |
| SADAF 1D | | Après décollage, virer à gauche pour intercepter et suivre R327° ALR en route vers SADAF puis IBZ ou MJV |

CARTE DE DEPART NORMALISE AUX INSTRUMENTS (SID) - OACI
RWY 27



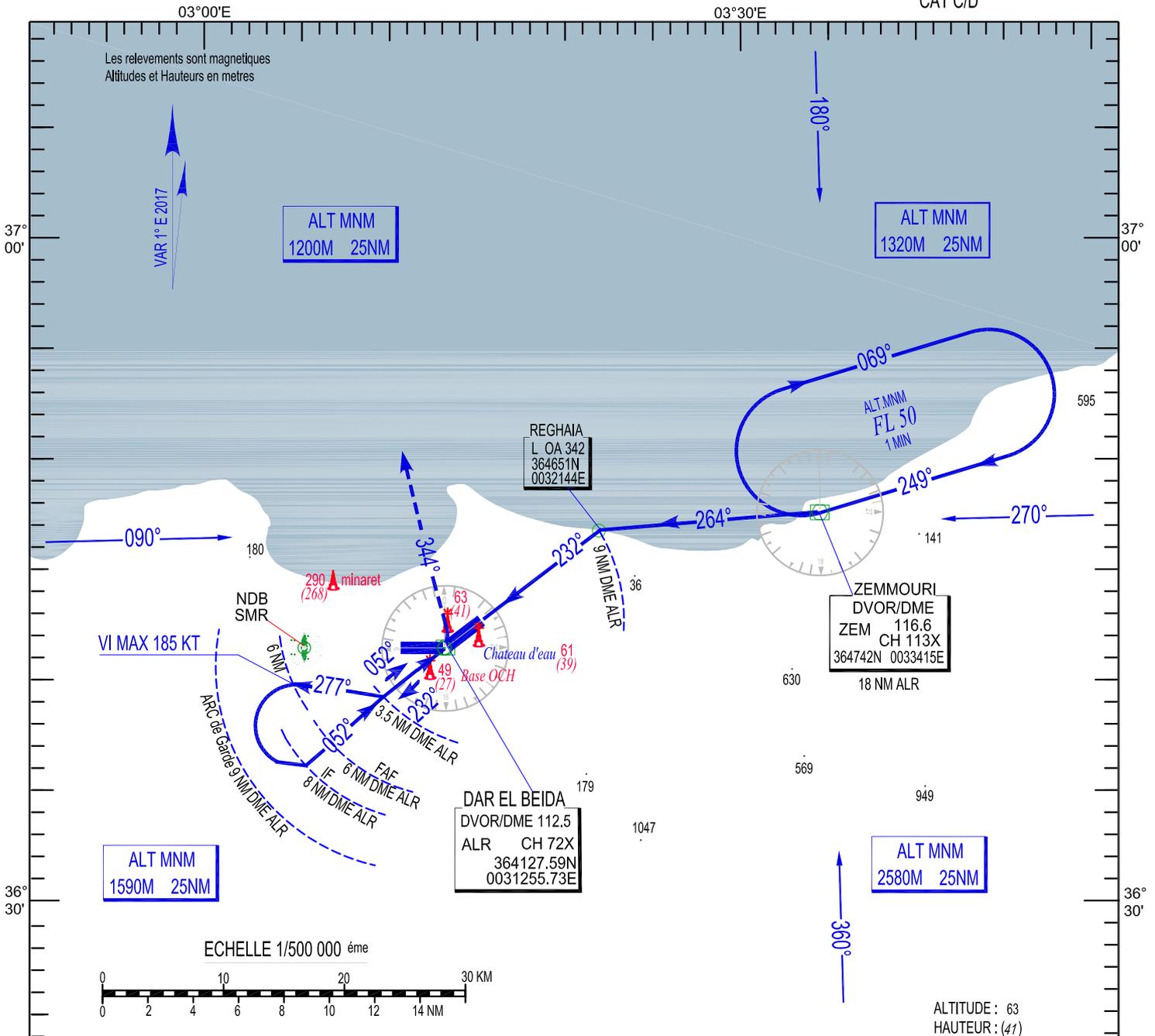
| TMA CENTRE (ALGER) | | |
|---|-----------------|--|
| PROCEDURES DE DEPARTS - ALGER HOUARI BOUMEDIENE | | |
| RWY 27 | | |
| Indicatif | POINT DE SORTIE | CHEMINEMENTS |
| MOGIL 1B | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R000° ALR vers MOGIL puis MJV. |
| PECES 1B | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R017° ALR sur PACES puis MHN. |
| OTARO 1B | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite pour rejoindre R026° ALR vers OTARO. |
| BOURI 1B | | Après décollage virer à droite, intercepter et suivre R017° ALR à BOUGA (30NM ALR) virer à droite pour rejoindre R045° ALR vers BOURI. |
| BJA 1B | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage SMR puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA, passer BNA FL70 minimum, puis route vers BJA |
| BABOR 1B | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage SMR puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA, passer BNA FL70 minimum, puis route vers BABOR |
| TAGRO 1B | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage SMR puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA, passer BNA FL70 minimum, puis route vers TAGRO |
| BSA 1B | | Après décollage maintenir axe de piste jusqu'au passage SMR puis virer à gauche pour intercepter et suivre R086° SDM vers BNA, passer BNA FL70 minimum, puis route vers BSA. |
| BSA 1F | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R344° ALR, à 10NM virer à gauche pour revenir sur R327° vers ALR, passer ALR FL70 minimum puis intercepter R140° ALR vers BSA |
| CHE 1B | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R327° à CELBA (30NM) ALR virer à gauche sur CHE vers DAHRA ou TRB |
| LABRO 1B | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R327° à CELBA (30NM) ALR virer à gauche pour rejoindre R292° ALR vers TERSA puis LABRO |
| SADAF 1B | | Après décollage, virer à droite pour intercepter et suivre R327° ALR en route vers SADAF puis IBZ ou MJV |

ALT. AD : 25 M
Les hauteurs sont déterminées
par rapport au THR RWY 05. ALT: 22M

APP : 121.4 - 120.8 (s)
TWR : 118.7 - 119.7 (s)

CARTE D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS - OACI -

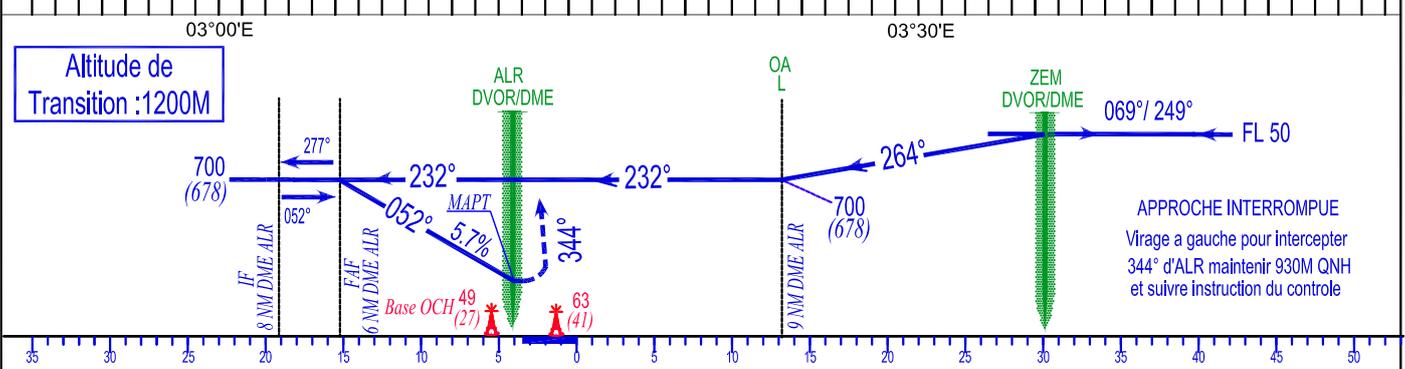
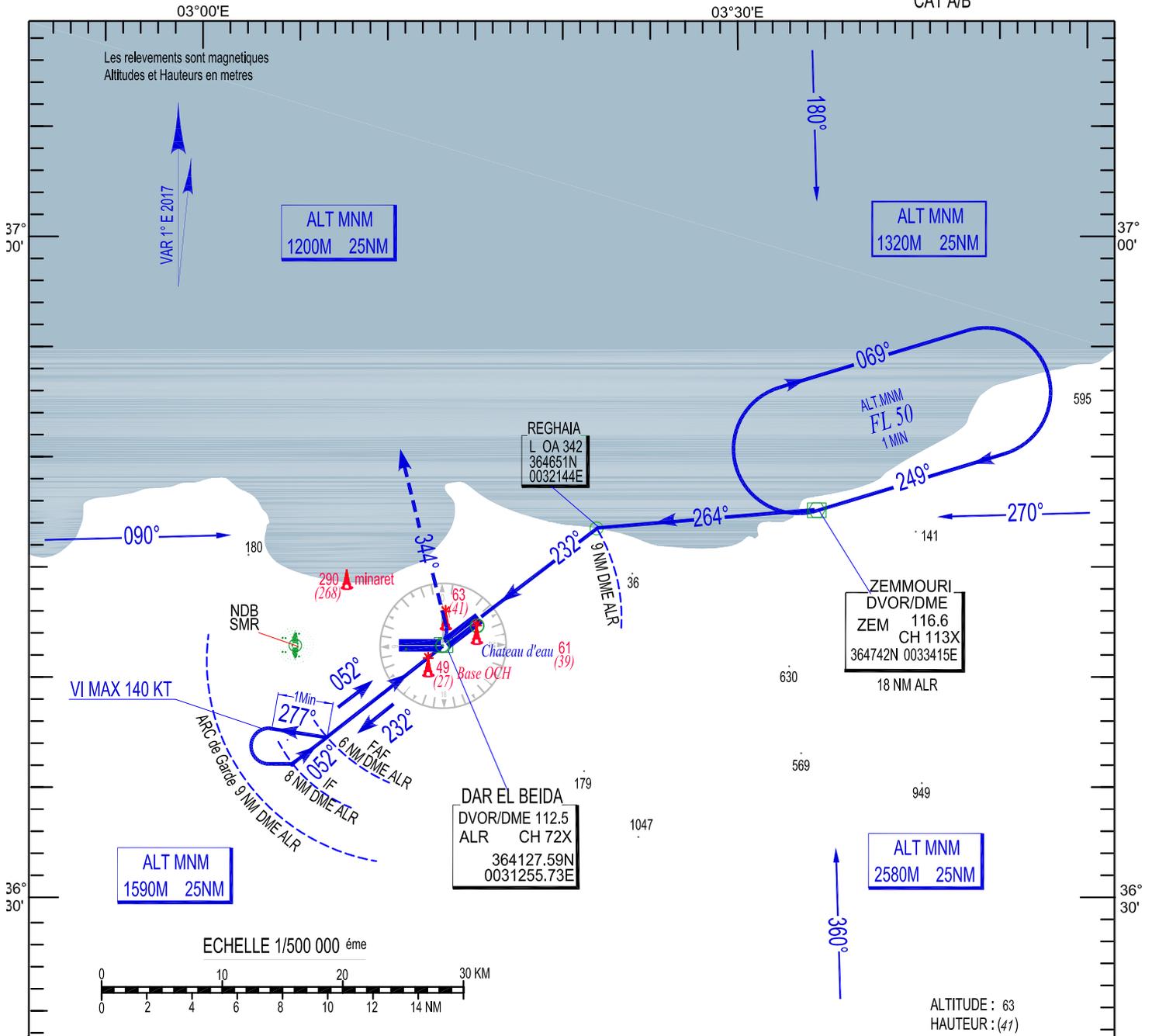
DVOR/DME RWY 05
CAT C/D



ALT. AD : 25 M
Les hauteurs sont déterminées
par rapport au THR RWY 05. ALT:22 M

APP : 121.4 - 120.8 (s)
TWR : 118.7 - 119.7 (s)

CARTE D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS- OACI -
DVOR / DME RWY 05
CAT A/B



| Cat-ACFT | MINIMUMS OPERATIONNELS LES PLUS BAS ADMISSIBLES | | | | | |
|----------|---|-------|-------|--|-------|-------|
| | DVOR/DME RWY 05 | | | Approche indirecte Au nord du terrain | | |
| | OCH | MDH | VH | OCH | MDH | VH |
| A | 115M | 380FT | 2400M | 170M | 560FT | 2500M |
| B | 115M | 380FT | 2400M | 190M | 630FT | 2900M |

APPENDICE A :
PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCEUIL- ENNA

1- Historique :

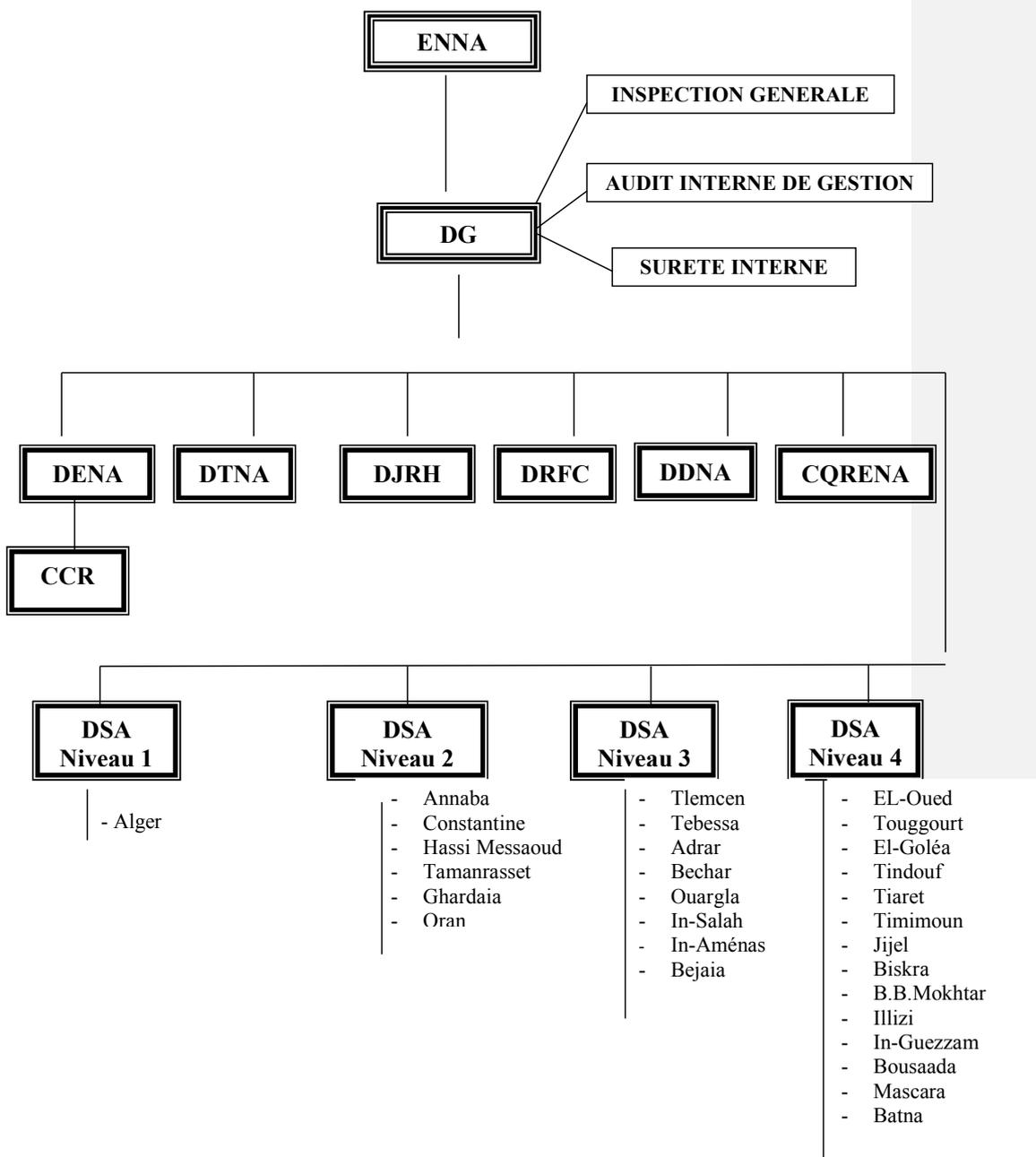
L'Etablissement public 'les Aéroports d'Algérie' crée par le décret n°63-329 du 10 septembre 1963 et l'office de la Navigation Aérienne et de Météorologie crée par l'ordonnance n°68-1 du 6 janvier 1968.

Il a été créé un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité morale, placée sous la tutelle du Ministre chargée de l'aviation civile, dénommé 'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique' par abréviation (E.N.E.M.A).

Dans le cadre du décret N°83-311 du 7 mai 1983, l'établissement national pour l'exploitation météorologique et aéronautique (E.N.E.M.A) prend la dénomination de " l'Entreprise National d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique" par abréviation (E.N.E.S.A) et désigné comme une entreprise nationale à caractère économique, conformément aux principes de l'organisation socialiste des entreprises à caractère économique et aux dispositions de l'ordonnance n°71-74 du 16 novembre 1971 relative à la gestion socialiste des entreprises et les textes pris pour son application.

A sa dernière restructuration, le décret N°91-149 du 18 mai 1991 portant réaménagement des statuts de l'entreprise nationale d'exploitation et de sécurité aéronautique et dénomination nouvelle : Etablissement National de la Navigation Aérienne (E.N.N.A) dans le cadre de la mise en œuvre de la loi concernant l'autonomie financière des entreprises et ; il y a lieu une actualisation des prérogatives de l'établissement.

2- L'Organigramme de l'ENNA :



3- Définition de l'ENNA :

L'ENNA est un établissement qui assure le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'Etat, placé sous la tutelle du Ministre des Transports et a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la sécurité de la navigation aérienne, en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées. Il est chargé entre autre du contrôle et du suivi des appareils en vol et la sécurité aérienne.

L'Etablissement Nationale de la Navigation Aérienne se compose de cinq Directions sont les suivantes :

DG : Direction Générale.

DENA : Direction d'Exploitation de la Navigation Aérienne.

DTNA : Direction Technique de la Navigation Aérienne.

DJRH : Direction Juridique et Ressources Humaines.

DDNA : Direction Développement de la Navigation Aérienne.

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

DSA : Direction de la Sécurité Aéronautique.

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

4- Missions de l'ENNA :

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (E.N.N.A) à pour mission principale est d'assurer la sécurité de l'aviation civile, la régularité des vols et l'utilisation plus efficace et sure possible de l'espace aérien algérien

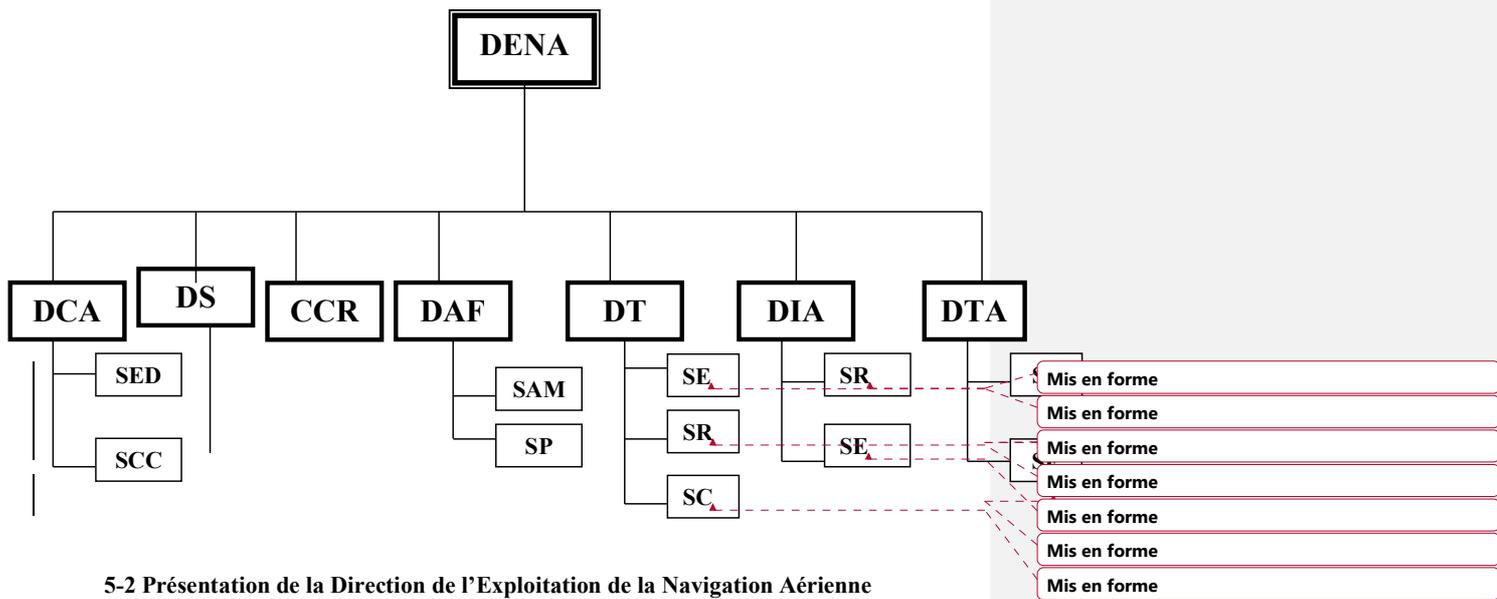
Actuellement le contrôle du trafic aérien en route est géré par un seul centre de contrôle régional (CCR d'Alger).

La réalisation de ces objectifs s'exerce selon les axes principaux suivants :

1. La diffusion des informations techniques et réglementaires nécessaires à l'exécution des vols.
2. L'information aéronautique en vol et au sol et la diffusion des informations météorologiques nécessaires à la navigation aérienne.
3. Assurer la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national relevant de la compétence de l'Algérie dans le cadre d'accord international ainsi que sur et aux abords des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique.
4. Le contrôle de trafic aérien partant, arrivant ou transitant l'espace aérien algérien.
5. Le contrôle de tous les aérodromes conformément à la réglementation internationale de l'aviation civile.
6. Veille au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation en vol et au sol des aéronefs, à l'implantation des aérodromes aux installations et équipements relevant de sa mission.
7. Chargé de l'exploitation technique des aérodromes ouverts à la circulation aérienne et notamment par l'organisation et le fonctionnement des différents services en vue de garantir la sécurité aéronautique.
8. La gestion des moyens de télécommunications aéronautiques.
9. La gestion des services de sauvetage et de lutte contre l'incendie au niveau des aérodromes.
10. Il participe au lancement des opérations de recherche et de sauvetage et les actions de prévention en matière de sécurité avec les autorités concernées conformément à la réglementation en vigueur notamment le décret N°70-44 du 2 avril 1970 modifiant le décret N°68-57 du 5 mars 1968.
11. Il participe à l'élaboration des schémas directeurs et le plan d'urgence des aérodromes.
12. Il gère le domaine aéronautique constitué par l'espace aérien, les terrains, les bâtiments et installations nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

5- Présentation de la Structure de la DENA :

5-1 Organigramme de la DENA :



5-2 Présentation de la Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne

La DENA est chargée :

1. D'assurer la sécurité de la navigation aérienne.
2. De veiller à la bonne gestion technique des aérodomes.
3. De gérer le centre de contrôle régional en route d'Alger.
4. D'assurer le suivi de la formation.

La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne (DENA) encadre à présent le CCR d'Alger, le Bureau Central des Télécommunications (BCT), le service d'Information Aéronautiques (SIA) et service de la maintenance, ainsi que la facturation des redevances de la navigation aérienne de l'entreprise. Elle assure aussi la tutelle de tous les aérodomes. La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne se compose de six départements et un centre de contrôle régional :

DCA : Département Circulation Aérienne.

DAF : Département Administration et Finances.

DT : Département Technique.

DIA : Département Information Aéronautique.

DTA : Département de Télécommunications Aéronautiques.

CCR : Centre de Contrôle Régional.

DS : Département Système

Chaque département gère plusieurs services, le DCA gère deux services (Service d'Etudes et Développement et Service Contrôle et Coordination), le DR gère deux services (Service Facturation et Service Clients), le DQM gère deux services (Service Administration et Moyens et Service Personnels), le DM gère trois services (Service Energie, Service Commutation et Service Radio), le DIA gère deux services (Service Réglementation, Service, Exploitation), DT gère deux services (Service Exploitation et Service Etudes et Programmation).

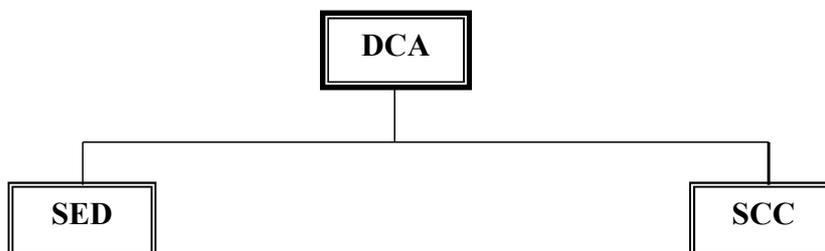
5-3 Présentation les Différents Départements :

1- Département Circulation Aérienne :

Le département est chargé du contrôle et de suivi de l'espace aérien géré par les aéroports et le CCR ainsi que les études liées au développement de la navigation aérienne.

Il gère deux services :

- Service d'Etudes et Développement (SED).
- Service Contrôle et Coordination (SCC).



1-1 Le Service Etudes et Développement :

Parmi les taches du service de mon lieu de stage effectué, on peut citer les taches suivantes :

- Etude de plans de servitudes aéronautiques de dégagement des pistes.
- Etude des schémas de la circulation aérienne.
- La conception des procédures de départs et d'arrivée (SID et STAR) et d'approche et d'atterrissage.
- Exploitation des données relatives aux statistiques de trafic aérien et informations aéronautiques pour les besoins d'études.
- Etude relative à la création des routes ATS et de navigation de surface.
- Développement de la navigation aérienne (RNP, RVSM, CNS/ATM, ATS).
- Participation à la mise en œuvre de projet TRAFCA.

1-2- Le Service Contrôle et Coordination :

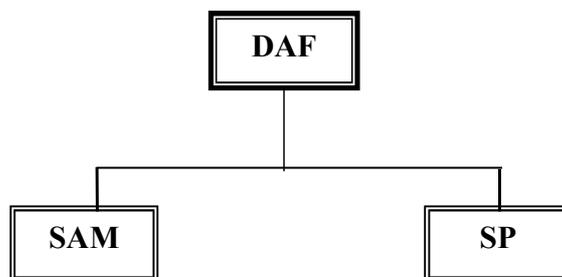
Le service est chargé des fonctions suivantes :

- Il est chargé de la tenue à jour de fichier informatisé ' l'état des Aéroports ' relatif à l'exploitation de l'ensemble des aéroports sur le territoire national.
- Il est chargé d'analyser des anomalies d'exploitation dans l'espace aérien relatives aux avis d'incidents, accidents, comptes rendus d'irrégularité d'exploitation (AIR PROX, réclamations, déroutement, alertes, procédure et infractions) concernant les aéronefs et leurs équipages.
- La mise à jour et la tenue de la réglementation en vigueur sur le plan international (OACI).
- Il veille à l'application de la réglementation internationale concernant le service de sauvetage et de lutte contre l'incendie au niveau des aéroports et notamment le maintien en vigueur de la catégorie requise (OACI) appliquée au service SSIS.

- Il représente la Direction d'Exploitation de la Navigation Aérienne (DENA) auprès des services de recherche et de sauvetage des aéronefs en détresse (SAR).
- L'inspection technique de tous les aéroports sur le territoire national conformément à la réglementation internationale de l'aviation civile.
- Il est chargé d'autres missions relatives à l'exploitation des aéroports confiés par la DENA.

3 Département Administration et Finances :

Le département administration et finances contribue à la gestion des moyens de l'entreprise et de son personnel.



3-1 Service Administration et Moyens Généraux :

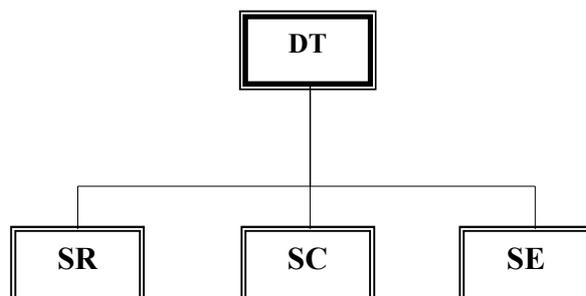
Ce service s'occupe de la fourniture des moyens nécessaires au besoin des services et les départements de la DENA.

3-2- Service Personnel :

Ce service est responsable uniquement du personnel, il prend en charge toutes les tâches concernant son personnel en matière de gestion et de ressources, et répond à ses besoins administratifs.

4- Département Technique :

Le département Technique est chargé d'installer et de maintenir les équipements de télécommunications, informatiques et d'énergie, et la mise en œuvre et le contrôle du système de télécommunication et de la radiocommunication.



4-1- Service Radio :

Ce service assure la maintenance des moyens de télécommunication et radiocommunication avec les organes de la circulation aérienne et les équipements informatiques.

4-2- Service Commutation :

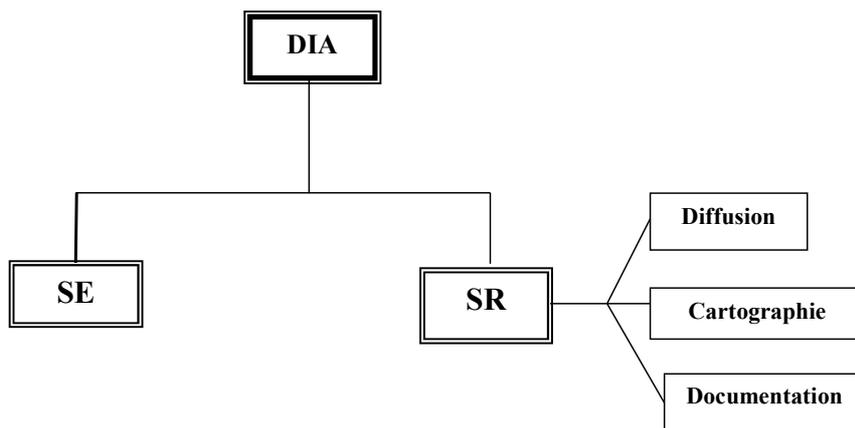
Le service assure la commutation par certains supports de télécommunication, par l'intermédiaire d'un réseau téléphonique et télégraphique.

4-3- Service Energie :

Le service Energie dispose des moyens nécessaires pour offrir aux besoins des usagers et le Centre de Contrôle Régional d'Alger l'énergie électrique en permanence.

5- Département Information Aéronautique :

Le DIA est chargé de la collecte, la vérification, la mise en forme et la diffusion de l'information aéronautique ; ainsi que la gestion et la mise à jour de la documentation (AIP textes législatifs et réglementaires de l'aviation civile, élaboration des cartes aéronautiques). C'est un organe qui est responsable de la diffusion des informations aéronautiques (Notams, AIP, SUP AIP, Amendements, Circulaires, BMJ, etc.), sa mission est de traiter, de contrôler et de diffuser les renseignements nécessaires à la sûreté, la régularité, et l'efficacité de la navigation aérienne.



5-1- Service Exploitation (Bureau Notam International) :

Le bureau Notam International (BNI) est chargé de fournir aux usagers de l'espace aérien les informations concernant :

- Les aérodromes et circulation aérienne,
- Les cartes de radionavigation,
- Et la gestion de l'espace aérien.

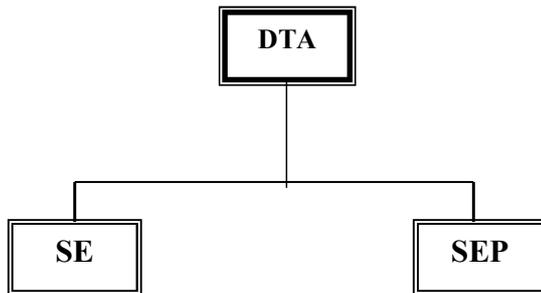
5-2- Service Réglementation :

Ce service se compose de trois sous divisions :

- Division diffusion : il est chargé de mettre à la disposition des usagers de l'espace aérien, les informations aéronautiques d'une manière efficace, fiable et permanente.
- Division cartographie : il est chargé d'établir des cartes aéronautiques tel que : carte de navigation aérienne, carte d'aérodrome, carte de procédures d'approche, carte d'obstacles, etc.
- Division documentation : il collecte tous les renseignements aéronautiques et la mise à jour de la publication aéronautique.

6- Département Télécommunications Aéronautiques :

Ce département fournit le support de télécommunications aéronautiques nécessaire aux transmissions des messages aéronautiques, dans le but d'assurer la sécurité et la régularité du trafic aérien.



6-1- Service Exploitation (Bureau Central de Télécommunications) :

Le Bureau Central de Télécommunications est chargé de la transmission des messages par la voie de réseau fixe de télécommunications aéronautiques (RSFTA), il dispose :

- Des liaisons télégraphiques locales (BNI, ministère, DSA, Aérodomes, CCR, Tour de Contrôle, Contrôle d'Approche, etc.).
- Des liaisons télégraphiques internationales avec les pays adjacents (Niamey, Bruxelles, Maroc, Tunis).

6-2- Service Etude et Programmation :

Le principal rôle du service est de veiller sur le contrôle du support de télécommunications, ainsi que le suivi et la vérification de l'acheminement des messages RSFTA reçus sur une banque de données dite « OPEMET ».

Il contrôle et suit le dispatching automatique des messages aéronautiques par l'intermédiaire de système AERMAC.

7 - Centre de Contrôle Régional :

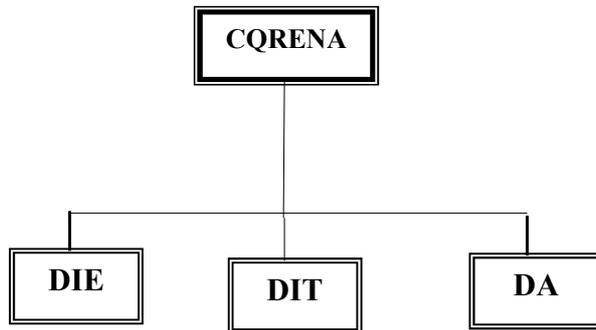
Il est chargé d'assurer la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace qui lui est délégué, ainsi d'assurer également le service d'alerte et informations de vol pour les aéronefs en vol.

8- Département Système :

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

Il gère trois départements :

- Département Instruction Exploitation (DIE).
- Département Instruction Technique (DIT).
- Département Administration (DA).



Le centre CQRENA est un centre qui faisant partie des structures de l'ENNA, il constitue un palier pour l'instruction et le recyclage des cadres des départements et des différentes structures de l'établissement, c'est un support technique pour le recyclage des contrôleurs du Centre de Contrôle Régional d'Alger.

REFERENCES

REFERENCES

1. ENAC/ PANS-OPS, Cours de l'Ecole Nationale de l'Aviation Civile (2016).
2. OACI, Organisation de l'Aviation Civile Internationale, Manuel de navigation fondée sur les performances (PBN) 'Doc 9613 AN/937', (2013)
3. ICAO, International Civil Aviation Organisation EUR Doc 001 RNAV
4. ICAO, International Civil Aviation Organisation RNAV Operations (Doc 9573) (2008)
5. Mise en service de la navigation basée sur les performances DGAC DSNA (Juillet 2016)
6. Institut d'Aéronautique Jean Mermoz, cours automatisé de conduite (2012)
7. GOUNTAS, R, BENARBIA. I, 'Elaboration d'une procédure d'approche RNAV (GNSS) pour l'aéroport de Constantine RWY 34 ', thèse d'ingénieur en Aéronautique, Université de Blida (2010)
8. OACI, Organisation de l'aviation civile internationale, Exploitation techniques des aéronefs (Doc 8168 OPS/611), Construction de procédure de vol à vue et vol aux instruments, volume II, (2014).
9. Catalogue Des produits de cartes INCT institut nationale de Cartographie et de télédétection (2017)
10. SIA, Service de l'information Aéronautique DGAC Mémento à l'usage des utilisateurs des procédures de vol aux instruments, 8^{ème} Edition (18 février 2019)
11. ROTURIER, B 'Introduction aux concepts GNSS de l'OACI et le contrôle d'intégrité (STNA) (2001)
12. OACI, Organisation de l'Aviation Civile Internationale, Télécommunication Aéronautique Annexe 10.
13. RNAV/GNSS, Guide pour la réalisation d'approches de non précision au moyen d'équipements RNAV/GNSS, 1^{er} édition (2005).
14. Calvet, M ' Télécommunication et navigation par satellite au service du citoyen DSNA (2008)

- 15.** AIC Circulaire d'information Aéronautique (SIA) Guide de réalisation d'approche de non précision au moyen d'équipement RNAV / GNSS 1^{er} édition (2005)
- 16.** ENNA Etablissement National de la Navigation Aérienne ministère du transport
Séminaire RNAV PBN, Perspectives du GNSS pour l'aviation civile en Algérie
- 17.** Mémento à l'usage des utilisateurs des procédures de vol aux instruments (30 juin 2012).
- 18.** Conception Procédures aux instruments cours ENAC module 02 (2014)
- 19.** ICAO, International Civil Aviation Organisation RNAV Operations (Doc 9992) édition AN/494 Manuel sur l'utilisation de la navigation fondée sur les performances dans la conception de l'espace aérien.
- 20.** Cours module 3 Ecole National d'Aviation civile principes généraux RNAV (2013) ;
- 21.** Formation PBN La navigation basée sur les performances pour les contrôleurs CCR
CQRENA Etablissement nationale de la navigation aérienne par Mr KHELLADI
OTHMANE 1^{er} contrôleur Radar Et ELALOUANI LOHAMED point focal PBN
ALGERIE (OACI) Chef service étude et développement (Juillet 2019)