

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA**

**Faculté de Technologie**

**Institut d'Aéronautique et d'Etudes Spatiales**

**MEMOIRE DE MASTER**

**En Aéronautique**

**Spécialité : Opérations Aériennes**

**Thème :**

**ELABORATION D'UNE PROCEDURE D'APPROCHE RNAV (GNSS)  
CONFIGURATION EN 'Y' POUR L'AERODROME DE HASSI MESSAOUD  
PISTE 18**

**Présenté par :**

**KHELIFI Halima-Nihal**

**LOUMI Karima**

**Encadré par :**

**Mr. LAGHA Mohand**

**Mme. MENBENKHLIL Ilham**

**Blida, Septembre 2013**

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Organisation de l'ENNA	30
<b>Figure 2</b> : Organisation de la DENA	31
<b>Figure 3</b> : Organisation de DCA	32
<b>Figure 4</b> : Organisation du DIA	32
<b>Figure 5</b> : Organisation du CCR	33
<b>Figure 6</b> : Le concept RNP	36
<b>Figure 7</b> : Le concept PBN	36
<b>Figure 8</b> : Le manuel PBN	38
<b>Figure 9</b> : Les composants du concept PBN	40
<b>Figure 10</b> : Exemple illustratif des composants du concept PBN	41
<b>Figure 11</b> : Organigramme des spécifications de navigation	44
<b>Figure 12</b> : Les applications PBN	44
<b>Figure 13</b> : Navigation conventionnelle comparée à la RNAV	51
<b>Figure 14.a</b> : Système RNAV de base	51
<b>Figure 14.b</b> : Système RNAV Map	51
<b>Figure 14.c</b> : Système multi-capteurs simple	52
<b>Figure 14.d</b> : Système multi-capteur complexe	52
<b>Figure 15</b> : Environnement RNAV et non RNAV pour B737/600/700/800 et 315	52
<b>Figure 16</b> : Fonctions de base d'un système RNAV	53
<b>Figure 17.a</b> : Point de cheminement à survoler	55
<b>Figure 17.b</b> : Point de cheminement par le travers	55

<b>Figure 18</b> : Méthode de positionnement RNAV	57
<b>Figure 19</b> : Affichage sur le ND	58
<b>Figure 20</b> : Récepteur RNAV	61
<b>Figure 21</b> : Tolérance d'un waypoint (XTT, ATT)	66
<b>Figure 22.a</b> : Attente en RNAV avec point de cheminement	70
<b>Figure 22.b</b> : Attente dans une aire RNAV	70
<b>Figure 23</b> : Vue en plan des aires primaires et secondaires	71
<b>Figure 24</b> : Aires de protection des procédures RNAV	72
<b>Figure 25</b> : Approche interrompue en ligne droite avec guidage continue sur trajectoire	73
<b>Figure 26</b> : La superposition des aires de protection d'une approche finale VOR et d'une approche finale RNP APCH	37
<b>Figure 27</b> : L'envergure des aires de protection associées à un VOR	74
<b>Figure 28</b> : Comparaison entre une aire de protection d'une procédure NDB et d'une procédure LNAV	75
<b>Figure 29</b> : La superposition des repères RNAV à un repère NDB à différentes altitudes	75
<b>Figure 30</b> : La différence entre la navigation conventionnelle et la navigation de surface	77
<b>Figure 31</b> : Types d'applications du GNSS	84
<b>Figure 23</b> : Principe du GPS	85
<b>Figure 33</b> : Principe de fonctionnement d'EGNOS (fin 2005)	87
<b>Figure 34</b> : Détermination de la position par trois sphères	88
<b>Figure 35</b> : Le Principe du système GNSS	89
<b>Figure 36</b> : Récepteurs GNSS autonomes et multi-capteurs	91
<b>Figure 37</b> : Récepteur RAIM	94
<b>Figure 38</b> : Les augmentations SBAS-Exemple WAAS	96

<b>Figure 39</b> : Les augmentations GBAS	97
<b>Figure 40</b> : Définition OACI du GNSS	97
<b>Figure 41</b> : Classification OACI des procédures d'approche	108
<b>Figure 42</b> : Configuration générale des procédures d'approche RNAV(GNSS) en T	118
<b>Figure 43</b> : Configuration générale des procédures d'approche RNAV(GNSS) en Y	118
<b>Figure 44</b> : Les différents segments d'une procédure d'approche	119
<b>Figure 45</b> : Calcul de la distance de trajectoire (TRD)	122
<b>Figure 46</b> : Procédures d'inversion lorsque le décalage initial n'est pas prévu	123
<b>Figure 47</b> : Emplacement du MAPt	126
<b>Figure 48</b> : Configuration de TAA en T	128
<b>Figure 49</b> : Configuration de TAA en Y	129
<b>Figure 50</b> : Spirale de vent	155
<b>Figure 51</b> : Configuration de TAA en Y	157

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Application PBN	46
<b>Tableau 2</b> : Opérations PBN et senseurs	47
<b>Tableau 3</b> : Type des Waypoints	56
<b>Tableau 4</b> : Erreur technique de vol des applications RNAV et RNP	63
<b>Tableau 5</b> : Valeurs tampons (BV)	64
<b>Tableau 6</b> : Valeurs de XTT pour spécification de navigation	68
<b>Tableau 7</b> : Comparaison entre RAIM et AAIM	95
<b>Tableau 8</b> : Stratégie GNSS AFI – Synopsis	102
<b>Tableau 9</b> : Infrastructure GNSS appuyant les besoins de mise en œuvre de la PBN	103
<b>Tableau 10</b> : Infrastructure GNSS appuyant les besoins de mise en œuvre de la PBN	103
<b>Tableau 11</b> : Critères opérationnels	107
<b>Tableau 12</b> : Obstacles d'aires d'approche et de décollage	135
<b>Tableau 13</b> : Installation de télécommunication	136
<b>Tableau 14</b> : Aides de radionavigation et d'atterrissage	137
<b>Tableau 15</b> : Les altitudes minimales de secteur	146
<b>Tableau 16</b> : Coordonnées des points de cheminements	159

# TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET GRAPHIQUES

ABREVIATIONS

DEFINITION

RESUME

INTRODUCTION	25
1. PRESENTATION DE L'ETABLISSEMENT NATIONAL DE LA NAVIGATION AERIENNE 'ENNA'	27
1.1. Introduction	27
1.2. Présentation de l'établissement d'accueil « l'ENNA »	27
1.3. Historique	27
1.4. Missions de l'ENNA	29
1.5. Organisation de l'ENNA	29
1.6. Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne (DENA)	30
1.6.1. Le Département de la Circulation Aérienne (DCA)	31
1.6.2. Le Département de l'Information Aéronautique (DIA)	32
1.6.3. Centre de Contrôle Régional (CCR)	32
1.6.4. Département Télécommunication Aéronautique (DTA)	33
1.6.5. Département Technique (DT)	33
1.6.6. Département Système (DS)	34
1.7. Conclusion	34
2. LE CONCEPT PBN	35
2.1. Introduction	35
2.2. Historique	35
2.3. Origine de la PBN	35
2.4. Mise en œuvre du concept PBN	37
2.5. Contenu du manuel PBN	37
2.6. Principe de la navigation fondée sur les performances	38

2.7. Terminologie du Contexte de la PBN	39
2.8. La spécification de navigation	41
2.9. Critères RNP APCH	45
2.10. Objectifs OACI de déploiement du PBN	45
2.10.1. Application PBN selon la zone/type d'opération	45
2.10.2. Procédures d'approche finale de type 'APV'	46
2.11. Opérations PBN et senseurs	46
2.12. Avantages de la PBN	47
2.13. Conclusion	48
3. LA NAVIGATION DE SURFACE	49
3.1. Introduction	49
3.2. Historique	49
3.3. Méthodes de navigation	50
3.4. Systèmes RNAV	50
3.4.1. Définition	50
3.4.2. Objectifs de la navigation de surface 'RNAV'	52
3.4.3. Fonction de base du système RNAV	53
3.4.4. Base de données de navigation	54
3.4.5. Établissement des plans de vol	54
3.4.6. Méthode de positionnement RNAV	57
3.4.7. Précision de navigation	58
3.4.8. Intégrité des bases de données de navigation	58
3.4.9. Guidage et contrôle	59
3.4.10. Exigences imposées sur le système RNAV	59
3.4.11. Equipements RNAV	60
3.4.12. Principe du système RNAV	60
3.4.13. Certification RNAV	61
3.4.14. Zones d'exploitation	61
3.4.15. Les différents types de la RNAV	61
3.4.16. La différence entre P-RNAV et B-RNAV	62
3.5. Procédures RNAV	63
3.5.1. Généralités	63
3.5.2. Erreur technique de vol (FTE)	63
3.5.3. Valeurs tampons	64

3.5.4. Aire de franchissement d'obstacles	65
3.5.5. Repères	65
3.5.6. RNAV avec GNSS de base	65
3.5.7. Attente RNAV	69
3.5.8. Comparaison des aires de protection des procédures RNAV et des procédures conventionnelles	70
3.6. Les avantages de la RNAV	76
3.7. Problèmes actuels de la RNAV	78
3.8. Conclusion	78
4. LES PROCEDURES D'APPROCHE RNAV(GNSS) EN 'T' OU EN 'Y'	79
4.1. Introduction	79
4.2. La navigation par satellite pour l'aviation civile 'GNSS'	81
4.2.1. Introduction	81
4.2.2. Historique	81
4.2.3. Définition du 'GNSS'	83
4.2.4. Constellations de base	84
4.2.5. Principe de fonctionnement du GNSS	87
4.2.6. Le récepteur GNSS	90
4.2.7. Opérations du GNSS	90
4.2.8. Equipements de bord	90
4.2.9. Critères de performance de navigation	92
4.2.10. Critères de performance relatifs aux systèmes de navigation	93
4.2.11. Systèmes de renforcement	93
4.2.12. Types de NOTAM GNSS	97
4.2.13. Avantages du GNSS	98
4.2.13. Stratégie de mise en œuvre du GNSS dans la région AFI (AFRIQUE-OCEAN INDIEN	99
4.2.14. Conclusion	104
4.3. Procédures RNAV(GNSS)	106
4.3.1. Introduction	106
4.3.2. Historique	106
4.3.3. Types d'approches et critères opérationnels	106
4.3.4. Utilisation des procédures RNAV(GNSS)	108
4.3.5. Préparation de vol	109

4.3.6. Critères de construction des procédures d'approche RNAV(GNSS)	110
4.3.7. Les conditions de mise en œuvre de procédures GNSS	111
4.3.8. Publication de la carte d'approche	112
4.3.9. Certification des systèmes embarqués	113
4.3.10. Les avantages des procédures RNAV/GNSS	113
4.3.11. Conclusion	113
4.4. Types d'approches et intégration dans la procédure RNAV(GNSS)	116
4.4.1. Introduction	116
4.4.2. Approches en 'T' ou en 'Y'	116
4.4.3. Concept général	116
4.4.4. Attente protégée RNAV/GNSS	119
4.4.5. Les différents segments d'une procédure d'approche RNAV /GNSS en 'T' ou en 'Y'	119
4.4.6. Altitude /hauteur d'arrivée en région terminale (TAA/TAH)	126
4.4.7. Conclusion	131
<b>5. CONSTRUCTION DE LA PROCEDURE D'APPROCHE RNAV(GNSS) POUR L'AERODROME DE HASSI MESSAOUD</b>	<b>132</b>
5.1. Introduction	132
5.2. Présentation de l'aérodrome	134
5.3. Description de l'aérodrome de HassiMessouad	134
5.3.1. Situation géographique de l'aérodrome	134
5.3.2. Caractéristiques dimensionnelles de l'aérodrome	134
5.4. Types d'obstacles de l'aérodrome	135
5.4.1. Aires d'approche et de décollage	135
5.5. Installation de télécommunication des services de la circulation aérienne	135
5.6. Zone de contrôle de Hassi Messouad (CTR)	136
5.7. Moyens d'aide à la navigation	136
5.8. Les procédures existantes	137
5.8.1. Procédures d'approche aux instruments	137
5.9. Le service de contrôle d'approche de Hassi Messaoud	138
5.10. Etude de la densité de trafic	139
5.11. Introduction	142

5.12. Hypothèse	142
5.13. Choix du type de procédure	142
5.14. Analyse des données	143
5.14.1. Infrastructure	143
5.14.2. Suppositions	144
5.15. MSA	144
5.15.1. MFO applicable	145
5.15.2. Obstacles	145
5.15.3. Sectorisation	146
5.16. Construction des segments de la procédure	146
5.16.1. Ordre de l'étude	146
5.17. Conclusion	159
5.18. Introduction	161
5.19. Présentation de l'AutoCAD	161
5.20. Présentation de l'ArchiCAD	162
CONCLUSION	163
ANNEXES	166
ANNEXE 1	167
ANNEXE 2	168
ANNEXE 3	171
ANNEXE 4	174
REFERENCES	177

## **LISTE DES GRAPHIQUES**

<b>Graphe 1</b> : Le taux de flux annuel de trafic international des années 2009-2012	138
<b>Graphe 2</b> : Le taux de flux annuel de trafic national des années 2009-2012	139
<b>Graphe 3</b> : Le taux de flux annuel de trafic commercial des années 2009-2012	139

## **ABBREVIATIONS ET SYMBOLES**

**AAIM:** Aircraft-based Autonomous Integrity Monitoring

**ABAS:** Aircraft-Based Augmentation System

**AFI :** Afrique-Océan Indien

**AIC:** Aeronautical Information Circulaire

**AIP:** Aeronautical Information Publication

**AIRAC:** Aeronautical Information Regulation And Control

**AMC:** Acceptable Means Conformité

**ANP:** Actual Navigation Performance

**ANSPs :** Air Navigation Service Provider

**APCH:** Approche

**API:** Approche Interrompue

**APIRG :** AFI Planning and Implementation Regional Group

**APP:** Approche

**APV:** Approach Procedure with Vertical guidance

**ARN :** Réseaux de route ATS

**ARP:** Aerodrome Reference Point

**ASIC:** Application Specific Integrated Circuit

**ATC:** Air Traffic Control

**ATM:** Air Traffic Management

**ATT:** Along Track Tolerance

**ATS:** Air Traffic Services

**AW:** Air Way

**BIM :** Building Information Modeling

**B-RNAV:** Basic Area Navigation

**BV :** Buffer Value

**CAT :** Catégorie

**CDEFA :** Continuous Descent Final Approach

**CEAC :** Conférence Européenne de l'Aviation Civile

**CFIT:** Controlled Flight Into Terrain

**CNS :** Communication Navigation Surveillance

**CTMO :** Centred Air Traffic Management Organisation

**DACM :** Direction de l'Aviation Civile et de la Météorologie

**DAO:** Dessin Assisté par Ordinateur

**DER:** Departure End of the Runway

**DH:** Decision height

**DME:** Distance Measuring Equipment

**EASA:** European Aviation Safety Agency

**EGNOS:** European Global Navigation Overlay Service

**EGSA:** Etablissement de Gestion de Services Aéroportuaires

**ENAC :** Etablissement National de l'Aviation Civile

**ENNA :** Etablissement Nationale de la Navigation Aérienne

**EPE:** Estimated Position Error

**ESTB :** EGNOS System Test Bed

**ETA:** Estimated Time of Arrival

**EUROCAE:** European Organization for Civil Aviation Equipment

**FAS:** Final Approach Segment

**FAF:** Final Approach Fix

**FAP:** Final Approach Precision

**FANS:** Futur Air Navigation Système

**FIR:** Flight Information Region

**FMS:** Flight Management System

**FTE:** Flight Technical Error

**FTT:** Flight Technical Tolerance

**GBAS:** Ground-Based Augmentation System

**GEPNA :** Groupe Européen de la Planification de la Navigation Aérienne

**GLONASS:** Global Navigation Satellite System

**GNSS:** Global Navigation Satellite System

**GPS:** Global Positioning System

**HSI:** Horizontal Situation Indicator

**IAC:** Instruments approach chart

**IAF:** Initial Approach Fix

**IATA:** International Air Transport Association

**IF:** Intermediate Fix

**IFR:** Instrument Flight Rules

**ILS:** Instrument landing system

**IMAIL:** Integrity Monitoring Alarm Limit

**IMC:** Instrument Meteorological Conditions

**INS :** Inertial Navigation System

**IRS:** Inertiel Référence Système

**JAA:** Joint Aviation Authorities

**LAAS:** Local Area Augmentation System

**LLZ:** Localizer

**LNAV:** Latérale Navigation

**LOA:** Letter Of Acceptance

**LT:** Lap Top

**MAPt:** Missed Approach Point

**MATF:** Missed Approach Turning Fix

**MDA/H:** Minimum Descent Altitude/Height

**MEL:** Minimum Equipment List

**MF :** Moyenne Fréquence

**MFO :** Marge de Franchissement d'Obstacles

**MLS:** Microwave Landing System

**MOCA/H:** Minimum Obstacle Clearance Altitude/Height

**MSA:** Minimum Safe Altitude

**MSAS:** Multi functional Satellite Augmentation System

**MSD:** Minimum Stabilization Distance

**MSL :** Mean Sea Level

**NDB:** Non-Directional Beacon

**NOTAM:** Notice to Airmen

**NPA:** Non-Precision Approache

**NSE :** Navigation System Error

**OACI :** Organisation de l'Aviation Civile Internationale

**OCA/H:** Obstacle Clearance Altitude/Height

**OCP:** Obstacle Clearance Panel

**OPMA:** On board Performance Monitoring and Alerting Function

**OPS:** Operations

**PA:** Precision Approache

**PANS/OPS:** Procedures for Air Navigation Services – aircraft Operations

**PBN:** Performance Based Navigation

**P-RNAV:** Precision-Area Navigation

**QFU :** Direction magnétique de la piste

**RAIM:** Receiver Autonomous Integrity Monitoring

**RG CSP:** Review of the General Concept of Separation Panel

**RNAV:** Area Navigation

**RNP:** Required Navigation Performance

**RNP AR:** AR pour 'Autorization Required'

**RNPSORSG:** Required Navigation Performance Special Operational Requirements Study  
Group

**RSFTA:** Réseau du Service Fixe des Télécommunications Aéronautiques

**RVR:** Runway Visual Range

**RVSM:** Reduced Vertical Separation Minima

**RWY:** Runway

**SARP:** Standards And Recommended Practices

**SBAS:** Satellite-Based Augmentation System

**SIA :** Service d'Information Aéronautique

**SID:** Standard Instrument Departures

**SOC :** Start Of Climb

**STAR:** Standard Terminal Arrival Route

**TAA:** Terminal Arrival Altitude

**TF:** Track to Fix

**THR :** Threshold

**TMA :** Région de contrôle terminale

**TP:** Turning Point

**TRD :** Distance de trajectoire

**TSE:** Total System Error

**TWR:** Tour de contrôle

**VBA :** Visual Basic for Applications

**VDF:** VHF Direction Finder

**VFR:** Visual Flight Rules

**VHF:** Very High Frequency

**VMC:** Visual Meteorological Conditions

**VNAV:** Vertical Navigation

**VOR:** VHF Omnidirectional Range

**WAAS:** Wide Area Augmentation System

**WGS84:** World Geodetic System 1984 (WGS 84)

**WP:** Waypoint

**XTE:** Cross Track Error

**XTT:** Cross Track Tolerance

## **Unités de mesure**

**Ft** : Foot

**Km/h** : Kilomètre par heure

**Kt** : Nœuds

**M**: Mètres

**NM**: Nautical Mile

## **Symboles**

**tg** : Tangente

**$\theta$**  : Thêta

**$\pi$**  : Pi

**$\alpha$**  : Alpha

## RESUME

Ce mémoire porte sur l'élaboration d'une procédure d'approche RNAV appuyée sur le GNSS de base pour l'aérodrome de Hassi Messaoud (piste 18).

Les procédures RNAV(GNSS) sont basées sur des points indépendants des balises au sol et ont pour principal objectif de remédier aux inconvénients des procédures existantes tout en offrant des avantages aux compagnies aériennes sur le plan économique et de l'exploitation.

Après une analyse objective de la situation actuelle du site en question, notre travail s'efforcera de déboucher sur des résultats, des propositions et des améliorations.

**Mots clés:** GNSS, RNAV, procédures d'approche.

## ABSTRACT

This dissertation is based on the elaboration of the RNAV/GNSS procedures at Hassi Messaoud Airport on runway 18.

RNAV (GNSS) procedures are based on independent ground lighting system which helps improve the inconveniences of other existing procedures.

The inclusion of RNAV (GNSS) benefits airlines economically and in an operational aspect.

After a concrete analysis of the actual situation at Hassi Messaoud Airport, our work ponders on ideas, prepositions and improvement.

**Keywords:** GNSS, RNAV, procedure.

## ملخص

تركز هذه الأطروحة على مشروع قائم على تحضير طريقة اقتراب من النوع RNAV (GNSS) لمطار حاسي مسعود للمسار 18.

هذه الطريقة من النوع الذي يتركز على النقاط المستقلة عن المعالم المتواجدة على سطح الأرض، والهدف الرئيسي من دراستنا هو معالجة عواقب الطريقة الحالية لحاسي مسعود و توفير فوائد لشركات الطيران على حد سواء اقتصاديا أو من حيث الاستغلال .

بعد تحليل موضوعي للوضع الراهن للموقع ، فإن عملنا يسعى إلى تحقيق نتائج، اقتراحات وتحسينات.

## DEFINITIONS

**Aire primaire :** Aire définie située symétriquement de part et d'autre de la trajectoire de vol nominale, à l'intérieur de laquelle une marge constante de franchissement d'obstacles est assurée.

**Aire secondaire :** Aire définie située de part et d'autre de l'aire primaire, le long de la trajectoire de vol nominale, à l'intérieur de laquelle une marge décroissante de franchissement d'obstacles est assurée.

**Altitude :** Distance verticale entre un niveau, un point ou un objet assimilé à un point, et le niveau moyen de la mer (MSL).

**Altitude d'arrivée en région terminale (TAA) :** Altitude la plus basse qui assurera une marge minimale de franchissement de 300 m (1 000 ft) au-dessus de tous les objets situés à l'intérieur d'un arc de cercle défini par un rayon de 46 km (25 NM) centré sur le repère d'approche initiale (IAF) ou, à défaut d'IAF, sur le repère intermédiaire (IF), et délimité par des lignes droites joignant les extrémités de l'arc à l'IF. Combinées, les TAA associées à une procédure d'approche forment un cercle autour de l'IF.

**Alignement de descente :** Trajectoire de vol définie dans le plan vertical, qui passe par le DCP/RDH sur le segment d'approche finale d'une APV ou PA.

**Altitude de décision (DA) ou hauteur de décision (DH) :** Altitude ou hauteur spécifiée à laquelle, au cours de l'approche de précision ou d'une approche avec guidage vertical, une approche interrompue doit être amorcée si la référence visuelle nécessaire à la poursuite de l'approche n'a pas été établie.

**Altitude de franchissement d'obstacles (OCA) ou hauteur de franchissement d'obstacles (OCH) :** Altitude la plus basse ou hauteur la plus basse au-dessus de l'altitude du seuil de piste en cause ou au-dessus de l'altitude de l'aérodrome, selon le cas, utilisée pour respecter les critères appropriés de franchissement d'obstacles.

**Altitude d'un aérodrome :** Altitude du point le plus élevé de l'aire d'atterrissage.

**Altitude minimale de descente (MDA) ou hauteur minimale de descente (MDH) :** Altitude ou hauteur spécifiée, dans une approche classique ou indirecte, au-dessous de laquelle une descente ne doit pas être exécutée sans la référence visuelle nécessaire.

**Altitude minimale de franchissement d'obstacles (MOCA) :** Altitude minimale d'un segment de vol défini, qui assure la marge de franchissement d'obstacles nécessaire.

**Altitude minimale de secteur (MSA) :** Altitude la plus basse qui puisse être utilisée et qui assurera une marge minimale de franchissement de 300 m (1 000 ft) au-dessus de tous les objets situés dans un secteur circulaire de 46 km (25 NM) de rayon centré sur une aide de radionavigation.

**Approche :** Phase de vol au cours de laquelle l'aéronef évolue pour se rapprocher de la surface selon des procédures définies, en vue d'effectuer soit des manœuvres d'atterrissage réelles ou simulées, soit d'autres manœuvres.

**Arrivée normalisée aux instruments (STAR) :** Route désignée d'arrivée, suivie conformément aux règles de vol aux instruments (IFR), reliant un point significatif, normalement situé sur une route ATS, à un point où peut commencer une procédure d'approche aux instruments.

**Complément géostationnaire européen de navigation (EGNOS) :** Système de renforcement satellitaire assurant un service de navigation conforme aux spécifications de l'Annexe 10 dans la Région Europe.

**Départ normalisé aux instruments (SID) :** Route désignée de départ, suivie conformément aux règles de vol aux instruments (IFR), reliant l'aérodrome ou une piste spécifiée de l'aérodrome à un point significatif spécifié, normalement situé sur une route ATS désignée, auquel commence la phase en route d'un vol.

**Distance DME :** Distance optique (distance oblique) entre la source d'un signal DME et l'antenne de réception.

**Distance minimale de stabilisation (MSD) :** Distance minimale à l'intérieur de laquelle une manœuvre de virage doit être achevée et après laquelle une nouvelle manœuvre peut être amorcée. La distance minimale de stabilisation est utilisée pour calculer la distance minimale entre points de cheminement.

**Extrémité départ de la piste (DER) :** Limite de l'aire déclarée appropriée pour le décollage (extrémité de la piste ou du prolongement dégagé)

**Global Navigation Satellite System (GNSS) :** Système mondial de navigation par satellite. Certaines procédures d'approche aux instruments sont basées sur ce système.

**Hauteur :** Distance verticale entre un niveau, un point ou un objet assimilé à un point, et un niveau de référence spécifié.

**Infrastructure d'aides à la navigation :** On entend par infrastructure d'aides à la navigation les aides de navigation, spatiales ou au sol, disponibles pour satisfaire aux exigences d'une spécification de navigation.

**Instrument Landing System (ILS) :** Système d'atterrissage aux instruments utilisé lors de la phase finale d'atterrissage et permettant aux avions de connaître leur position par rapport à l'axe d'atterrissage et au plan de descente.

**Marge minimale de Franchissement des Obstacles (MFO) :** Distance verticale spécifiée, destinée à compenser, pour le survol des obstacles en vol aux instruments, les tolérances et les imprécisions admises dans l'évaluation de la position verticale et dans la conduite d'un aéronef.

**Mille nautique ou mille marin (abréviation : Nm) :** Unité de mesure équivalant à 1852 mètres et utilisée en navigation aérienne pour exprimer une valeur de distance.

**Nœud (abréviation : kt) :** Unité de mesure de vitesse. L'unité internationale de la vitesse s'exprime en mètre/seconde. 1 noeud = 1 mille marin = 1852 mètres/heure.

**Non Directional Beacon (NDB) ou Locator (L) :** Radiobalise de portée réduite émettant un signal permettant aux avions de connaître leur distance par rapport à ce moyen de radionavigation.

**NOTAM :** Avis diffusé par télécommunication et donnant, sur l'établissement, l'état ou la modification d'une installation, d'un service, d'une procédure aéronautiques, ou d'un danger pour la navigation aérienne, des renseignements qu'il est essentiel de communiquer à temps au personnel chargé des opérations aériennes.

**Navigation de surface (RNAV) :** Méthode de navigation permettant le vol 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.

**Opérations RNAV :** Opérations aériennes utilisant un système de navigation de surface pour des applications RNAV. Les opérations RNAV incluent l'utilisation de la navigation de surface pour des opérations qui ne sont pas mises au point en accord avec le Manuel de la navigation fondée sur les performances (PBN) (Doc 9613).

**Opérations RNP :** Opérations aériennes utilisant un système fondé sur la RNP pour des applications de navigation RNP.

**Point d'approche interrompue (MAPt) :** Point d'une procédure d'approche aux instruments auquel ou avant lequel la procédure prescrite d'approche interrompue doit être amorcée afin de garantir que la marge minimale de franchissement d'obstacles sera respectée.

**Procédure d'approche aux instruments (IAP) :** Série de manœuvres prédéterminées effectuées en utilisant uniquement les instruments de vol, avec une marge de protection

spécifiée au-dessus des obstacles, depuis le repère d'approche initiale ou, s'il y a lieu, depuis le début d'une route d'arrivée définie, jusqu'en un point à partir duquel l'atterrissage pourra être effectué, puis, si l'atterrissage n'est pas effectué, jusqu'en un point où les critères de franchissement d'obstacles en attente ou en route deviennent applicables.

**Procédure d'approche classique (NPA) :** Procédure d'approche aux instruments qui utilise le guidage latéral mais pas le guidage vertical.

**Procédure d'approche avec guidage vertical (APV) :** Procédure d'approche aux instruments qui utilise les guidages latéral et vertical mais ne répond pas aux spécifications établies pour les approches et atterrissages de précision.

**Procédure d'approche de précision (PA) :** Procédure d'approche aux instruments qui utilise les guidages latéral et vertical de précision en respectant les minimums établis selon la catégorie de vol.

**Procédure d'approche de précision :** Procédure d'approche aux instruments qui utilise les informations d'azimut et de trajectoire de descente fournies par un ILS ou un PAR.

**Procédure d'approche interrompue :** Procédure à suivre lorsqu'il est impossible de poursuivre l'approche.

**Procédure d'attente :** Manœuvre prédéterminée exécutée par un aéronef pour rester dans un espace aérien spécifié en attendant une autorisation.

**Pied (abréviation : ft) :** unité de mesure équivalant à 0,3048 mètres et utilisée pour exprimer une valeur de hauteur ou d'altitude.

**Qualité de navigation requise (RNP) :** Expression de la performance de navigation qui est nécessaire pour évoluer à l'intérieur d'un espace aérien défini.

**Route :** Projection à la surface de la terre de la trajectoire d'un aéronef, trajectoire dont l'orientation, en un point quelconque, est généralement exprimée en degrés par rapport au nord (vrai, magnétique ou grille).

**Route à navigation de surface :** Route ATS établie à l'usage des aéronefs qui peuvent utiliser la navigation de surface.

**Route RNP :** Route ATS établie à l'usage des aéronefs qui respectent une spécification de navigation RNP prescrite.

**Seuil :** Début de la partie de la piste utilisable pour l'atterrissage.

**Système RNAV :** Système de navigation qui permet des vols sur n'importe quelle trajectoire voulue à l'intérieur de la couverture d'aides de navigation à référence sur station

ou dans les limites des capacités d'aides autonomes, ou une combinaison des deux. Un système RNAV peut être inclus dans le cadre d'un système de gestion de vol (FMS).

**Système RNP :** Système de navigation de surface qui prend en charge la surveillance et d'alerte à bord en ce qui concerne les performances.

**VHF Omni-Range (VOR) :** Le radiophare omnidirectionnel VHF est un système de navigation permettant à un avion de connaître sa position par rapport à cette balise. Cet équipement est souvent co-implanté avec un mesureur de distance (DME).

## INTRODUCTION

Lorsque des aéronefs naviguent grâce à des signaux directs provenant de moyens de radionavigations basées au sol, la conception de 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 de navigation. Ce qui amène à des routes d'arrivée et de départ plus longues étant impraticables à cause des difficultés de localisation et du surcoût qui s'appliquent à l'installation d'aides de radionavigation basées 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' constituée 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 permettrait 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 renforcée par un service d'intégrité interne au système de navigation de bord (ABAS). Ces derniers sont basés sur des points indépendants des balises au sol.

Considérant l'apport induit par l'application des procédures RNAV(GNSS) ainsi énoncées, notre travail portera sur leur élaboration avec configuration en 'Y' pour l'aérodrome de Hassi Messaoud, qui présente une forte densité de trafic centré au Sud (Piste 36) ainsi que des difficultés qui seront exposées 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 caractérisée par une entrée directe en provenance de toute direction pour la piste 18 pour ainsi réduire la charge de trafic basé sur la piste 36 apportant une meilleure utilisation de l'espace aérien en toute sécurité, des avantages aux compagnies aériennes tant du point de vue économique que sur le plan de l'exploitation, et enfin, une réduction de la charge de travail des contrôleurs aériens.

Le présent mémoire est structuré en cinq (05) chapitres bien distincts désignés ci-après:

- ✓ **Chapitre 1** : Présentation succincte de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne par abréviation 'ENNA' ; lieu du stage effectué ;
- ✓ **Chapitre 2** : Concept de la navigation fondée sur les performances 'PBN' ainsi que ses objectifs et ses différentes utilisations ;
- ✓ **Chapitre 3** : Aperçu sur la navigation de surface 'RNAV' ;
- ✓ **Chapitre 4** : Procédures RNAV/GNSS –Configuration en T ou en Y

Chapitre subdivisé en trois (03) sections :

-Section 1 : Utilisation du GNSS 'Système mondial de navigation par satellite' dans le domaine de la navigation aérienne ;

-Section 2 : Différentes exigences liées à la mise en œuvre des procédures d'approche de non précision RNAV basées sur le GNSS ;

-Section 3 : Procédures d'approches RNAV(GNSS) avec configuration en 'T' ou en 'Y'.

- ✓ **Chapitre 5** : Plateforme aéroportuaire de Hassi Messaoud : Analyse de la situation actuelle et Projet d'élaboration d'une procédure RNAV (GNSS) avec configuration en 'Y'.

Chapitre subdivisé en trois (03) sections :

-Section 1 : Présentation de la plateforme aéroportuaire de Hassi Messaoud et analyse de la situation actuelle ;

-Section 2 : Projet d'élaboration d'une procédure RNAV (GNSS) sur l'aérodrome de Hassi Messaoud configuration en 'Y' ;

-Section 3 : Informatisation de la procédure.

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

## CHAPITRE 1

### PRESENTATION DE L'ETABLISSEMENT NATIONAL DE LA NAVIGATION AERIENNE 'ENNA'

#### 1.1. Introduction

Dans le cadre de la préparation de notre mémoire de fin d'études, un stage a été effectué au sein de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (E.N.N.A.) et plus précisément au niveau du Département de la Circulation Aérienne (D.C.A).

#### 1.2. Présentation de l'établissement d'accueil « l'ENNA »

L'ENNA est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) dont la charge est d'assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne.

Placé sous la tutelle du Ministère des Transports, il a pour mission principale d'assurer le service de la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien algérien pour le compte et au nom de l'Etat algérien ainsi que 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. De plus, Il est chargé du contrôle et du suivi des appareils en vol ainsi que de la sécurité aérienne.

L'E.N.N.A collabore avec des institutions nationales et internationales dans le cadre du développement des projets liés à la navigation aérienne :

- Le Ministère des Transports ;
- L'Université Saad Dahlab /Département d'Aéronautique de Blida (DAB) ;
- L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) ;
- L'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) ;
- L'Organisation Européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne (EUROCONTROL) ;
- L'Ecole Nationale de l'Aviation Civile de Toulouse (ENAC).

#### 1.3. Historique

Depuis l'indépendance, cinq (05) organismes ont été chargés de la gestion, de l'exploitation et du développement de la navigation aérienne en Algérie .Il s'agit de :

- L'Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique (OGSA) ;
- L'Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie (ONAM) ;
- L'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique (ENEMA) ;
- L'Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique par abréviation (ENESA) ;
- L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA).

➤ **De 1962 à 1968 :**

L'ensemble des services d'Exploitation de l'Aviation Civile en Algérie a été géré par l'Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique (OGSA), organisme Algéro-Français.

➤ **Le 1<sup>er</sup> Janvier 1968 :**

L'Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique (OGSA) a été remplacée par l'Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie (ONAM).

➤ **De 1969 à 1991 :**

En 1969, l'Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie (ONAM) a été remplacé par l'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique (ENEMA) lequel a géré la navigation aérienne jusqu'à 1983.

En 1975, les activités de météorologie ont été transférées à l'Office National de la Météorologie créé le 29 Avril 1975, sous forme d'Etablissement Public à caractère administratif.

Dans le cadre du **décret n<sup>o</sup>83-311 du 7 mai 1983**, l'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique (**ENEMA**) a pris la dénomination de « Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique » par abréviation (ENESA) et désignée 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<sup>o</sup>71-74 du 16 novembre 1971 relative à la gestion socialiste des entreprises et les textes pris pour son application.

A sa dernière restructuration, par **décret n<sup>o</sup>91-149 du 18 mai 1991** portant réaménagement des statuts de l'Entreprise Nationale d'Exploitation et Sécurité Aéronautique, celle-ci a pris une dénomination nouvelle « Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA)» et les prérogatives de l'établissement ont été actualisées dans le cadre de la mise en œuvre de la loi concernant l'autorité financière des entreprises.

L'ENNA, Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous tutelle du Ministère des Transports, est dirigé par un Directeur Général et administré par un Conseil d'Administration.

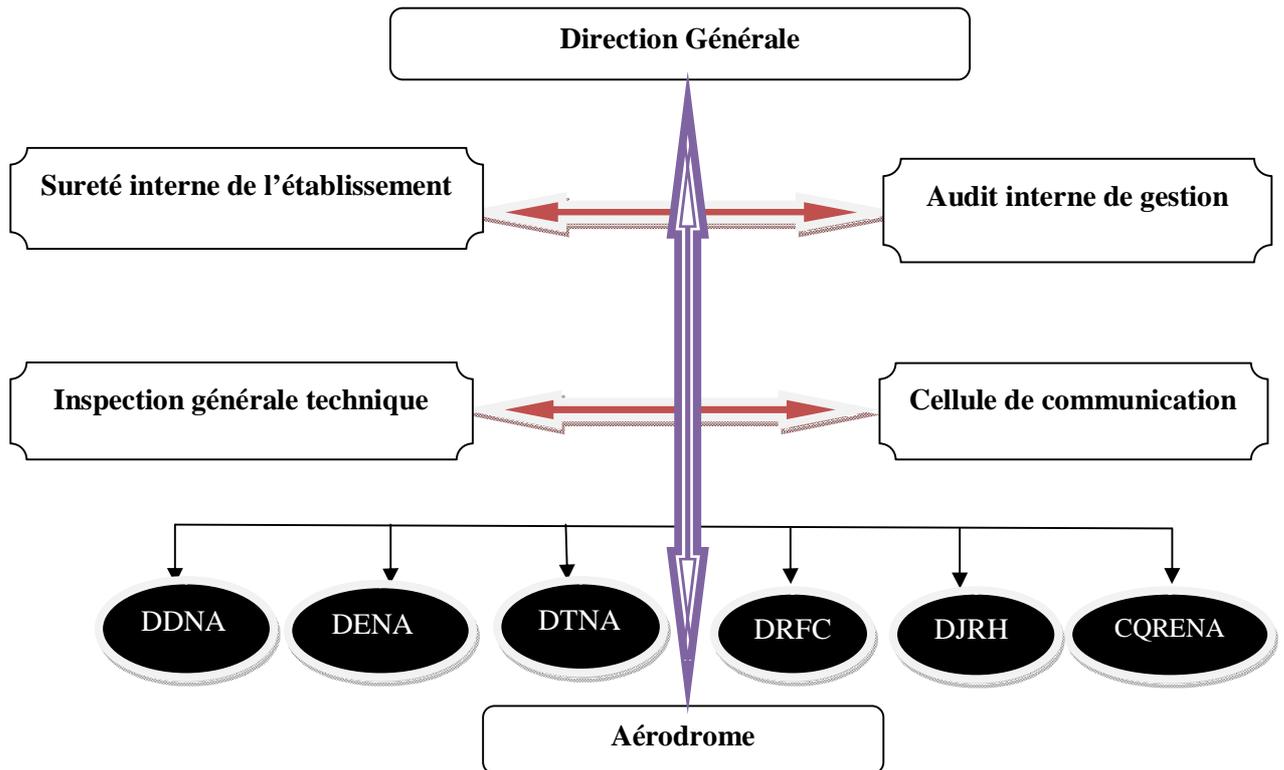
#### **1.4. Missions de l'ENNA**

Les principales missions de l'ENNA consistent à :

- Assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'État;
- Assurer la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ainsi que sur et aux abords des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique;
- Mettre en œuvre la politique nationale dans ce domaine, en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées;
- Veiller au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation aérienne et à l'implantation des aérodromes, aux installations et équipements relevant de sa mission;
- Assurer l'exploitation technique des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique;
- Assurer la concentration, la diffusion ou la retransmission au plan national et international des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique.

#### **1.5. Organisation de l'ENNA**

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne est structuré comme suit :



**Figure 1.1 : Organisation de l'ENNA**

- ❖ **DDNA** : Direction de Développement de la Navigation Aérienne.
- ❖ **DENA** : Direction d'Exploitation de la Navigation Aérienne.
- ❖ **DTNA** : Direction Technique de la Navigation Aérienne.
- ❖ **DRFC** : Direction des Ressources, des Finances et de la Comptabilité.
- ❖ **DJRH** : Direction Juridique et Ressources Humaines.
- ❖ **CQRENA** : Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne.
- ❖ **AERODROMES** : Directions de la Sécurité Aéronautique.
  - ✓ 25 Aérodrômes nationaux.
  - ✓ 11 Aérodrômes internationaux.

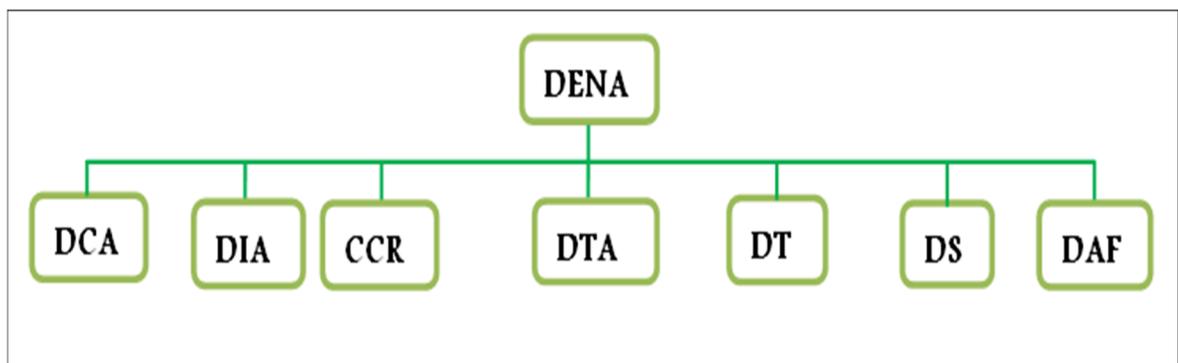
### **1.6. Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne (DENA)**

La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne (DENA) est chargée de:

- Assurer la sécurité et la régularité de la navigation aérienne ;
- Gérer et contrôler l'espace aérien (en route et au sol) confié par le centre de contrôle régional (CCR) et les différents départements de la circulation aérienne ;

- Veiller à la bonne gestion technique au niveau des aérodromes ;
- Mettre à la disposition de tous les exploitants le service de l'information aéronautique ainsi que les informations météorologiques ;
- Gérer les services de la télécommunication aéronautique ;
- Emettre la facturation des redevances de la navigation aérienne de l'entreprise ;
- Assurer le service de sauvetage et de lutte contre les incendies aux aérodromes.

La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne comprend six (06) Départements et un Centre de Contrôle Régional.



**Figure 1.2 :** Organisation de la DENA

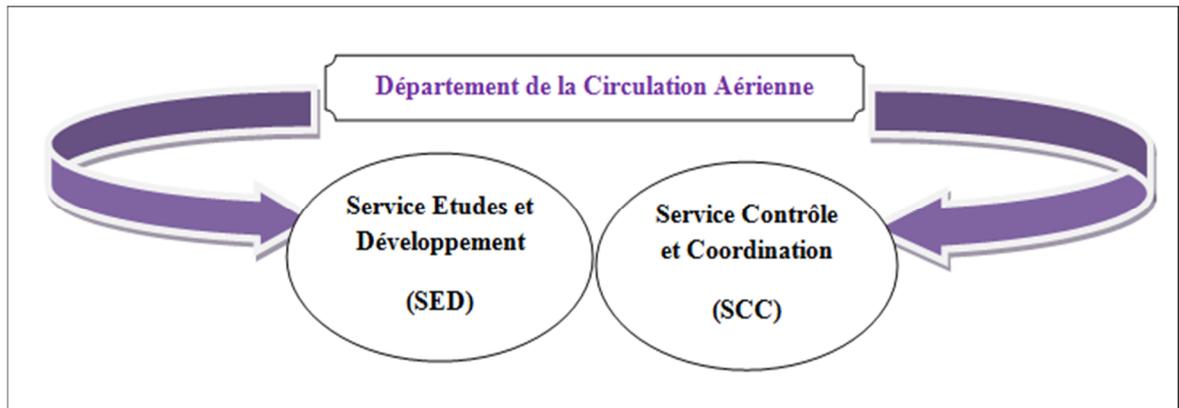
- ❖ **DCA** : Département Circulation Aérienne.
- ❖ **DIA** : Département Informations Aéronautiques.
- ❖ **CCR** : Centre de Contrôle Régional.
- ❖ **DTA** : Département Télécommunications Aéronautiques.
- ❖ **DT** : Département Technique.
- ❖ **DS** : Département Système.
- ❖ **DAF** : Département Administration et Finances.

### **1.6.1. Le Département de la Circulation Aérienne (DCA)**

Le département de la circulation aérienne est chargé du contrôle et du suivi de l'espace aérien géré par les aérodromes et le CCR ainsi que les études liées au développement de la navigation aérienne. Il chapeaute deux services :

- Le Service Etudes et Développement (SED) ;

- Le Service Contrôle et Coordination (SCC).

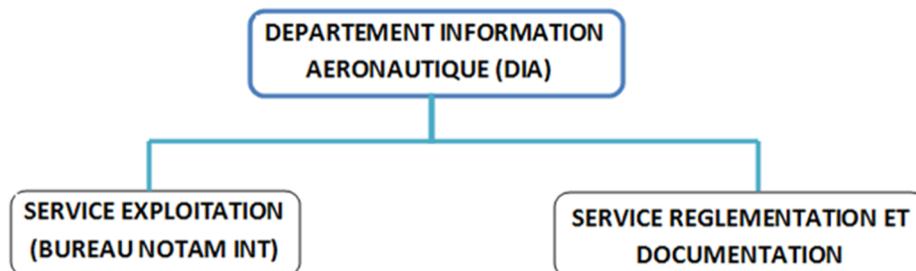


**Figure 1.3 :** Organisation de DCA.

### **1.6.2. Le Département de l'Information Aéronautique (DIA)**

Le département d'information aéronautique supervise deux services qui lui sont directement rattachés:

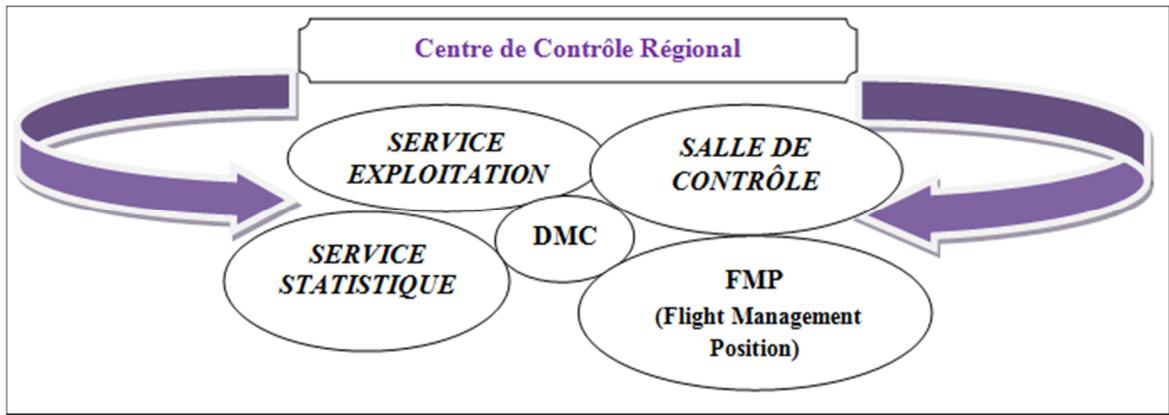
- Le Service Exploitation NOTAM ;
- Le Service Documentation et Réglementation.



**Figure 1.4 :** Organisation du DIA

### **1.6.3. Centre de Contrôle Régional (CCR)**

Le Centre de Contrôle Régional d'Alger centralise cinq (05) divisions principales pour assurer l'exploitation journalière du trafic aérien :



**Figure 1.5 :** Organisation du CCR

#### **1.6.4. Département Télécommunication Aéronautique (DTA)**

Le département télécommunication aéronautique, appelé communément Bureau Central de Télécommunication (BCT) à vocation nationale et internationale, est défini comme un service de télécommunication entre deux points fixes pour la sécurité de la navigation aérienne.

Le réseau du service fixe des télécommunication aéronautique RSFTA est défini au chapitre 1 du volume 2 de l'annexe 10 de l'OACI comme un réseau de circuit fixe aéronautique coordonné sur le plan mondial destiné dans le cadre du service fixe aéronautique à l'échange de communications entre les stations aéronautiques de ce réseau.

#### **1.6.5. Département Technique (DT)**

Le département technique travaille en système brigadier et joue un rôle très important dans l'organisation et la coordination entre les différentes structures afin d'assurer :

- La continuité de l'information messagerie entre les différents organes qui exploitent la navigation aérienne ;
- La continuité de communication vocale entre les avions, les aéroports, les centres de contrôle nationaux et internationaux ;
- La continuité des informations RADAR, pour bien gérer et organiser l'espace aérien et la circulation aérienne ;
- L'approvisionnement en énergie électrique pour les différentes structures de la DENA.

### **1.6.6. Département Système (DS)**

Le département système (DS) de la direction de l'exploitation de la navigation aérienne est structuré en deux services :

- Le Service Maintenance Système(SMS) ;
- Le Service Intégration et Développement (SID).

### **1.7. Conclusion**

L'Établissement National de la Navigation Aérienne exploite non seulement des aéroports mais fournit aussi des installations et des services de navigation aérienne aux aéroports algériens dont la prestation de ces services est fondée sur le volume de trafic à l'aéroport.

L'État examine actuellement ces services pour s'assurer qu'ils répondent aux besoins des milieux de l'aviation tout en assurant la sécurité tant sur le plan national qu'international.

Il consulte également les milieux en question et les parties visées sur les possibilités de commercialisation du réseau de navigation aérienne.

## CHAPITRE 2

### LE CONCEPT PBN

#### **2.1. Introduction**

De nouveaux concepts et systèmes avancés peuvent offrir des améliorations potentielles en termes de sûreté, d'efficacité et d'économie de vol, à condition que leur mise en œuvre soit réalisée d'une manière coordonnée avec un processus de planification harmonisé avec les plans régionaux et le plan mondial.

L'objectif visé par ce chapitre est d'introduire le concept de la navigation fondée sur les performances qui a apporté un changement majeur dans la conception de l'espace aérien. Il insiste aussi sur la désignation des spécifications de navigation RNAV et RNP ainsi que leur distinction. Il traite des orientations sur la façon de mettre en œuvre des applications.

Le présent chapitre explique également comment les responsables de la planification de l'espace aérien, concepteurs de procédures, autorités de navigabilité, contrôleurs et pilotes utilisent le concept de PBN.

#### **2.2. Historique**

Le concept de navigation fondée sur les performances (PBN) a pris naissance à l'OACI. La résolution n° 23 de la 36<sup>e</sup> Assemblée générale de l'OACI demande aux Régions d'avoir établi des plans de mise en œuvre de la PBN avant la fin de 2009.

#### **2.3. Origine de la PBN**

La RNAV basée sur le concept RNP OACI telle qu'elle est définie dans « le manuel RNP » pouvait être interprétée sous différentes façons. En effet, un Etat ou industriel peut choisir pour une même opération :

- RNP x, x variable ;
- RNP avec ou sans intégrité ;
- Spécifications de fonction RNAV très diverses.

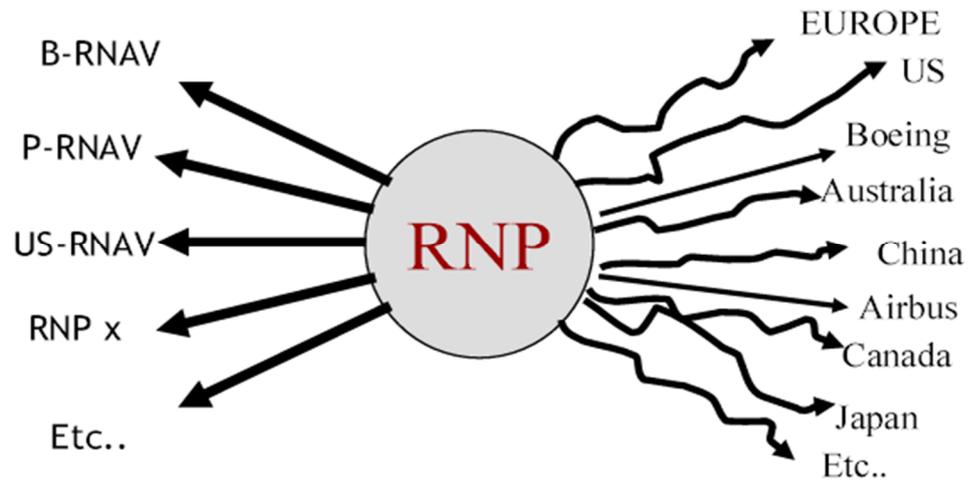


Figure 2.1 : le concept RNP [1]

Cette situation présentait une forte contrainte pour l'aviation, c'est pour cela que l'OACI a décidé, suite à la 11<sup>ième</sup> 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 début 2007.

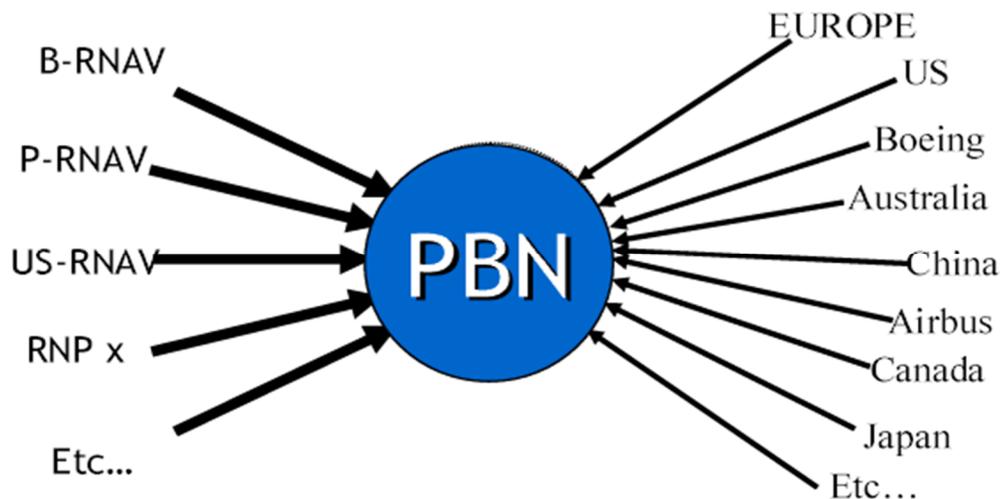


Figure 2.2 : Le concept PBN [1]

**Le concept PBN remplace le concept RNP.**

## **2.4. Mise en œuvre du concept PBN**

Depuis 2007, le manuel PBN de l'OACI est le nouveau document de référence accepté par 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 minimas 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 et publier un plan de déploiement du PBN.

## **2.5. Contenu du manuel PBN**

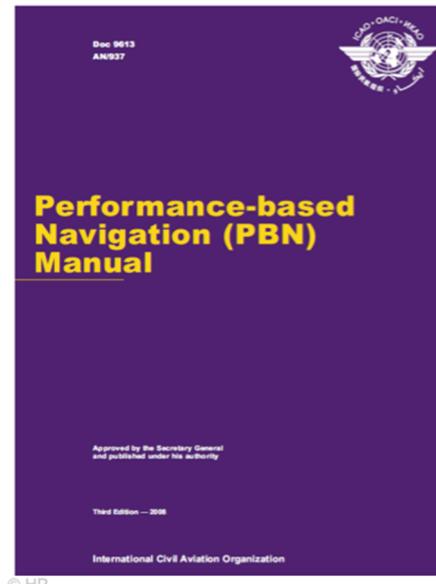
Le manuel PBN contient deux volumes qui sont définis comme suit :

**Volume I** : Concept et éléments d'orientation

- ✓ **Partie A**: Concept de la navigation fondée sur la performance ;
- ✓ **Partie B**: Eléments d'orientation pour la mise en œuvre.

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

- ✓ **Partie B** :
  - Mettre en œuvre la RNAV ;
  - Mettre en œuvre RNAV10, RNAV5, RNAV1 et 2.
- ✓ **Partie C** :
  - Mettre en œuvre la RNP ;
  - Mettre en œuvre RNP4, RNP1 ou 2, Basic RNP, RNP0.3, Barométrique VNAV.



**Figure 2.3 : Le manuel PBN [2]**

## **2.6. Principe de la navigation fondée sur les performances**

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. Ce concept englobe la navigation de surface (RNAV) et la performance requise de navigation (RNP) et de plus révisé le concept actuel de RNP qui portent sur toutes les phases du vol.

La navigation fondée sur les performances est de plus en plus vue comme la solution la plus pratique pour réguler le domaine des systèmes de navigation, actuellement en augmentation. Elle définit le cadre global des besoins harmonisés de la navigation moderne, qui n'existait pas auparavant ou qui n'existait qu'à l'échelon régional. Elle soutient les applications actuelles et futures des technologies de la navigation de surface qui 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 une 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.

## **2.7. 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 de la réalisation 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, la surveillance ATS et l'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'aides 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 procédures aux instruments dans le contexte du concept d'espace aérien a pour résultat une troisième composante :

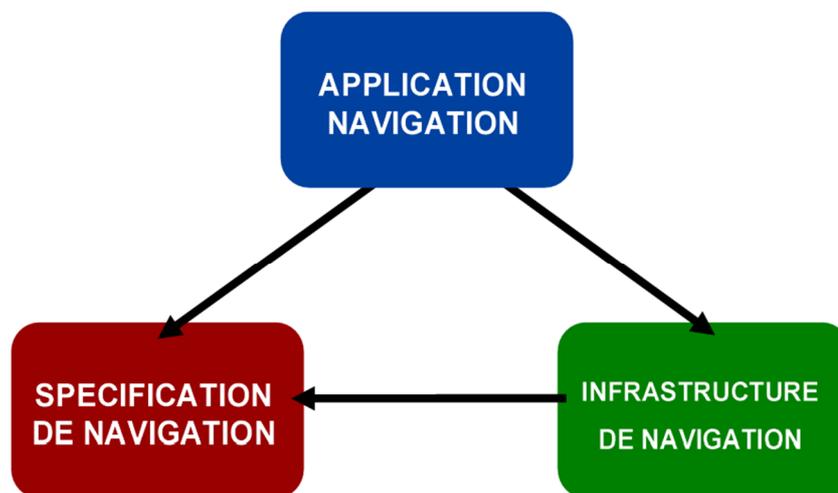
- 3) l'application de navigation.

Où :

- ✓ **Infrastructure d'aides à la navigation** : Les infrastructures d'aides à la navigation sont des aides de navigation, spatiales ou au sol, disponibles pour satisfaire aux exigences de la spécification de navigation.
- ✓ **Spécification de navigation** : La spécification de navigation est un 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.

- ✓ **Application de navigation :** L'application d'une spécification de navigation et de l'infrastructure d'aides à la navigation correspondante à des routes, des procédures et/ou un volume d'espace aérien défini, en accord avec le concept d'espace aérien envisagé.



**Figure 2.4:** Les composants du concept PBN [1]

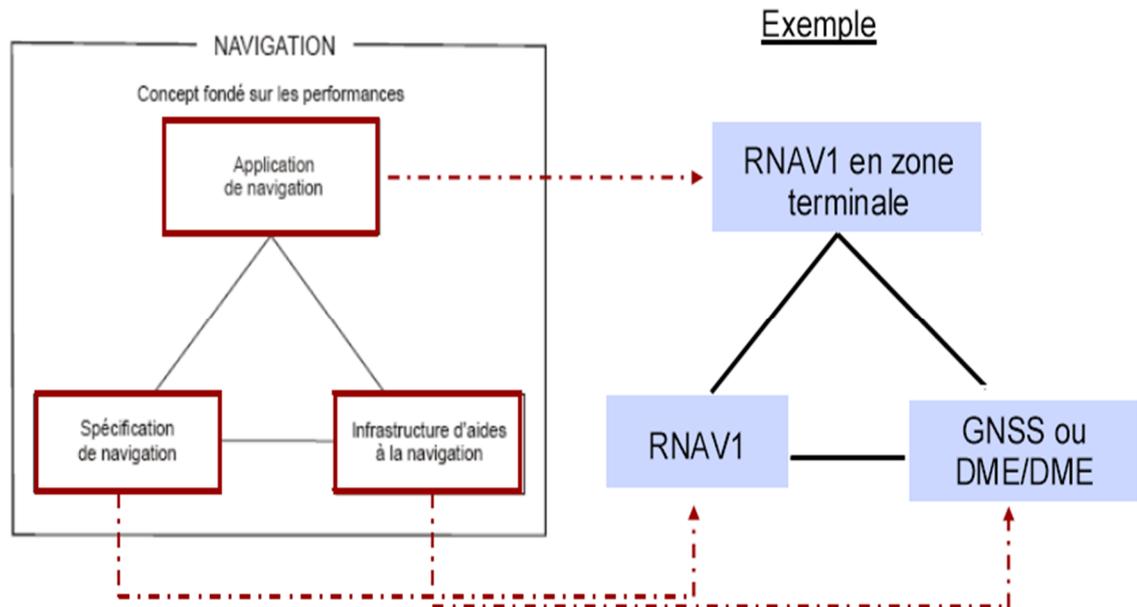
L'application de navigation consiste à l'utilisation d'une **spécification de navigation** et d'une **infrastructure de navigation** qui permet à un aéronef d'évoluer dans un espace désigné, sur une route ou une procédure avec un niveau de performance requis.

Exemple en région terminale :

- spécification de navigation : RNAV1 (1NM of accuracy (1NM de précision)).
- Infrastructure de navigation : GNSS ou DME/DME.

L'infrastructure de navigation consiste en :

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



**Figure 2.5 :** Exemple illustratif des composants du concept PBN [1]

## **2.8. La spécification de navigation**

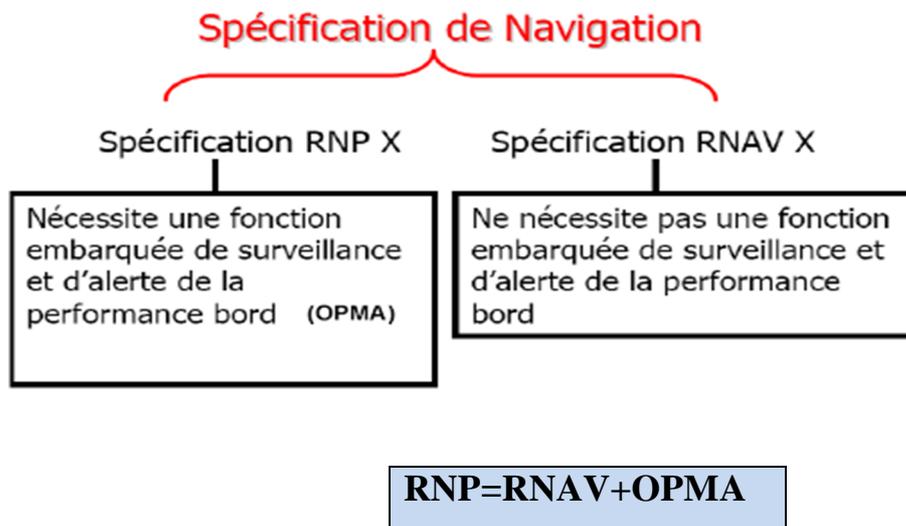
Comme il a été décrit dans le manuel PBN (Doc 9613 AN/937 ; 2008), la spécification de navigation sert de base à un État pour élaborer ses documents d’approbation de navigabilité et d’approbation opérationnelle. Elle explique en détail les performances requises du système RNAV en termes de précision, d’intégrité, de disponibilité et de continuité, les fonctionnalités de navigation 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[2]. Ces dernières figurent dans le Volume II du manuel cité ci-dessus.

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

- **Spécification de la performance de navigation requise (RNP) :** une spécification de navigation fondée sur la navigation de surface, **avec** fonction embarquée de surveillance et d’alerte de la performance de bord (On board Performance Monitoring and Alerting Function), et qui est désignée par le préfixe RNP; ex : RNP 4, RNP APCH.

- **Spécification RNAV** : une spécification de navigation fondée sur la navigation de surface, **sans** fonction embarquée de surveillance et d'alerte de la performance de bord (On board Performance Monitoring and Alerting Function), et qui est désignée par le préfixe RNAV; ex : RNAV 5, RNAV 1.

Les spécifications RNAV et RNP sont fondamentalement similaires. En effet, la principale différence entre elles est la fonction de 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.



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

La précision de navigation est exprimée par un chiffre (ex : RNAV 5, RNP 0,3) 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 mode 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 5** : utilisée pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de certains segments d'arrivée et de départ.
- **RNAV 1** : utilisée pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de SID, de STAR et d'approches jusqu'au FAF/FAP.
- **RNP 1 de base** : utilisée pour appuyer des opérations RNAV 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.

Le Manuel PBN contient les spécifications de navigation applicables à deux types d'approches RNP :

- a) L'approche « basique » RNP APCH approche basique dite RNP APCH ;
- b) L'approche « spécifique » approche spécifique dite RNP AR (AR pour 'Autorization Required')
- **RNP APCH** : basée sur les approches RNAV (GNSS) existantes, utilisée pour appuyer des approches en RNAV avec segment d'approche finale à RNP 0,3, constituées de segments rectilignes.
- **RNP (AR) APCH** : utilisée pour appuyer des approches en RNAV avec segment d'approche finale à RNP 0,3 ou moins, constituées de segments rectilignes et/ou de segments à rayon fixe.

Étant donné que les exigences spécifiques en matière de performances sont définies pour chaque spécification de navigation ; un avion approuvé pour une spécification RNP ne l'est pas automatiquement pour toutes les spécifications RNAV. De même, un avion approuvé pour une spécification RNP ou RNAV dont les exigences de précision sont rigoureuses

(ex : spécification RNP 0,3) n'est pas automatiquement approuvé pour une spécification de navigation dont les exigences de précision sont moins rigoureuses (ex : RNP 4).

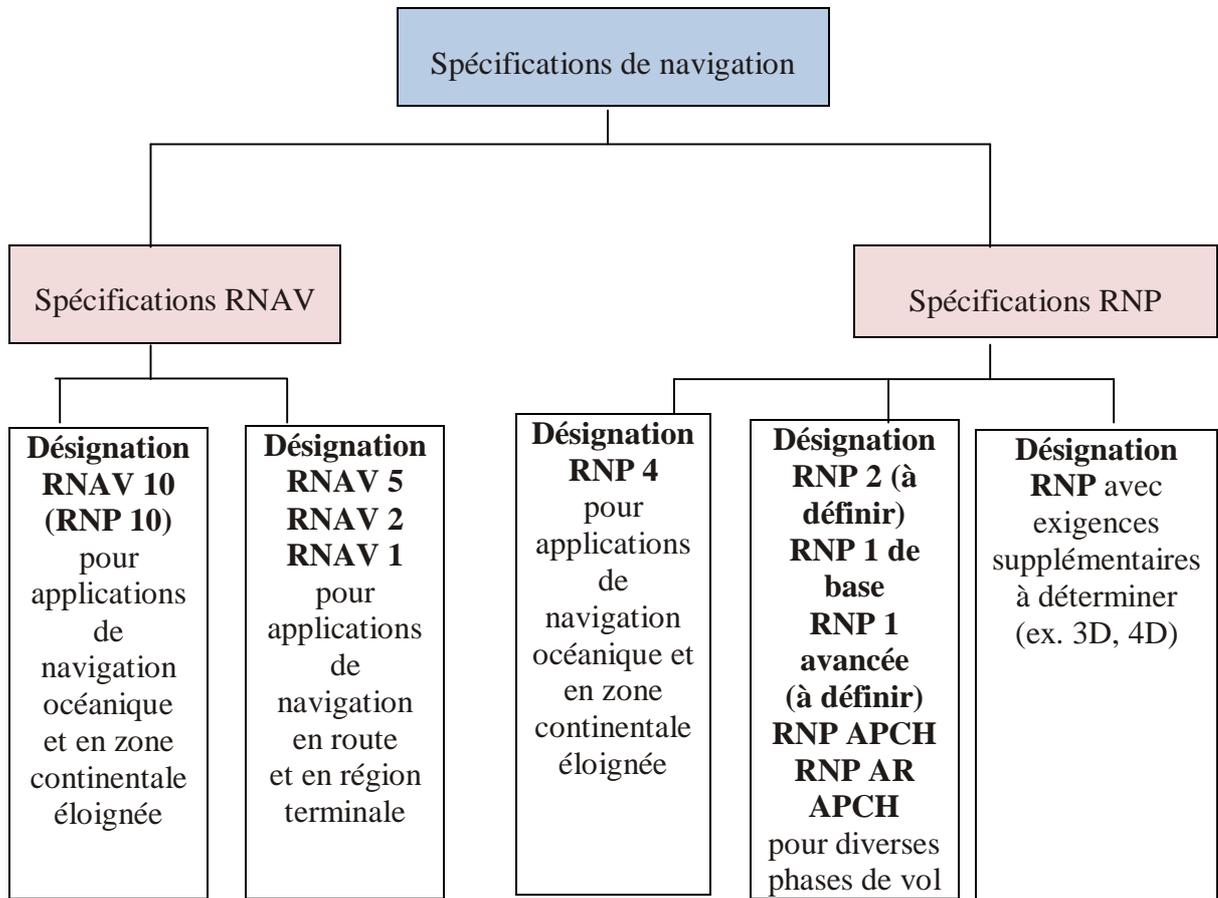


Figure 2.6 : Organigramme des spécifications de navigation [2]

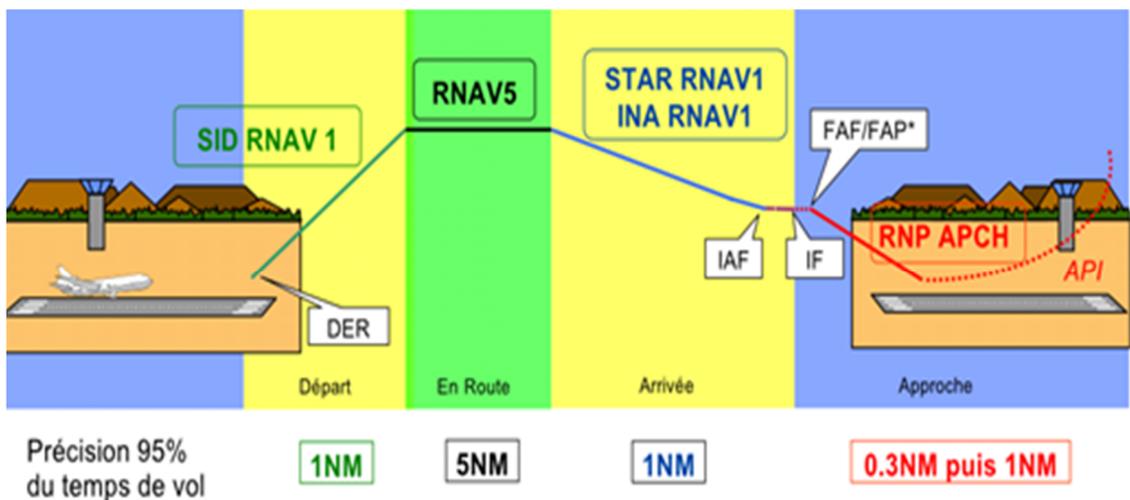


Figure 2.7 : Les applications PBN [1]

## **2.9. Critères RNP APCH**

L'OACI a demandé aux Etats qu'ils mettent en œuvre les opérations décrites dans le manuel PBN [2]. La spécification de navigation RNP APCH donne lieu à des procédures d'approche publiées sous l'appellation « RNAV (GNSS) » qui vont donc se généraliser dans les années qui viennent. Cette appellation est héritée des années précédant la publication du manuel PBN. Elle a été conservée pour des raisons (économiques et techniques) liées aux bases de données aéronautiques présentes à bord des aéronefs.

La précision de navigation requise pour le segment d'approche finale ne permet pas l'utilisation des spécifications RNAV 1. Aussi, afin de permettre l'approche finale, le concept PBN a retenu le critère de performance RNP 0,3 pour spécification de navigation à travers la spécification de navigation RNP APCH.

## **2.10. Objectifs OACI de déploiement du PBN**

### **2.10.1. Application PBN selon la zone/type d'opération**

#### ➤ **En route :**

Dans cette phase, l'exploitation peut être classée sous les rubriques suivantes : océanique, continentale éloignée et continentale. Les besoins opérationnels ATM pour l'exploitation en route sont : **RNAV-10, RNP-4, RNAV-5, RNAV-2 et RNAV-1**.

#### ➤ **TMA :**

L'exploitation en TMA a ses propres caractéristiques, prenant en considération les minimums de séparation applicables entre les aéronefs et les obstacles. Elle tient également compte de la diversité des aéronefs, y compris des aéronefs de faibles performances. Les besoins opérationnels en TMA sont **RNAV-2 et RNAV-1** dans un environnement de surveillance et **RNP-1** de base dans un environnement sans surveillance.

#### ➤ **Approche :**

Les besoins opérationnels en approche sont **RNP-APCH et RNP AR APCH**.

### 2.10.2. Procédures d'approche finale de type 'APV'

Lorsqu'un guidage vertical est disponible, il est alors possible de créer des procédures APV. La catégorie APV a été introduite dans la classification des approches de l'Annexe 6 de l'OACI entre les approches de non précision et les approches de précision. Elle vise à permettre l'utilisation de systèmes moins précis que l'ILS tout en assurant un guidage vertical stabilisé.

Deux techniques peuvent être utilisées pour effectuer ces approches :

- ✓ les systèmes dits «Baro-VNAV» : des trajectoires VNAV barométriques sont calculées par des systèmes de gestion de vol (FMS ou autre système) ;
- ✓ les systèmes GNSS utilisant un système de renforcement par satellite (SBAS).

**Tableau 2.1 : Application PBN [1]**

Domaine d'opération	Spécification Navigation Applicable		Objectif de mise en œuvre
	RNAV	RNP	
Océanique/désertique	RNAV10	RNP4	<b>PLAN</b> complet de mise en œuvre pour <b>2009</b>
En route/continental	RNAV5		
	RNAV2		
	RNAV1		
Zone terminale	RNAV2	Basic RNP 1	
	RNAV1		
Zone approche		RNP APCH	APV pour toutes les pistes en <b>2016</b>
		RNP AR APCH	

### 2.11. Opérations PBN et senseurs

Le tableau suivant indique les capacités de navigation en fonction de la disponibilité des capteurs de bord :

**Tableau 1.2 : Opérations PBN et senseurs [1]**

	RNAV 5	SID RNAV1 STAR RNAV1 INA RNAV1	RNP APCH		
			NPA	APV Baro VNAV	APV SBAS
VOR/DME					
DME/DME (INS)					
<b>GNSS</b> ABAS					
SBAS					

**N.B :**

Les opérations PBN actuellement déployées en France autorisent l'utilisation de capteurs (senseurs) aussi bien conventionnels que satellitaires [1].

En revanche, les approches RNP APCH ne reposent que sur des capteurs (senseurs) satellitaires.

**2.12. 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 :

- a) réduire la nécessité de maintenir des routes et des procédures à capteurs spécifiés, avec les coûts y afférents ;
- b) éviter la nécessité de mettre au point des opérations à capteurs spécifiés à chaque évolution nouvelle des systèmes de navigation, ce qui serait prohibitif sur le plan des coûts ;
- c) utiliser l'espace aérien d'une façon plus efficiente (choix de l'emplacement des routes, efficacité énergétique, atténuation du bruit) ;

- d) indiquer plus clairement comment les systèmes RNAV sont utilisés ;
  
- e) faciliter le processus d’approbation opérationnelle pour les exploitants en permettant d’établir un ensemble limité de spécifications de navigation destinées à une utilisation mondiale.

### **2.13. Conclusion**

Le plan de la navigation basée 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 services de navigation aérienne et usagers de l’espace aérien, sur la façon de mettre en œuvre les applications RNAV et RNP, et d’assurer que les exigences de performances sont appropriées pour l’application prévue.

## CHAPITRE 3

### LA NAVIGATION DE SURFACE

#### **3.1. Introduction**

La nécessité accrue d'utiliser l'espace aérien de façon optimale, de plus en plus soumis à des exigences croissantes, est imposée par le développement continu que connaît l'aviation.

C'est ainsi que des améliorations opérationnelles issues de l'application des techniques de navigation de surface ont été adoptées à travers le monde et dans plusieurs régions pour toutes les phases de vol. Ces progrès seront même étendus sur des applications pour fournir un guidage pour les mouvements au sol.

Des exigences en matière de navigation à l'intérieur d'espaces aériens ou sur des routes particulières nécessitent des définitions claires et précises [2]. Ceci doit assurer que l'équipage de conduite et les contrôleurs de la circulation aérienne (ATC) connaissent bien les possibilités du système RNAV de bord afin de déterminer si les performances de ce système sont appropriées pour les exigences particulières de l'espace aérien.

#### **3.2. 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 septième réunion de navigation a convenu que le groupe européen de la planification de la 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 la troisième édition des éléments indicatifs sur l'application de la RNAV dans la région Europe [3].

En 1990, l'OACI publiait la première édition des éléments indicatifs sur l'application de la RNAV au niveau mondial [4].

Il y a lieu de noter qu'en Europe, des travaux de planification ARN menés sous l'égide de l'OACI ont débouché dès 1993 sur la mise en place des premiers éléments d'un nouveau réseau européen de routes principales adapté 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.

### **3.3. Méthodes de navigation**

Il existe différentes méthodes de navigation :

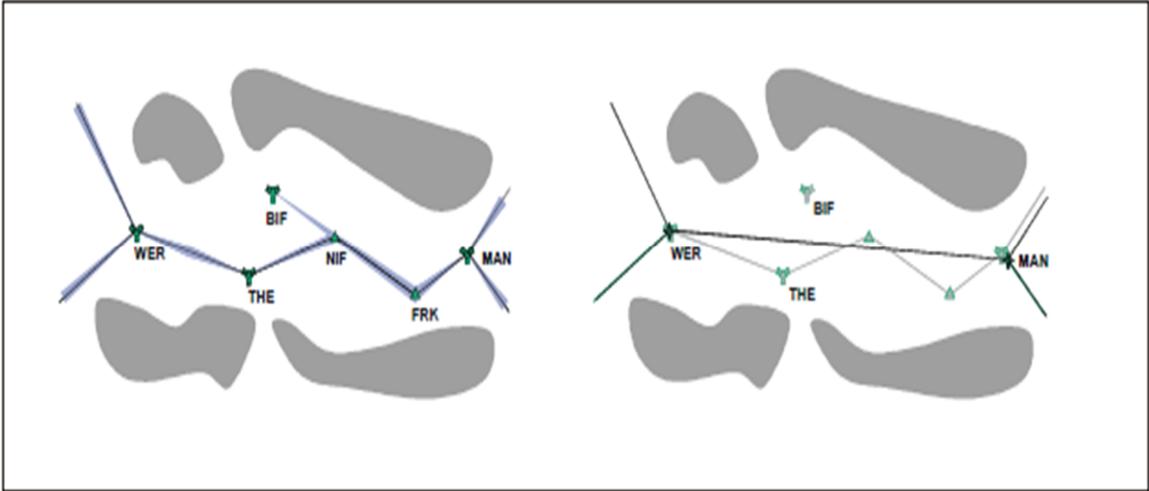
- *Navigation conventionnelle* :
  - VOR
  - NDB
  - ILS, MLS
  - DME
- *Guidage radar*
- *Navigation de surface 'RNAV'* :
  - VOR/DME
  - DME/DME
  - GNSS
  - INS

### **3.4. Systèmes RNAV**

#### **3.4.1. Définition**

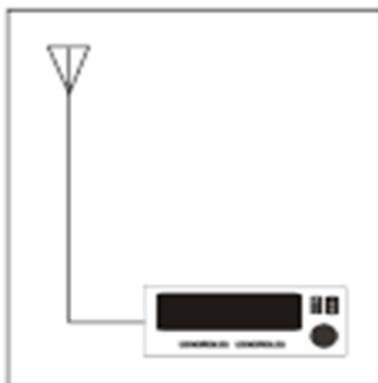
La RNAV est définie comme une méthode de navigation permettant les opérations aériennes sur n'importe quelle trajectoire voulue, à l'intérieur de la couverture des aides de navigation à référence sur station ou dans les limites des possibilités d'une aide autonome, ou grâce à une combinaison de ces deux moyens. Ceci élimine la restriction imposée sur les routes et les procédures conventionnelles là où les aéronefs doivent survoler des aides de navigation référencées, permettant ainsi souplesse opérationnelle et efficacité (**Voir Figure 3.1**) [2].

En effet, les différences dans les types de systèmes embarqués et leurs possibilités, caractéristiques et fonctions ont abouti à un certain degré d'incertitude et de confusion en ce qui concerne la façon dont les avions exécutent les opérations RNAV.

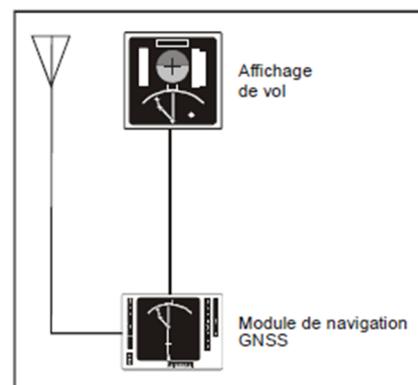


**Figure 3.1 :** Navigation conventionnelle comparée à la RNAV [2]

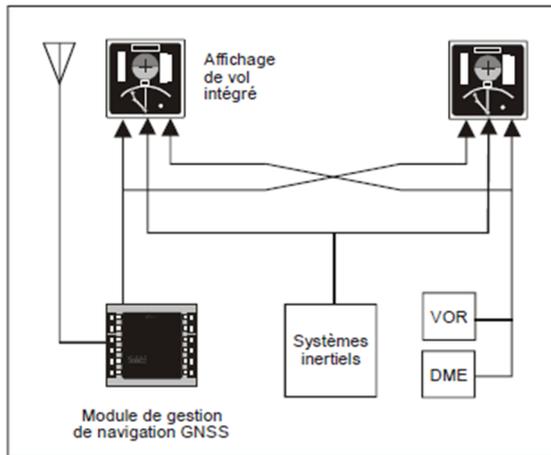
Les systèmes RNAV vont des systèmes basés sur un capteur unique à des systèmes comportant des types multiples de capteurs de navigation. Les figures 3.2.a, b, c, d sont présentées à titre d'exemples, destinés seulement à montrer comment la complexité et l'inter connectivité peuvent varier grandement entre différentes avioniques RNAV.



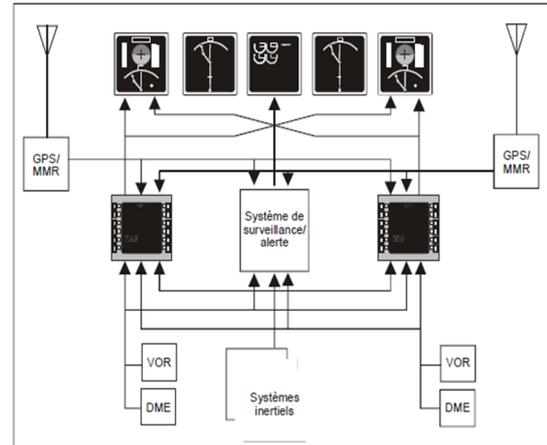
**Figure 3.2.a :** Système RNAV de base [2]



**Figure 3.2.b :** Système RNAV Maps [2]



**Figure 3.2.c :** Système multi-capteurs simple [2]

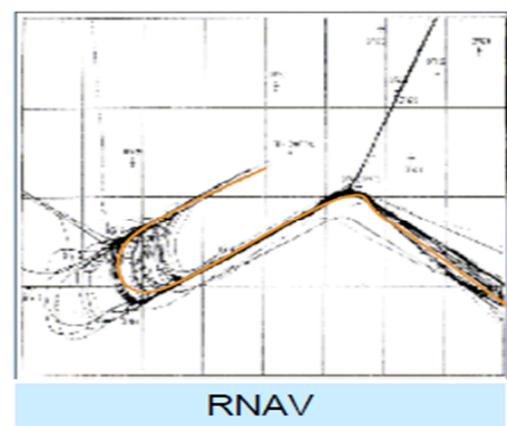
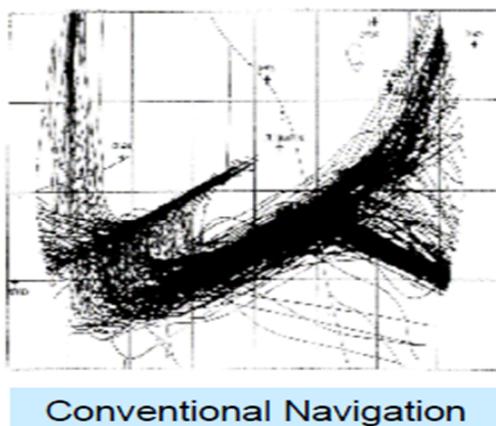


**Figure 3.2.d :** Système multi-capteur complexe [2]

### 3.4.2. Objectifs de la navigation de surface 'RNAV'

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 ;
- Utiliser un mode de descente plus sûr que le Drive/Drive ;
- Diminuer les zones d'exploitation au bruit ;
- Favoriser la sécurité et la réduction du trafic.



**Figure 3.3 :** Environnement RNAV et non RNAV pour B737/600/700/800 et 315 [1]

➤ **Remarque**

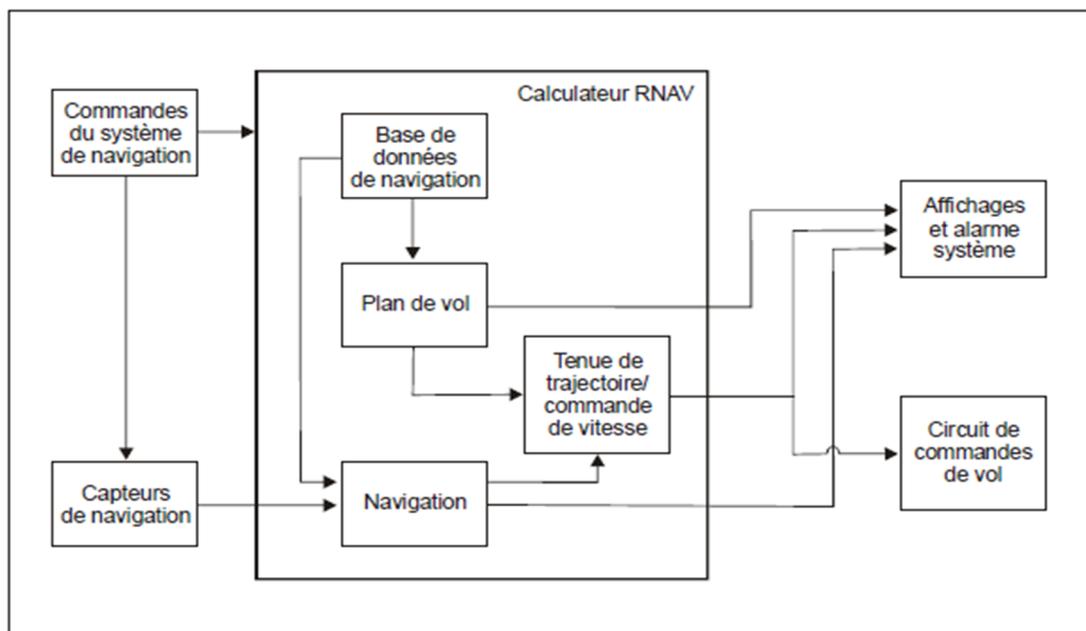
Le mode Drive to Drive signifie:

- ✓ Descendre immédiatement jusqu'à l'altitude minimale des repères de descente ou jusqu'à la MDA/H ;
- ✓ Les pentes de descente <15% ;
- ✓ L'approche interrompue est initiée au plus tard au MAPt.

**3.4.3. Fonction de base du système RNAV**

Les systèmes RNAV sont conçus pour fournir des données de précision en définissant la trajectoire appropriée. Ils intègrent des 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 basée 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 plus précis des capteurs de positionnement existants.



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

#### **3.4.4. 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 plans 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 [2].

#### **3.4.5. Établissement 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.

##### **3.4.5.1. Point de cheminement 'waypoint'**

Un emplacement géographique spécifié utilisé pour définir une route de navigation de surface ou la trajectoire d'un aéronef utilisant la 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 relèvement et par sa distance par rapport à un autre point défini, 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 :

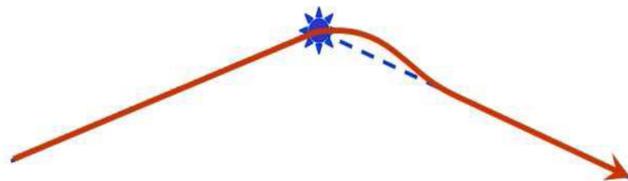
- Les points significatifs de la procédure (IAF, IF) ;
- Les points tournants ;
- Les contraintes d'altitude ou de vitesse ;
- Les points de report ATC.

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

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

#### **3.4.5.1.1. Fly over waypoint (point de cheminement à survoler)**

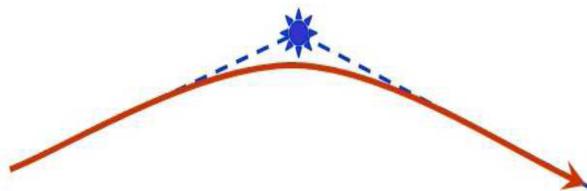
Point de cheminement avant lequel le pilote ne peut exécuter de virage et qui est suivi d'une manœuvre d'interception du prochain segment de vol.



**Figure 3.5.a** : point de cheminement à survoler [5]

#### **3.4.5.1.2. Fly by waypoint (point de cheminement par le travers)**

Dans le cas d'un point RNAV « Fly by », le point de cheminement où 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 [5]

### 3.4.5.2. Symbologie des waypoint



Fly-By Waypoint



Fly-Over Waypoint



Fly-By Waypoint coïncide avec le point important (point de compte rendu obligatoire)



Fly-Over Waypoint coïncide avec le VOR/DME

### 3.4.5.3. Utilisation en fonction du type de WP

**Tableau 3.1 : Type des Waypoints**

	<b>FB</b>	<b>FO</b>
<b>IAF</b>	✓	✓
<b>IF</b>	✓	✓
<b>FAF</b>	✓	✓
<b>MAPt</b>		✓
<b>MAHWP</b>		✓
<b>Missed Approach</b>		
<b>Holding WP</b>		
<b>HWP</b>		✓
<b>Holding WP</b>		
<b>AWP</b>	✓	✓
<b>Arrival WP</b>		
<b>DWP</b>	✓	✓
<b>Departure WP</b>		

#### ➤ Remarque

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

### 3.4.5.4. Tolérance d'un waypoint

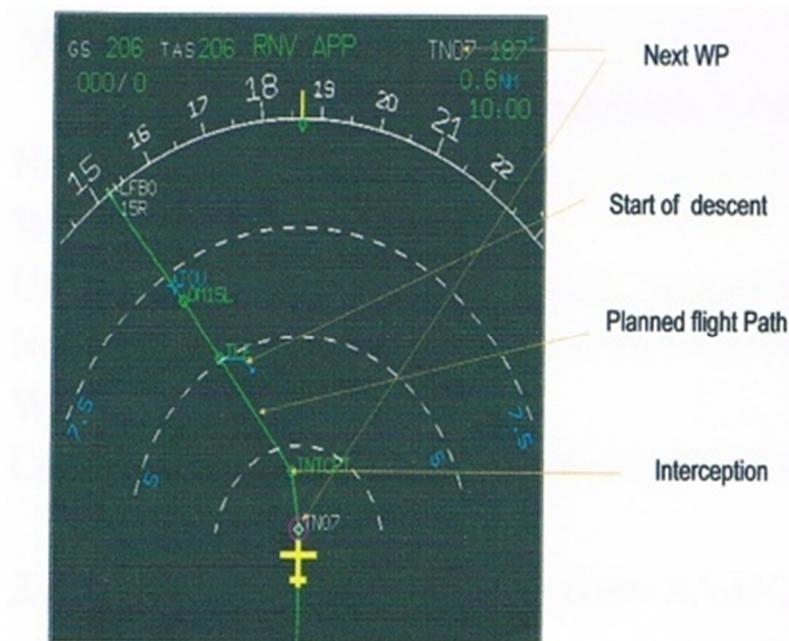
La tolérance d'un repère représente les positions des aéronefs avec une probabilité acceptable lorsqu'ils sont à la verticale du repère.

### 3.4.6. 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 la route.



**Figure 3.6 : Méthode de positionnement RNAV [6]**

Ces données sont affichées sur le Navigation Display (ND) et /ou sur le l'indicateur d'écart (CDI) et peuvent être données au directeur de vol (FD) ou alimenter l'Auto Pilot [1].

Une trajectoire RNAV peut être suivie manuellement.

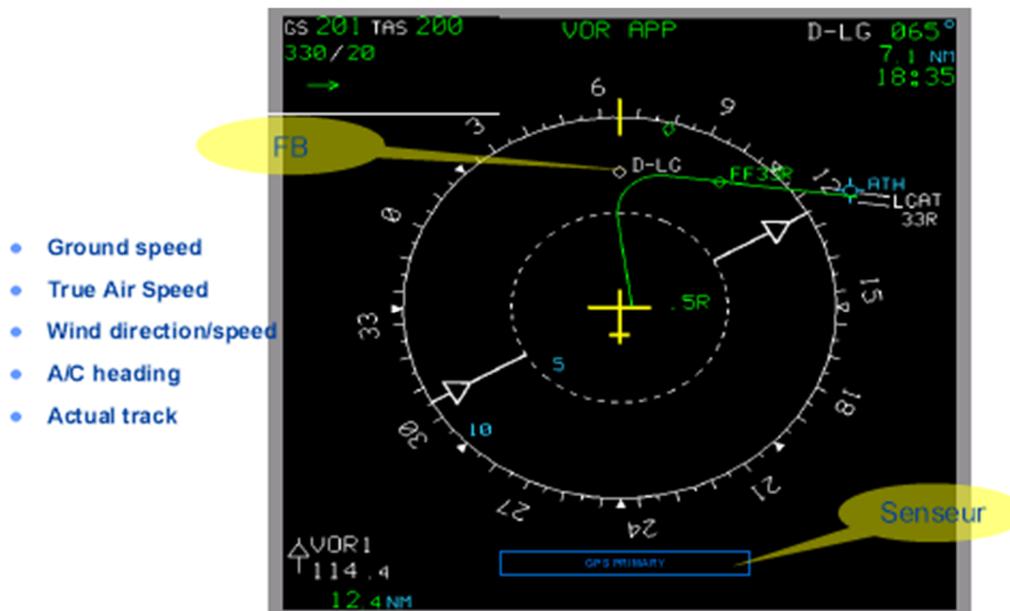


Figure 3.7 : Affichage sur le ND [7]

### 3.4.7. Précision de navigation

Pour que le système RNAV soit valide, il est nécessaire que la précision de navigation soit également maintenue durant tout le vol et réponde 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 cheminement 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.

### 3.4.8. 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 agrément 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.

La LOA peut être de type 1 ou 2, selon qu'elle s'applique à un codeur uniquement ou à un couple (codeur ; équipementier). Seul la LOA de type 2 garantit un processus qualité coordonné de bout en bout.

### **3.4.9. Guidage et contrôle**

Un système RNAV permet d'assurer le guidage latéral, et dans de nombreux cas, le guidage vertical.

La fonction de guidage latéral a pour but de comparer la position de l'aéronef fournie par la fonction de navigation avec la trajectoire de vol désirée et génère ensuite les commandes de direction utilisées pour piloter l'avion le long de la trajectoire désirée.

L'erreur de la trajectoire de vol est calculée en comparant la position et la direction actuelle de l'avion à la trajectoire de référence. La fonction de guidage vertical, est utilisée pour contrôler l'aéronef le long du plan vertical à l'intérieur des contraintes imposées par le plan de vol.

### **3.4.10. Exigences imposées sur le système RNAV**

Les spécifications de navigation sont utilisées par les Etats comme base pour la certification et l'exploitation opérationnelle. Les spécifications de navigation décrivent, en détail, les exigences imposées sur le système de navigation de surface pour un fonctionnement sur un itinéraire particulier, une procédure ou dans un espace aérien où l'approbation par rapport aux spécifications de navigation est prescrite comprenant les éléments suivants :

- Les performances requises du système de navigation de surface en termes de précision, d'intégrité, de continuité et de disponibilité ;
- Les fonctions disponibles dans le système de navigation de surface de façon à atteindre la performance requise ;
- Les capteurs de navigation intégrés dans le système de navigation de surface, qui peuvent être utilisés pour atteindre les performances requises ; et
- Les procédures d'équipage de conduite et autres nécessaires pour atteindre les performances visées du système de navigation de surface.

### **3.4.11. Equipements RNAV**

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

La position calculée par l'INS présente un écart avec la position où elle se trouve (position avion).

Avec le temps, cet écart prend l'allure d'une dérive de position.

Il n'est pas possible d'annuler la dérive mécanique de l'INS, mais il est possible d'élaborer, à partir de la position inertielle, une position corrigée plus exacte et/ou plus probable.

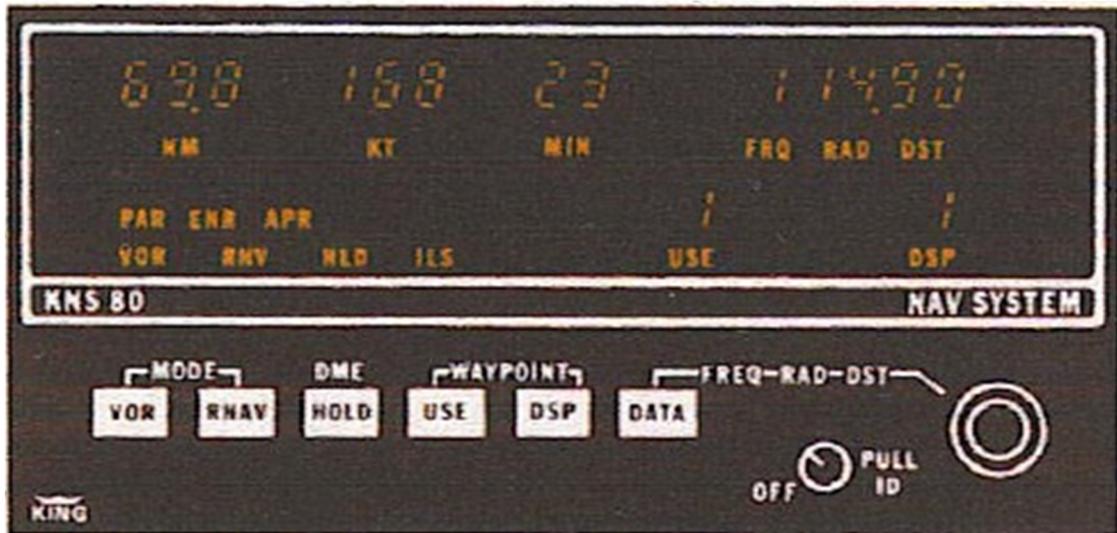
C'est cette correction qui sera prise en compte par les systèmes utilisateurs (HSI, PA/DV). Trois types de correction de position sont disponibles et peuvent se conjuguer : le mode inter systèmes (parfois appelé inter mixte ou triple mixte) pour les avions équipés de trois INS, le recalage manuel et le recalage par DME.

### **3.4.12. Principe du système RNAV**

A l'aide des informations reçues par le VOR/DME (azimut et distance), le calculateur RNAV permet de se reporter sur un ou plusieurs points appelés 'points fantômes'.

A partir de ces données, il effectue d'une manière fictive de la balise VOR/DME vers le point fantôme une translation de toutes les informations et repères de telle façon que les informations fournis au pilote sont celles que fournira effectivement une balise si elle était implantée à ce point en utilisant des algorithmes informatiques, notion de trigonométrie, changement de repère (c'est-à-dire passage d'un repère en coordonnées polaires vers un repère en coordonnées cartésiennes).

L'aéronef calcule sa position à partir de différents senseurs : VOR/DME, DME, positionnement par satellite, centrale à inertie. Il vole de point RNAV en point RNAV (de « waypoint » en « waypoint »), identifiés par leurs coordonnées géographiques.



**Figure 3.8 : Récepteur RNAV [6]**

➤ **Remarque**

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

**3.4.13. 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 conjointes de l'aviation (JAA).

**3.4.14. Zones 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 envisagée [8].

**3.4.15. Les différents types de la RNAV**

**3.4.15.1. 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  $\pm 5$  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 de route.

L'équipement RNAV qui permet de déterminer automatiquement la position de l'aéronef à partir d'un des systèmes suivants (ou des deux) et qui a la capacité d'établir et de suivre la route choisie, est susceptible de satisfaire à la norme relative au RNAV de base :

1. VOR/DME ; et (ou)
2. DME/DME.

#### **3.4.15.2. 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 suivantes :

- Une précision de navigation horizontale de  $\pm 1$  NM pendant 95 % du temps de vol (soit une capacité RNP 1 telle que définie par l'OACI) ;
- Une continuité de service de 99,999 % du temps de vol (infrastructures sol et bord confondues).

#### **3.4.15.3. La RNAV libre**

La RNAV libre est une opération RNAV dans le cadre de laquelle des itinéraires peuvent être planifiés sur des segments non définis par des routes ATS fixes.

De telles opérations peuvent être limitées 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.

#### **3.4.16. La différence entre P-RNAV et B-RNAV**

La précision d'ordre de  $\pm 5$  NM apportée par le Basic area navigation n'a pas résolu le problème de saturation en région terminale car une précision RNAV5 reste inadéquate

pour gérer le flux actuel dans certains aéroports d'où la nécessité de trouver un mode plus précis dont la différence se situe dans l'intégrité de la base de données, les procédures embarquées, et la continuité de service (99.999% de temps de vol).

C'est pour cette raison que le passage en mode P-RNAV se fera facilement car la plupart des avions ont déjà l'équipement nécessaire.

### **3.5. Procédures RNAV**

#### **3.5.1. Généralités**

Une procédure RNAV est définie par un ou plusieurs points de cheminement, chacun défini par une appellation, un parcours et une extrémité et une série de contraintes [9].

La description de la procédure sous forme de texte ou de tableau, inclura tous les éléments de données spécifiés dans le présent chapitre, et elle sera publiée au verso de la carte concernée ou sur une feuille distincte indiquant les références appropriées (**Voir Chapitre 5, Section 3**).

#### **3.5.2. 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 [9]**

<b>Spécification de navigation</b>	<b>FTE (95%) Propre à la spécification de navigation prescrite</b>
<b>RNAV 5</b>	<b>2.5NM</b>
<b>RNAV 1</b>	<b>0.5NM</b>
<b>RNP 1 de base</b>	<b>0.5NM</b>
<b>RNP APCH</b>	<b>0.5NM</b> <b>0.25NM en approche finale</b> <b>0.5NM en approche interrompue</b>

### **3.5.3. 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 des carrés 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).

Par ailleurs, il est connu que les distributions, qui comprennent notamment des erreurs grossières, ne sont pas vraiment gaussiennes et que les queues des distributions ne peuvent pas être déterminées avec précision sans un ensemble considérable de données, qui n'est pas disponible.

Ces queues sont donc prises en compte dans les critères de conception des procédures des applications RNP 4, RNP 1 de base, RNP APCH, RNAV 1, RNAV 2 et RNAV 5 par une « valeur tampon » supplémentaire basée sur les caractéristiques des aéronefs (vitesse, manœuvrabilité, etc.) et la phase de vol (temps de réaction du pilote, temps d'exposition, etc.), pour s'occuper des écarts excédant trois fois la valeur de l'écart type ( $3\sigma$ ).

Les valeurs tampons (BV) suivantes sont utilisées dans la cadre des applications RNP 4, RNP 1 de base, RNP APCH, RNAV 1, RNAV 2 et RNAV 5 :

**Tableau 3.3 : Valeurs tampons (BV) [9]**

<b>Phase de vol</b>	<b>BV CAT A-E</b>	<b>BV CAT H</b>
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 de destination]	2.0NM	1.0NM
Terminal [STAR, approches initiale et intermédiaire débutant à moins de 30M de l'ARP, SID et approches interrompues à moins de 30NM de l'ARP mais à plus de 15NM de ce dernier]	1.0NM	0.7NM
Approche finale	0.5NM	0.35NM
Approches interrompues et SID jusqu'à 15NM de l'ARP	0.5NM	0.35NM

### **3.5.4. Aire de franchissement d'obstacles**

#### **3.5.4.1. Demi-largeur d'aire**

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

$$\frac{1}{2} AW = 1,5.XTT + BV$$

Où XTT est la valeur de la tolérance d'écart latéral de  $2\sigma$  (égale à la TSE) et BV, la « valeur tampon ».

Lorsqu' il est possible d'utiliser plus d'un type d'aide de navigation dans une procédure (ex. DME/DME et GNSS de base pour la RNAV 1), les tolérances XTT et ATT et la demi-largeur d'aire sont calculées pour chaque type spécifique et le franchissement des obstacles est fondé sur la plus grande des valeurs ainsi obtenues.

#### **3.5.4.2. Aires secondaires**

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

#### **3.5.5. Repères**

Les repères utilisés sont ceux des critères généraux. Chaque repère sera déterminé comme point de cheminement selon les spécifications de navigation.

#### **3.5.6. RNAV avec GNSS de base**

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

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

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

### **3.5.6.1. XTT, ATT et demi-largeur d'aire**

#### **3.5.6.1.1. XTT et ATT**

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'équipement embarqué et d'équipement au sol ainsi que de la tolérance technique de vol (FTT) [9].

✓ **ATT : Tolérance d'écart longitudinale**

Tolérance de repère le long de la trajectoire nominale, résultant des tolérances de l'équipement embarqué et de l'équipement au sol [9].



**Figure 3.9 : Tolérance d'un waypoint (XTT, ATT) [1]**

#### **3.5.6.1.1.1. XTT et ATT pour spécifications de navigation RNP**

L'erreur du système total (TSE) dépend de l'erreur d'estimation de la position (erreur SIS et erreur du récepteur de bord), de l'erreur de définition de la trajectoire, de l'erreur

d'affichage et de l'erreur technique de vol, Les spécifications de navigation RNP définissent les valeurs de la TSE latérale comme suit :

- **RNP 4** : La TSE latérale et l'erreur longitudinale n'excéderont pas  $\pm 7,4$  km (4 NM) pendant au moins 95 % du temps de vol total,
- **RNP 1 de base** : La TSE latérale et l'erreur longitudinale n'excéderont pas  $\pm 1,9$  km (1 NM) pendant au moins 95 % du temps de vol total,
- **RNP APCH** : La TSE latérale et l'erreur longitudinale n'excéderont pas  $\pm 1,9$  km (1 NM) pendant au moins 95 % du temps de vol total durant les segments initial et intermédiaire de l'approche et l'approche interrompue, lorsque l'approche interrompue est basée sur une exigence RNAV. La TSE latérale et l'erreur longitudinale n'excéderont pas  $\pm 0,56$  km (0,3 NM) pendant 95 % du temps de vol total durant l'approche finale.

La TSE est utilisée pour définir les valeurs des tolérances XTT et ATT, comme suit :

$XTT = TSE$
$ATT = 0,8 \times TSE$

Les critères RNP APCH ne seront appliqués que dans un rayon de 56 km (30 NM) du point de référence (ARP) de l'aérodrome de destination. Dans le cas de distances plus grandes, il faudrait utiliser les critères RNAV 1 ou RNP 1 de base.

#### **3.5.6.1.1.2. XTT et ATT pour spécifications RNAV**

Lorsque la FTE indiquée dans une spécification RNAV excède la limite d'alarme du moniteur d'intégrité (IMAL) du récepteur GNSS, la tolérance XTT est fondée sur la somme quadratique des erreurs composant la TSE :

$XTT = TSE = \sqrt{(NSE^2 + FTE^2 + ST^2)}$
---

Où ST est égal à 0,25 NM.

Lorsque la FTE est égale ou inférieure à l'IMAL, la tolérance XTT est égale à l'IMAL. Cela conduit aux valeurs de XTT figurant dans le tableau suivant :

**Tableau 3.4** : valeurs de XTT pour spécification de navigation [9]

Phase de vol	Spécification de navigation	XTT
Terminale [plus de 30NM de l'ARP]	RNAV5	2.51NM
Terminale [plus de 30NM de l'ARP]	RNAV1	2NM
Terminale [moins de 30NM de l'ARP] à l'IAF	RNAV1	1NM

Où :

$$ATT = 0,8 \times XTT$$

### **3.5.6.1.2. Demi-largeur d'aire**

La demi-largeur d'aire ( $\frac{1}{2}$  AW) à un point de cheminement se détermine à l'aide de l'équation suivante :

$$\frac{1}{2} AW = 1,5 \times XTT + BV$$

Où :

1,5 XTT correspond à une valeur de TSE latérale de  $3 \sigma$ .

BV = valeur tampon.

### **3.5.6.2. 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.

En dépit de la précision inhérente de la position du segment spatial du GNSS, la possibilité d'utiliser un repère est également soumise à l'incidence du nombre de satellites disponibles et leur orientation par rapport au secteur GNSS, ces facteurs varient d'un endroit à l'autre et d'un moment à l'autre.

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.

Pour cela, les récepteurs GNSS sont dotés d'un système RAIM effectuant des contrôles réguliers de l'intégrité et avertissant le pilote lorsque les renseignements servant à déterminer la position n'ont pas le niveau requis de fiabilité.

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 du système ;
- Tolérance technique de vol.

### **3.5.7. Attente RNAV**

L'utilisation d'une attente RNAV présente des avantages pour les aéronefs équipés d'un système RNAV.

Ces aéronefs ont l'aptitude de se maintenir sur des trajectoires définies par un équipement RNAV et d'utiliser des procédures moins rigides que celles appliquées dans les procédures d'attente classiques [8].

L'attente peut être orientée sans sa branche de rapprochement, et cela grâce à l'alignement avec une radiale VOR.

De ces avantages en découlent d'autres à savoir :

- L'utilisation optimale de l'espace aérien concernant la localisation et l'alignement des aires d'attente ;

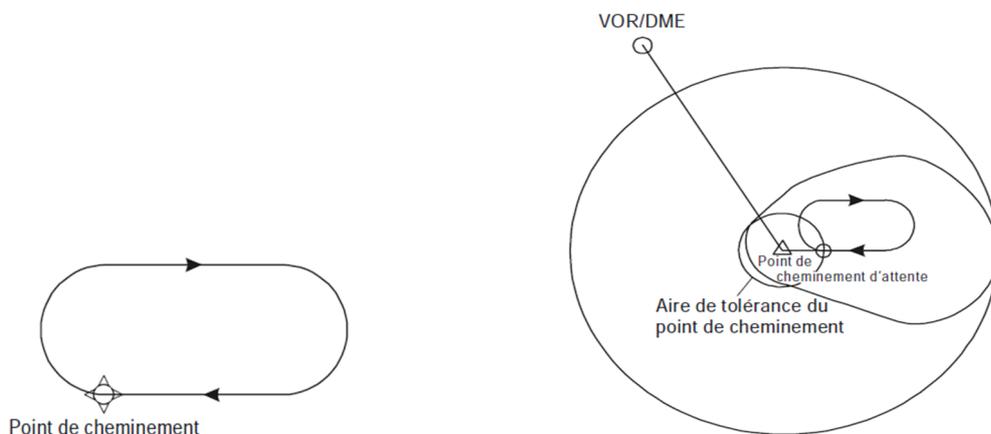
- La réduction de l'espace aérien dans certains cas.

Il est à relever que les systèmes RNAV d'avenir permettant d'entrer dans une procédure d'attente RNAV basée sur un seul point de cheminement, sans survoler le point d'attente, peuvent utiliser des circuits d'attente spécifiques fondés sur cette hypothèse et permettent également d'utiliser les procédures d'attentes classique ou RNAV.

### **3.5.7.1. Types d'attente RNAV**

Il existe trois types d'attente RNAV :

- Attente RNAV sur un point de cheminement ;
- Attente RNAV sur deux points de cheminements et ;
- Attente RNAV sur une aire.



**Figure 3.10.a** : Attente en RNAV avec point de cheminement [9]      **Figure 3.10.b** : Attente dans une aire RNAV [9]

## **3.5.8. Comparaison des aires de protection des procédures RNAV et des procédures conventionnelles**

### **3.5.8.1. Aires de protection**

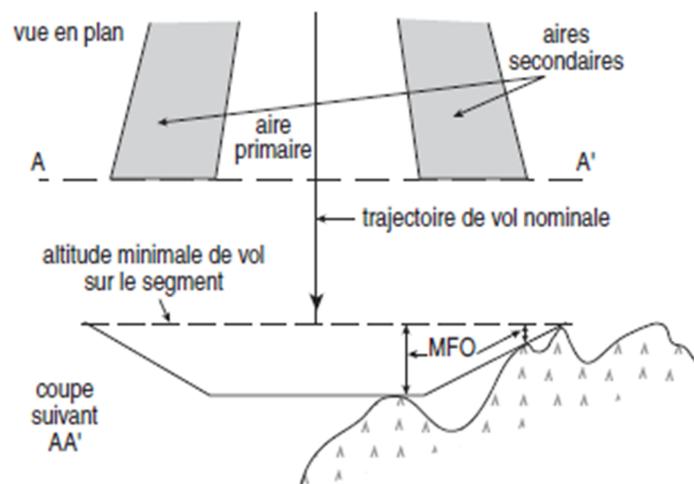
Afin de comprendre la différence entre les aires de protection des procédures RNAV et des procédures conventionnelles, il est nécessaire de faire une comparaison dans le but de visualiser le bénéfice de l'une et de l'autre sans préjuger du type de guidage reçu le long de la trajectoire.

### **3.5.8.1.1. 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. 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.

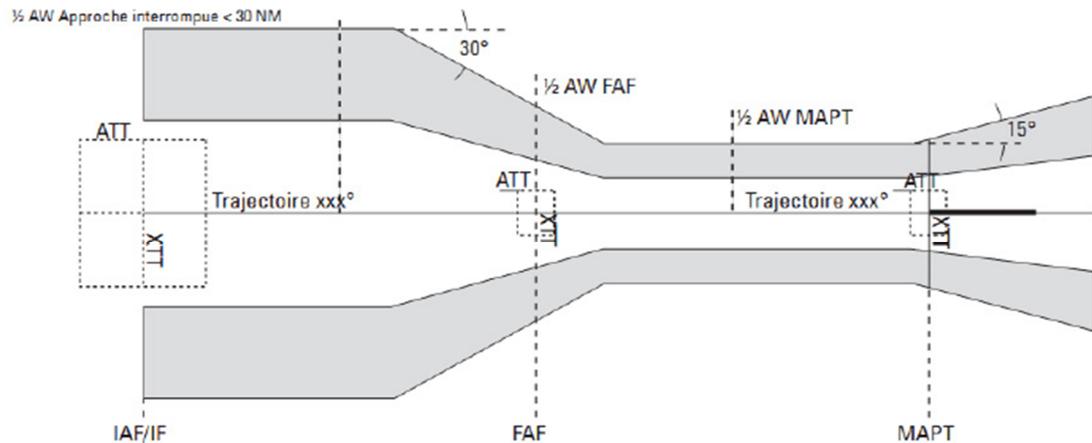
La marge de franchissement d'obstacle décroît linéairement de sa valeur totale au bord de l'aire primaire jusqu'à zéro aux bords extrêmes des aires secondaires.



**Figure 3.11 : Vue en plan des aires primaires et secondaires [10]**

### **3.5.8.1.2. 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.



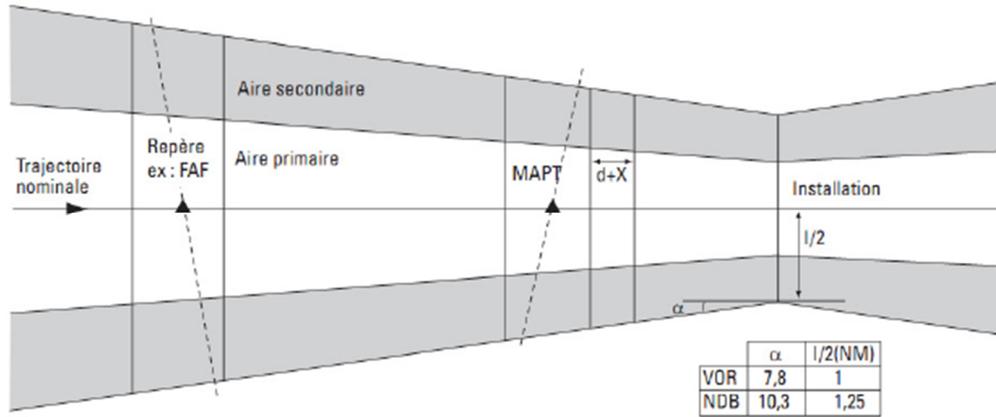
**Figure 3.12 : Aires de protection des procédures RNAV [10]**

### **3.5.8.1.3. Aires de protection des procédures conventionnelles**

Lorsqu'une aide de navigation est utilisée pour procurer un guidage sur trajectoire, la tolérance du repère d'intersection est basée sur des limites de confiance de 2 sigmas (95 %) alors que l'évasement des aires de protection de la procédure d'approche aux instruments ou d'approche interrompue est basé sur des limites de confiance de 3 sigmas (99,7 %).

La largeur des aires de protection est fonction de l'aide radio à la navigation servant de support à la procédure.

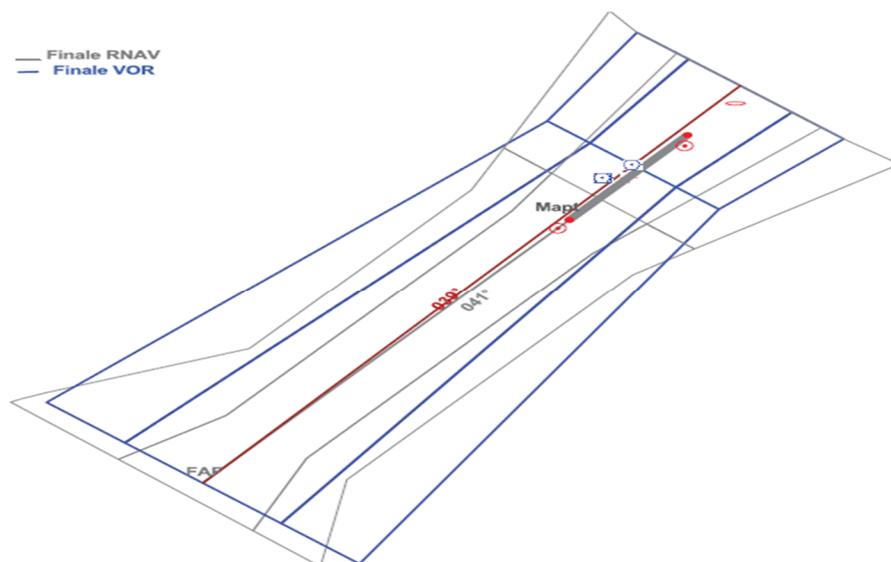
Le tableau du schéma ci-dessous définit les valeurs pour le VOR et le NDB.



**Figure 3.13** : Approche interrompue en ligne droite avec guidage continue sur trajectoire [10]

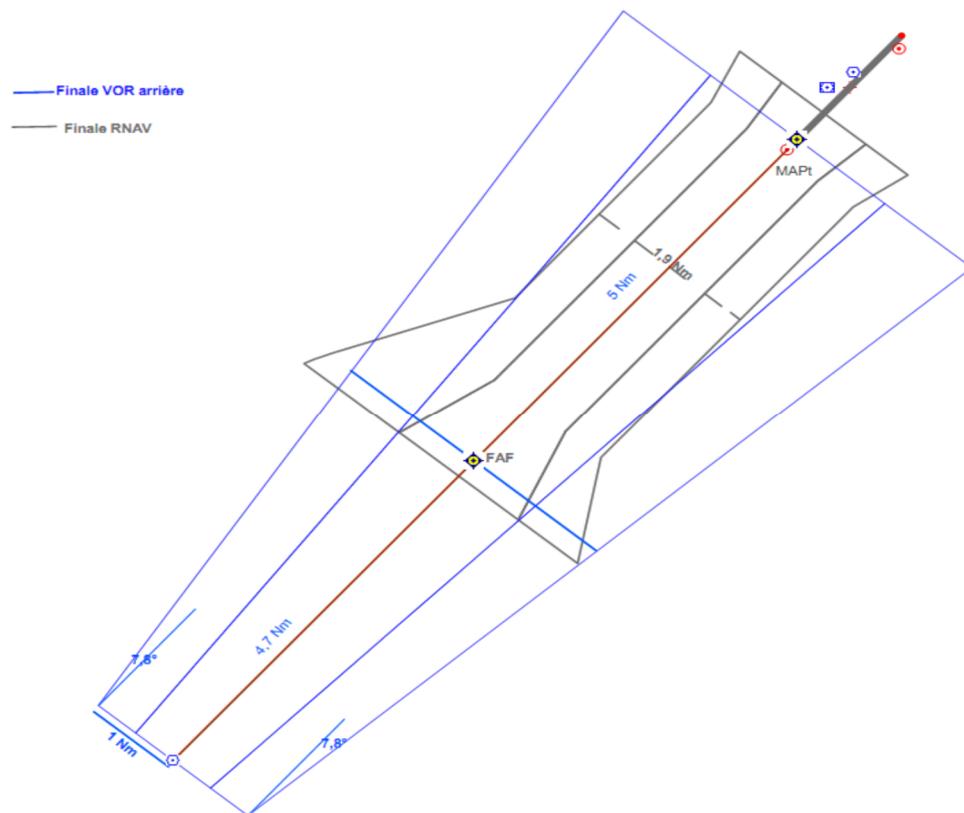
#### **3.5.8.1.4. Superposition des aires RNAV / Conventionnelles**

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.



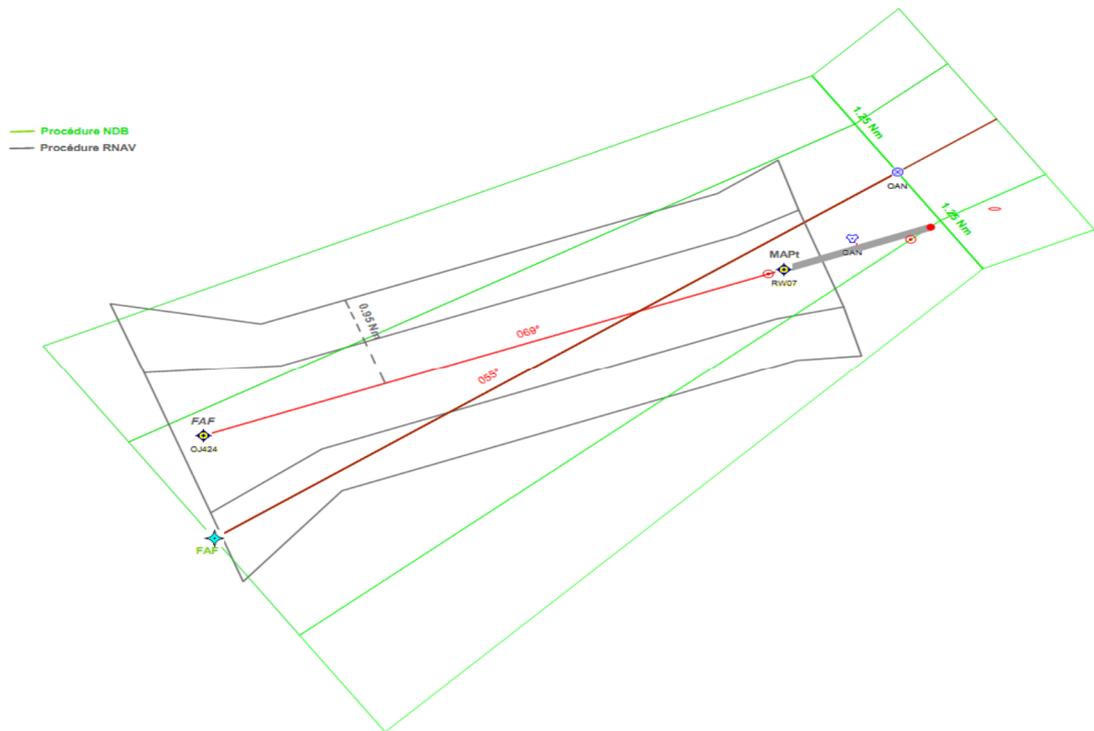
**Figure 3.14** : La superposition des aires de protection d'une approche finale VOR et d'une approche finale RNP APCH [10]

Cet autre exemple permet de visualiser l'envergure des aires de protection associées à un VOR lorsque ce dernier est loin de l'aérodrome, ici à 9,7 Nm du seuil de piste. Dans ce cas, la procédure LNAV comportant une aire de protection moins large que celle générée par le VOR, permet de ne pas prendre en compte certains obstacles présents dans l'aire de protection du VOR entre le FAF et le MAPt. Un gain potentiel sur l'OCH peut être attendu au bénéfice de la procédure LNAV.



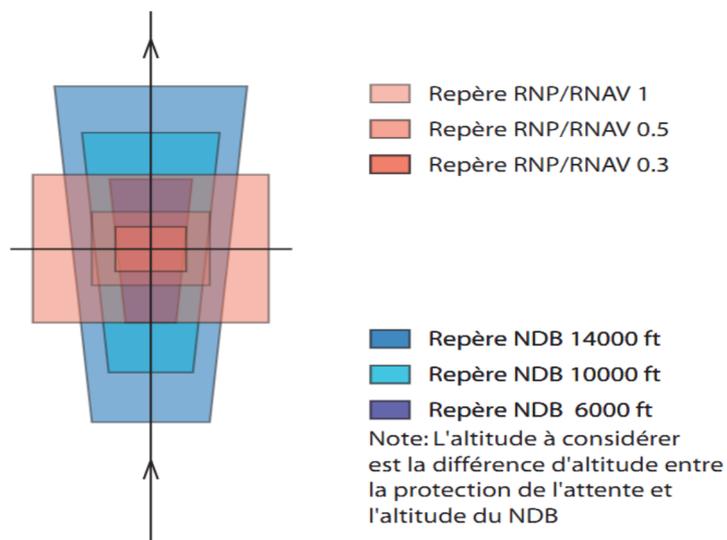
**Figure 3.15 :** L'envergure des aires de protection associées à un VOR [10]

Enfin un dernier 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 3.16 :** Comparaison entre une aire de protection d'une procédure NDB et d'une procédure RNAV [10]

Cet autre schéma présente la superposition des repères RNAV à un repère NDB à différentes altitudes.



**Figure 3.17 :** La superposition des repères RNAV à un repère NDB à différentes altitudes [10]

### **3.6. Les avantages de la 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 de la capacité des pistes.

#### ✓ **Environnement**

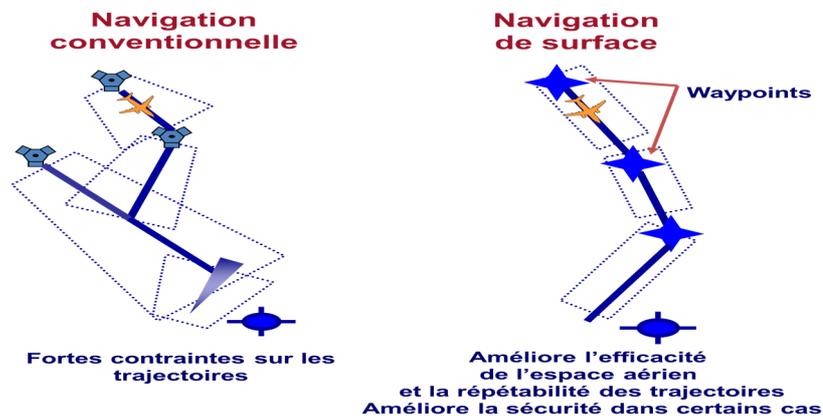
- Meilleur suivi des trajectoires permettant de réduire la signature des aéronefs au niveau du sol ;
- Réduction de la consommation se traduisant par une réduction de la pollution ;
- Flexibilité des trajectoires ce qui permet d'éviter de concentrer le bruit sur un même secteur en permanence ;  
Évitement 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 waypoints stratégiquement placés et ainsi permettre des trajectoires parallèles assurant les minimas de séparation requise ;

- Des trajectoires simplifiées permettant aux appareils ne faisant que survoler des zones a forte densité de trafic de ne pas être retardés ;
- Amélioration du guidage ;
- Une plus grande liberté latérale aux aéronefs.



**Figure 3.18 :** La différence entre la navigation conventionnelle et la navigation de surface [11]

#### ✓ 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'utilisations des pistes ;
- Des séparations stratégiques entre les trajectoires (notamment dans les TMA) liées à une plus grande précision de suivi des trajectoires.

#### ➤ Apports de la RNAV pour l'ATC

- Utilisation des waypoints tactiques en complément à l'utilisation des vecteurs radars ;

- Utilisation de la fonction « drive to », c'est-à-dire au-dessus de l'altitude de sécurité ;
- Utilisation de routes répétables ;
- Réduction du temps pour la communication avec les aéronefs.

### **3.7. Problèmes actuels de la RNAV**

Malgré les avantages que possède la navigation de surface, elle présente certaines contraintes et des caractéristiques qu'il y a 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, de sorte que l'avantage réalisé en termes de réduction des surfaces de protection d'obstacles 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, dépendant de la méthode avec laquelle il est opéré, est assez différent lorsqu'il est utilisé dans différents aéronefs.

### **3.8. Conclusion**

La RNAV peut être considérée comme la meilleure solution 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

### LES PROCEDURES D'APPROCHE RNAV(GNSS) EN 'T' OU EN 'Y'

#### 4.1. Introduction

Le système GNSS permet la mise en œuvre de la navigation de surface (RNAV) dans toutes les phases de vol (en-route, en région terminale et en approche), et cela sous certaines conditions.

En effet, les avancées dans les fonctions de navigation, notamment celles basées sur le GNSS, ont permis une plus grande souplesse dans la conception de l'espace aérien se traduisant par la réduction des séparations entre les routes, l'exécution des approches à descente continue ainsi que d'autres applications visant à optimiser les trajectoires tout en garantissant un haut niveau de sécurité et une meilleure protection de l'environnement.

Ce chapitre présente, dans un premier temps, la navigation par satellite appliquée à l'aviation civile nécessitant des informations à la fois d'une précision accrue mais également d'un haut degré de fiabilité, puis sera associée à la navigation de surface (RNAV).

Il comportera également trois (03) grandes sections bien distinctes, à savoir :

- **La section I :** Portant sur l'utilisation du GNSS 'Système mondial de navigation par satellite' dans le domaine de la navigation aérienne ;
- **La section II :** Comprenant les différentes exigences liées à la mise en œuvre des procédures d'approche de non précision RNAV basées sur le GNSS ;
- **La section III :** Traitant tout ce qui se rapporte sur les procédures d'approches RNAV(GNSS) avec configuration en 'T' ou en 'Y'.

## ***Section I :***

*Systeme de navigation par satellite*  
*'GNSS'*

## **4.2. La navigation par satellite pour l'aviation civile 'GNSS'**

### **4.2.1. Introduction**

La navigation par satellite 'Global Navigation Satellite System (GNSS)' a été reconnue par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) comme étant un élément clé des systèmes CNS/ATM et également une base sur laquelle les Etats 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'augmentations 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.

### **4.2.2. Historique**

En 1991, la 10eme Conférence de navigation aérienne a adopté le concept de 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, faisait intervenir un ensemble complexe de technologies connexes qui reposaient largement sur les satellites.

C'était la vision élaborée 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 (Doc 9613 AN/937 ; 2008), en Février 1994, les conclusions du comité FANS (Future Air Navigation Systems) qui ont permis de lancer la navigation par satellite.

En octobre 1994, la lettre du gouvernement des Etats-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 ont donné 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 et de disponibilité du GNSS pour les différentes phases de vol, les normes GNSS OACI définissent différentes 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).

### **4.2.3. 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 position, vitesse et temps, ceci partout dans le monde [12].

Ce système est composé des éléments suivants [13] :

- Constellations de base : constellation GPS, constellation GLONASS et constellation GALILEO dans le futur ;
- Récepteur utilisateur ;
- Systèmes 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 États-Unis, le complément satellitaire est le WAAS, en Europe, c'est EGNOS, et au Japon, le MSAS.

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

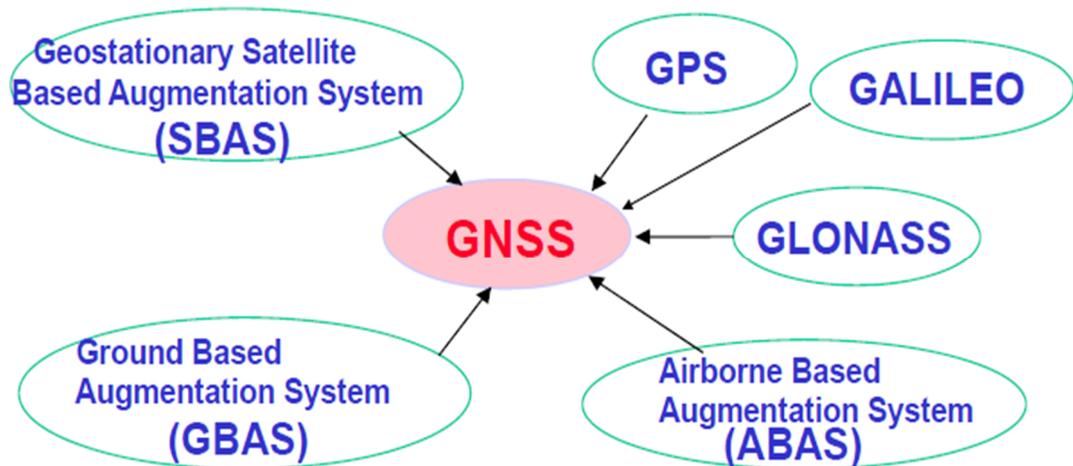
Les performances du GNSS-1 sont compatibles avec la navigation « en route » (suivi des couloirs aériens et des espacements) et éventuellement d'approche si un système LAAS est disponible.

#### ✓ **GNSS-2**

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

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

Le système GPS en développement doit inclure également la porteuse L5 d'intégrité, le mettant ainsi au niveau GNSS2.



**Figure 4.1 :** Types d'applications du GNSS [14]

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, les radiobalises MF, et à plus long terme les ILS.

Ce système fournira notamment aux aéronefs des données de position et des données temporelles qui sont dérivées des mesures de pseudo-distance entre l'aéronef muni d'un récepteur GNSS et les sources de signaux basées sur les satellites ou au sol.

#### **4.2.4. Constellations de base**

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

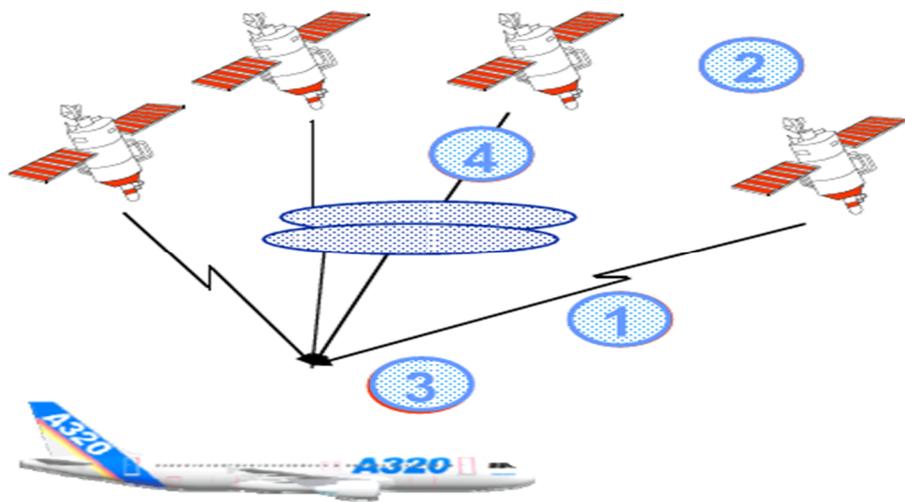
Le GPS américain a été développé par le Département de la Défense (DoD) des Etats-Unis, déclaré opérationnel le 8 décembre 1993 [15].

La constellation GPS est contrôlée et opérée par le « Department of Defense » (DoD) des Etats-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 [16].

➤ **Principe du GPS**

Le GPS permet d'effectuer les opérations suivantes, illustrant la **Figure 4.2**:

- 1-Mesure de la distance utilisateur-satellite à partir des informations de temps (horloges 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 [14].

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 28m en horizontal et de 60m en vertical [15].

✓ **GALILEO :**

Depuis mars 2002, il a été lancé le programme GALILEO, système européen de navigation par satellites qui, comme GPS et 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 [16].

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

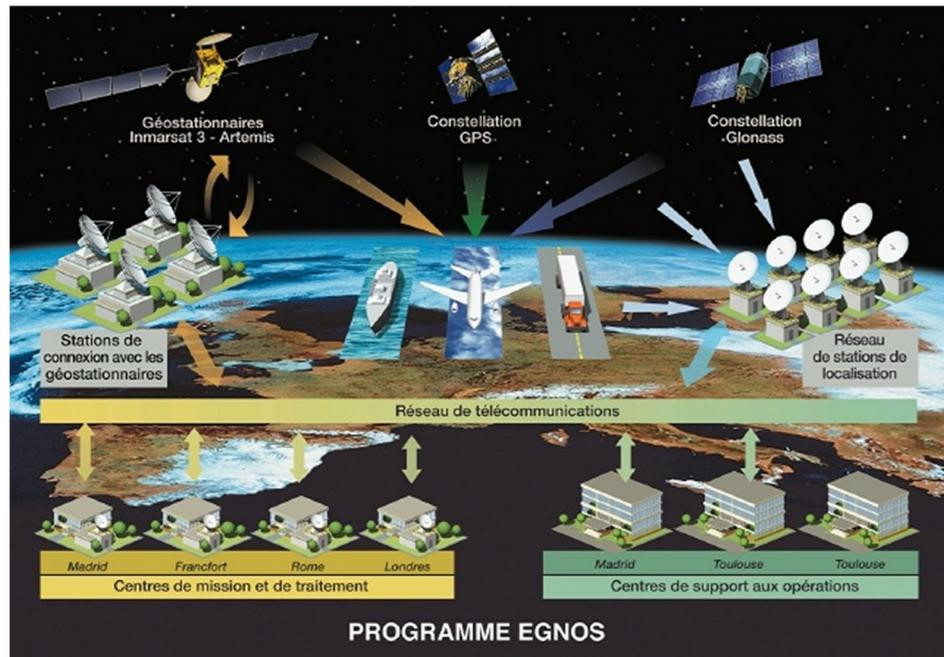
➤ **L'Approche de l'Europe**

✓ **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 contrôle. Ce système est opérationnel depuis le 1er octobre 2009.

Le système ESTB 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 [17]. 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 d'atterrissage.



**Figure 4.3 :** Principe de fonctionnement d’EGNOS (2005)[17]

#### **4.2.5. Principe de fonctionnement du GNSS**

Les systèmes de navigation par satellite 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 calculée par trilatération 2 (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 mesures de distance séparant l’utilisateur des satellites en vue du récepteur.

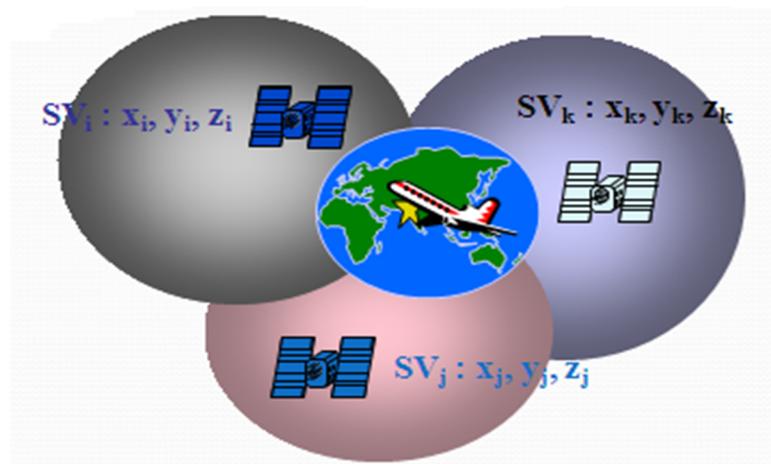
Pour obtenir celles-ci, le récepteur estime les temps d’arrivée des signaux radioélectriques par une méthode de corrélation en tirant profit des caractéristiques spécifiques des codes pseudo-aléatoires utilisés par les satellites GNSS. Les temps de propagation associés sont alors déduits.

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 distances et donc trois satellites. Chaque distance satellite-récepteur représente le rayon d'une sphère centrée sur le satellite en question.

L'utilisateur est alors situé à l'intersection des trois sphères correspondant aux trois satellites. Il est à noter qu'en réalité les trois sphères possèdent deux points d'intersection. Néanmoins, l'un de ces deux points est aberrant du point de vue de la solution recherchée [18].

La **Figure 4.4** illustre le principe de détermination de la position par trois sphères (méthode de trilatération).



**Figure 4.4:** Détermination de la position par trois sphères [19]

Comme le positionnement par satellite est fondé 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 de 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 embarquée par rapport au temps de référence du système de navigation en question.

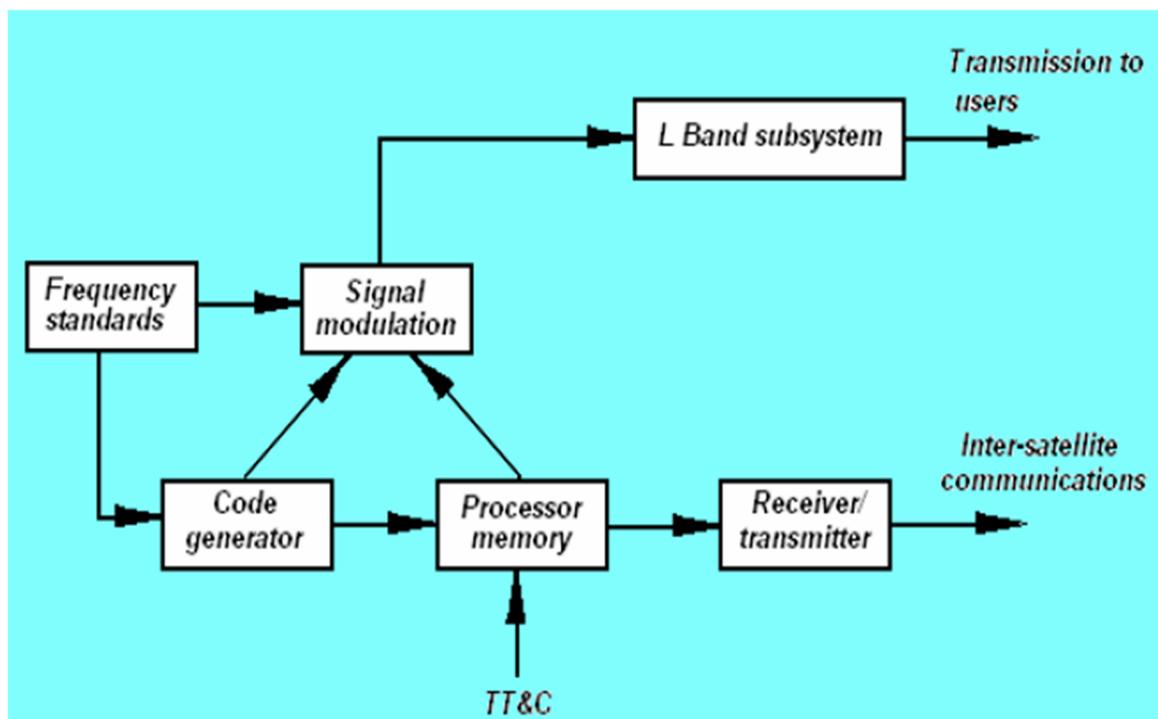
Dans cette étude, nous considérons le cas où les décalages d'horloge associés aux autres systèmes de navigation peuvent être déductibles à partir de celui estimé.

En effet, une des stratégies proposées pour l'interopérabilité du GPS et de Galileo est de diffuser la différence entre les temps de référence 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 termes d'erreur présentés ci-après, les mesures sont appelées 'pseudo-distances' [16].



**Figure 4.5** : Le Principe du système GNSS [18]

#### **4.2.6. 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 [20].

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'acquérir ces signaux émis à haute fréquence, de les traiter et de calculer à partir des mesures de distance satellites- porteurs une position dans un repère général.

Le récepteur doit obéir à des contraintes technologiques rigoureuses liées à l'utilisation de signaux hautes fréquences, qui peuvent être brouillés 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.

#### **4.2.7. Opérations du GNSS**

Il est escompté du GNSS qu'il répondrait aux besoins de toutes les phases du vol et notamment des opérations à la surface des aérodromes.

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.

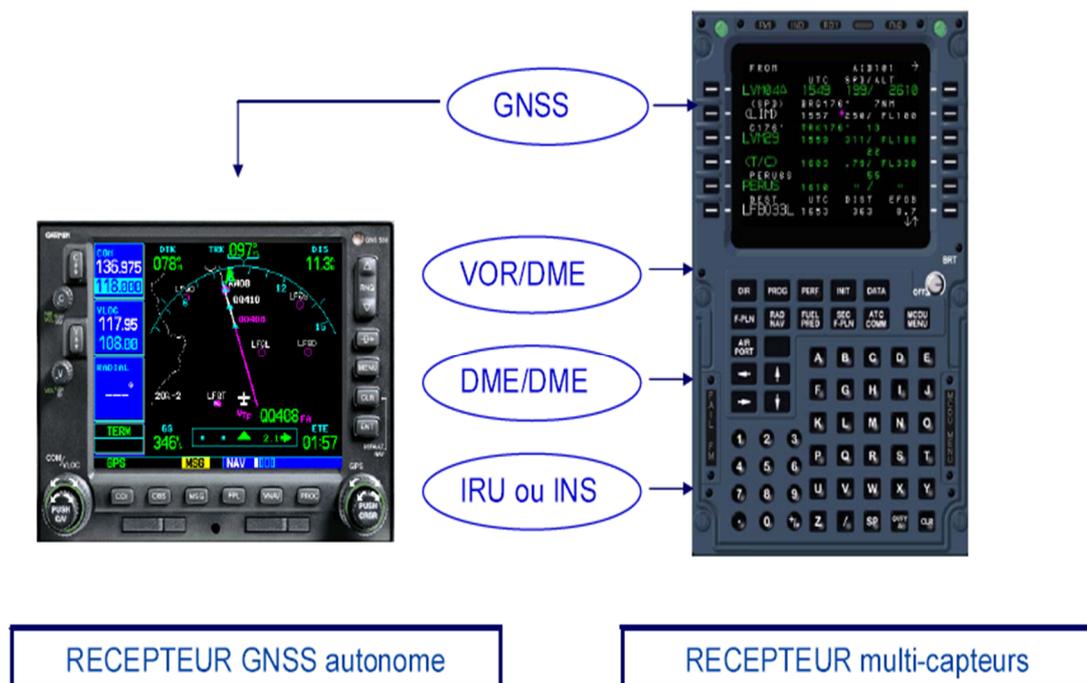
#### **4.2.8. Equipements de bord**

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 des systèmes 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:** Récepteurs GNSS autonomes et multi-capteurs [1]

#### **4.2.9. Critères de performance 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 service [12].

##### ✓ **Précision**

La précision représente le degré de conformité entre la position où la vitesse mesurée ou estimée à un instant donné et la position ou la vitesse réelle : la précision de position est généralement présentée comme la borne de l'intervalle de confiance à 95% de l'erreur de position.

##### ✓ **Intégrité**

L'intégrité est la garantie que l'ensemble des fonctions d'un système est assurée dans les limites opérationnelles et que le système est capable de fournir des alertes à l'utilisateur dans les temps impartis lorsque le système ne peut plus être utilisé.

L'intégrité représente donc la confiance qui peut être accordée à la validité des informations fournies par le système.

##### ✓ **Disponibilité**

La disponibilité du service est la probabilité que le service soit rendu au début de chaque cycle d'utilisation (par exemple pour une approche).

##### ✓ **Continuité de service**

La continuité de service est la probabilité que les performances seraient atteintes et cela pendant toute la durée d'un cycle d'opération (par exemple pendant une approche), à condition que les performances soient atteintes au début de l'opération.

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

✓ **Couverture et disponibilité**

Un système peut avoir soit une couverture globale ou bien régionale et peut être indisponible pendant des périodes plus ou moins longues ou avoir des manques de satellites (par exemple GLONASS).

Le but des systèmes combinés comme les GNSS-1 et GNSS-2 est de pouvoir pallier les défauts de chaque système individuel grâce à des combinaisons et compléments dits 'd'augmentation'.

**4.2.10. Critères de performance relatifs aux systèmes de navigation**

Les critères de performance des systèmes de navigation sont définis dans le « Manuel de navigation fondée sur les performances » et cela pour un seul aéronef et, pour le système total, différents éléments y sont pris en compte (signaux électromagnétiques, équipement de bord, capacité de l'aéronef à suivre la trajectoire voulue) [2].

Les critères de performance relatifs aux signaux électromagnétiques du GNSS ont été déduits de ces spécifications du système total.

Certains de ces critères ont été définis de manière plus sévère afin de tenir compte de certaines situations car le GNSS exige de prendre en considération des configurations dégradées pouvant concerner plusieurs aéronefs à la fois.

**4.2.11. Systèmes de renforcement**

Afin de pouvoir respecter les spécifications de performance opérationnelle (précision, intégrité, disponibilité et continuité) durant toutes les phases du vol, le GPS et le 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 [13]:

- ✓ systèmes de renforcement embarqués (ABAS) ;

- ✓ systèmes de renforcement par satellite géostationnaire (SBAS) ;
- ✓ systèmes de renforcement par station sol (GBAS).

#### 4.2.11.1. Système de renforcement embarqué (ABAS)

L'ABAS 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.

Il gère notamment l'intégrité des informations de navigation délivrées, en tirant profit de la redondance d'informations à bord de l'avion.

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 de la constellation de satellites [5]. 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 distances transmises par les satellites utilisés. Cette fonction est indisponible lorsque le nombre de satellites reçus est insuffisant ou leur géométrie défavorable. Elle n'utilise pas les mesures d'autres senseurs. Certains systèmes utilisent les données barométriques dans le RAIM en vue de diminuer le nombre de satellites nécessaires pour assurer le contrôle d'intégrité.

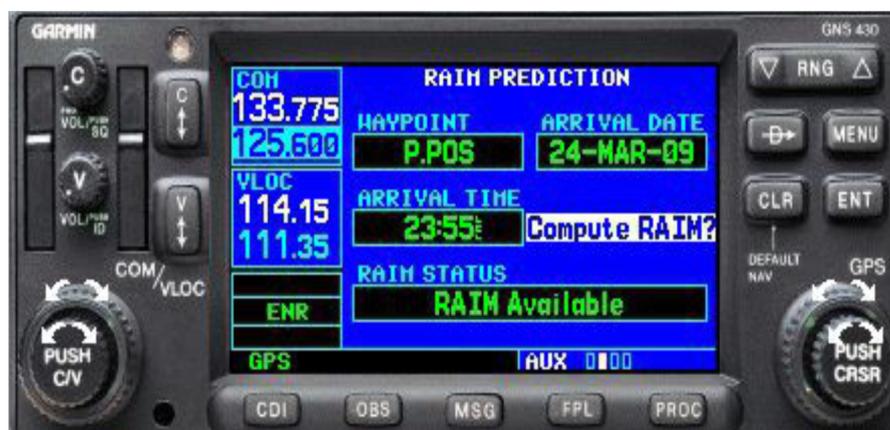


Figure 4.7: Récepteur RAIM [20]

- ✓ **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 [4].

**Tableau 4.1** : Comparaison entre RAIM et AAIM

RAIM	AAIM
Contrôle autonome de l'intégrité par le récepteur.	Contrôle autonome de l'intégrité par l'aéronef.
Récepteur GNSS autonome Système multi-capteurs.	Système multi-capteurs.
Basé sur la redondance et la géométrie des satellites GPS.	Basé sur la combinaison du signal GNSS avec autres capteurs (exemple inertie).

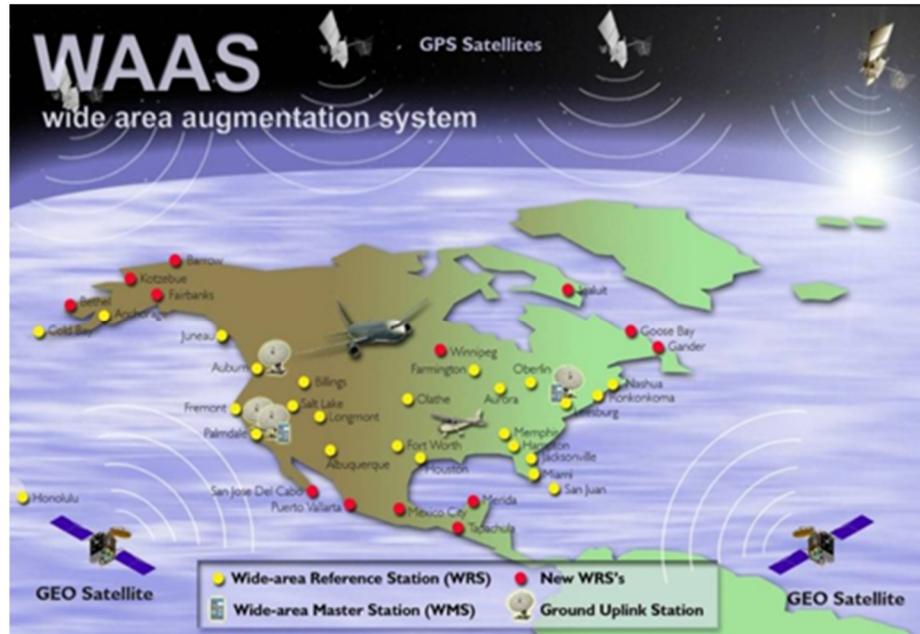
#### **4.2.11.2. Système de renforcement par satellite (SBAS)**

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 stations au sol diffusées par l'intermédiaire des satellites géostationnaires.

Le système de renforcement par satellite utilise un ou plusieurs satellites géostationnaires pour transmettre aux utilisateurs des signaux des constellations de base des données complémentaires de trois types [5] :

- ✓ Données concernant l'intégrité des données issues des constellations de base ;
- ✓ Corrections régionales à appliquer aux données des 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 les systèmes de bord de type ABAS [5].



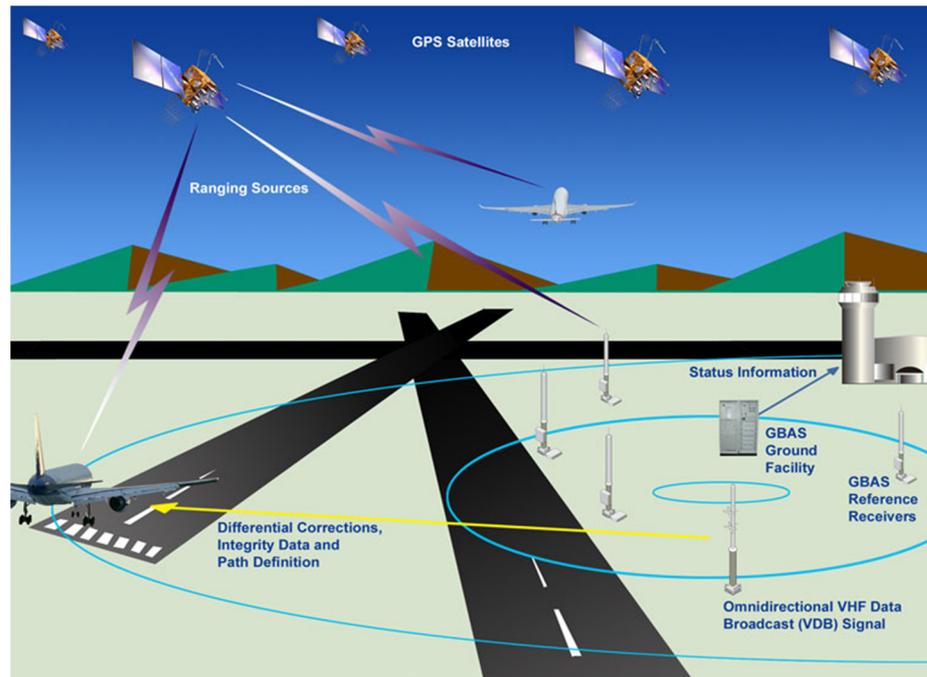
**Figure 4.8 :** Les augmentations SBAS-Exemple WAAS [21]

#### **4.2.11.3. Système de renforcement par satellite (GBAS)**

Le GBAS est un ensemble d'émetteurs au sol centralisant diverses 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.

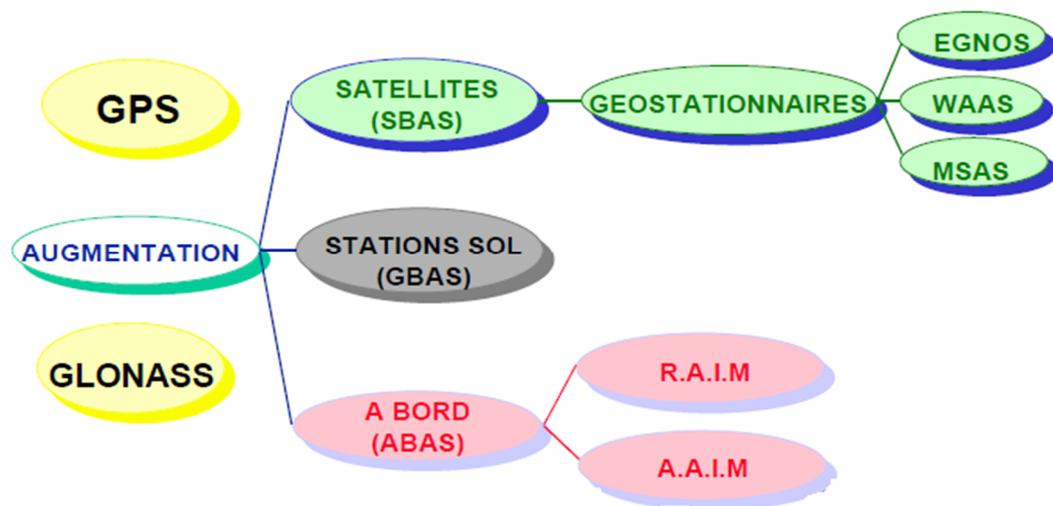
La localisation de ces émetteurs étant connue précisément, l'erreur de mesure de chaque pseudo-distance peut être évaluée. Ce principe est appelé GPS différentiel.

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



**Figure 4.9:** Les augmentations GBAS [21]

La **Figure 4.10** résume les différents composants du système GNSS ainsi que les différentes augmentations mises en œuvre pour améliorer les performances du système.



**Figure 4.10 :** Définition OACI du GNSS [21]

#### **4.2.12. Types de NOTAM GNSS**

Il existe deux types de NOTAMS GNSS [13]:

- ✓ NOTAM GNSS spécifique terrain:
  - Regroupe toutes les indisponibilités en un seul NOTAM par aéroport.
- ✓ NOTAM GNSS regional:
  - Concerne toutes les indisponibilités affectant une ou plusieurs régions d'information de vol (FIR), sur la base des interruptions prévues ou actuelles.

#### **4.2.13. Avantages du GNSS**

Les avantages du GNSS peuvent être classés de plusieurs façons si on reprend la classification déduite des travaux du comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne dont les régions sont classées comme suit :

- Régions à faible et à moyenne densité de circulation (Océans et zones non peuplées) ;
- Régions à forte densité de circulation, comme les régions océaniques, où il est impossible de mettre en œuvre des moyens au sol ;
- Régions à forte densité de circulation et importante infrastructure au sol ;

Dans les régions de forte densité de circulation, le GNSS peut ne pas procurer d'avantages, Ce qui peut amener à la nécessité de recourir à des techniques ATM perfectionnées pour tirer tous les avantages possibles.

#### ➤ **Avantages liés à la sécurité :**

Il est peu pratique ou impossible d'assurer un guidage précis et fiable dans les régions isolées ou océaniques avec des aides au sol , le GNSS permettra aux pilotes de connaître leur position avec plus de certitude et, par conséquent ,de réduire le risque de certains types d'accidents, même dans les régions bien desservies par des aides au sol, les possibilités du GNSS permettent une meilleure connaissance de la position des aéronefs, diminuant ainsi les risques d'accidents.

De plus, l'utilisation du GNSS avec le système de navigation par inertie et le système de référence inertielle (INS/IRS) peut mettre fin à certaines erreurs grossières habituellement attribuables à une mauvaise initialisation de l'INS/IRS.

Finalement, l'amélioration de la navigation apportée par le GNSS augmentera la sécurité des pilotes qualifiés dans les régions où, pour des raisons géographiques, financières ou autres, les aides au sol manquent de fiabilité.

➤ **Avantages liés à l'efficacité des opérations**

L'accès, partout dans le monde, à des données de position précises et au guidage correspondant est susceptible d'augmenter l'efficacité des opérations.

En effet, grâce à une navigation plus précise et, si la ou les circonstances le permettent, à la possibilité de suivre les routes privilégiées par les usagers, les temps de vol et le carburant nécessaire pourront être réduits.

La possibilité de réduire le carburant, y compris le carburant de secours, permettra aux vols à charge limitée d'augmenter la charge marchande et, par conséquent, le revenu.

L'utilisation du GNSS pour assurer le guidage pendant les approches de non précision sur les pistes qui n'ont pas d'aides de navigation au sol ou dont les aides manquent de fiabilité, réduira les retards, les déroutements, les survols et les annulations imputables aux mauvaises conditions météorologiques, cette possibilité aura pour effet de réduire les coûts d'exploitation.

L'augmentation du nombre d'aéroports où il est possible d'effectuer des approches de précision au GNSS aura des résultats semblables.

#### **4.2.13. Stratégie de mise en œuvre du GNSS dans la région AFI (AFRIQUE-OCEAN INDIEN)**

##### **4.2.13.1. Introduction**

Il a été convenu lors de la réunion APIRG/18 portant sur la stratégie de mise en œuvre du GNSS dans la région AFI (AFRIQUE-OCEAN INDIEN) que la stratégie relative au GNSS pour la Région AFI ait pour objectif de définir une trajectoire évolutive dans le but de remplacer les aides à la navigation au sol, à savoir les VOR/DME/ILS/NDB, tout en faisant en sorte que les facteurs opérationnels et d'autres facteurs tels que la nécessité d'un rapport coûts-avantages favorable, soient bien évidemment pris en considération [22].

La stratégie relative au GNSS pour la Région AFI part du principe de l'existence d'un GNSS qui satisfasse aux paramètres spécifiés pour chaque phase du déploiement. Elle n'évalue pas la configuration des systèmes GNSS en elle-même, ni les avantages et inconvénients que présentent les diverses stratégies de déploiement.

#### **4.2.13.2. Considérations d'ordre général**

Par nécessité, des systèmes de navigation par satellite et au moyen d'aides au sol devront nécessairement coexister pendant un certain temps. Étant donné que l'exploitation de deux systèmes n'est pas économique, les utilisateurs et les fournisseurs devront coopérer pour réduire autant que faire se peut la durée de la période de transition, en tenant dûment compte des principes suivants:

- Le niveau de la sécurité ne sera pas diminué pendant la transition;
- Avant l'expiration de la période de transition, les services reposant sur le GNSS doivent être pleinement conformes aux paramètres de précision, de disponibilité, d'intégrité et de continuité pour toutes les phases du vol;
- Pendant la transition, les niveaux de fonctionnalité évolueront graduellement;
- A chaque étape du déploiement, il sera tiré parti au niveau de l'exploitation des possibilités qui s'offriront;
- Les méthodes d'application tiendront pleinement compte des répercussions pour la sécurité de toute limitation fonctionnelle; et
- Il faudra informer suffisamment à l'avance les utilisateurs de la nécessité de s'équiper à nouveau avant que les systèmes au sol ne soient mis hors service.

#### **4.2.13.3. Fonctionnalités évolutives**

##### **4.2.13.3.1. Phase I (court terme), jusqu'en 2012**

Cette phase autorisera l'utilisation du GNSS et cela pour les approches classiques (NPA) et en tant que système primaire de navigation en route, ainsi en tant que système supplémentaire de navigation dans les TMA, tout en gardant l'infrastructure au sol inchangée.

#### **4.2.13.3.2. Phase II (moyen terme) de 2013 à 2016**

Cette phase autorisera:

- a) **Phase en route**: capacité suffisante pour répondre aux besoins de navigation en route en tout point de la Région AFI. Le GNSS continue d'être utilisé comme moyen primaire pour la navigation en route. Le même principe sera caractérisé par un plan de transition clair pour l'utilisation du GNSS comme système unique pour la navigation en route. En conséquence, les aides à la navigation en route seront progressivement retirées, en consultation avec les usagers.
- b) **Régions terminales**: capacité suffisante pour répondre aux besoins de navigation en région terminale (TMA) partout dans la Région AFI. Le GNSS est approuvé comme système unique pour la navigation dans les TMA, au regard des développements techniques et juridiques et des aspects institutionnels.
- c) **Les VOR, DME et NDB de régions terminales**, ainsi que les radiobalises LF/MF qui ne sont pas associées avec l'ILS, seront progressivement retirés, en consultation avec les usagers durant la Phase II.
- d) **Phase d'approche et d'atterrissage**: capacité suffisante pour des approches et atterrissages avec guidage vertical (APV-1) dans l'ensemble de la Région AFI. L'IL continuera d'être disponible aux aérodromes1.

Pendant la Phase II, le GNSS de long terme sera en cours de développement.

#### **4.2.13.3.3. Phase III (Long terme) 2017 et au-delà**

Il est présumé qu'un plus grand nombre de constellations de satellites de navigation seront disponibles, pour appuyer l'utilisation du GNSS comme moyen unique de la phase

en route jusqu'à l'atterrissage en CAT I. Le système de renforcement satellitaire (SBAS), ou au sol (GBAS) de CAT I sera disponible aux emplacements où l'analyse des données MET historiques ou bien les caractéristiques de trafic justifient le besoin. Le système de renforcement à base de stations sol (GBAS) répondra aux autres besoins. Pendant la Phase III, l'ILS CAT I sera retiré en consultation avec les usagers. Lorsque des besoins en ILS CAT II/III auront été confirmés, ces installations seront maintenues à moins que le progrès technique apporte la démonstration que le GBAS ou le SBAS peuvent répondre à ces besoins.

La stratégie GNSS sera révisée périodiquement. En particulier, elle sera révisée et mise à jour au début de chaque phase de planification pour s'assurer qu'elle continue d'être pertinente pour appuyer le concept opérationnel d'ATM mondiale, tout en tenant compte de l'évolution technologique et des développements concernant le GNSS.

➤ **Résumé de la stratégie GNSS AFI**

**Tableau 4.2 : Stratégie GNSS AFI – Synopsis [22]**

	<b>Court terme</b>	<b>Moyen terme</b>	<b>Long terme</b>
<b>Phase de mise en œuvre</b>	<b>2008-2012</b>	<b>2013-2016</b>	<b>2017 et au-delà</b>
Certification	Moyen primaire pour les opérations en route  Moyen supplémentaire en espace terminal  Approche de non précision(NPA)	Moyen primaire pour les opérations en route jusqu'à l'approche avec guidage vertical(APV)	Moyen primaire pour les opérations en route jusqu'à l'approche de précision de catégorie 1 (CAT-I)
Espace océanique et continental éloigné En route	GNSS de base	GNSS de base	GNSS Multi-constellation
Espace continental En route	GNSS de base	GNSS de base	GNSS Multi-constellation
Espace terminal	GNSS de base	GNSS de base	GNSS Multi-constellation

Approche et atterrissage	GNSS de base avec altimétrie barométrique	GNSS de base ABAS, SBAS*	GNSS Multi-constellation avec ABAS, GBAS, SBAS
			CAT(GLS)  CAT II/III(GLS) selon les besoins

**Tableau 4.3 :** Infrastructure GNSS appuyant les besoins de mise en œuvre de la PBN [22]

Phase de mise en œuvre		Court terme	Moyen terme	Long terme
		2008-2012	2013-2016	2017 et au-delà
Certification		Moyen primaire pour les opérations en route  Moyen supplémentaire en espace terminal  Approche de non-précision(NPA)	Moyen primaire pour les opérations en route jusqu'à l'approche avec guidage vertical (APV)	Moyen primaire pour les opérations en route jusqu'à l'approche de précision de catégorie 1(CAT-I)
Espace	Configuration	GNSS de base	GNSS de base	GNSS Multiconstellation

**Tableau 4.4 :** Infrastructure GNSS appuyant les besoins de mise en œuvre de la PBN [22]

Phase de mise en œuvre		Court terme	Moyen terme	Long terme
		2008 –2012	2013 –2016	2017 et au-delà
océanique et continentale éloignée / En route	GNSS			
	Spécifications de navigation PBN	RNAV-10, RNP-4	RNAV-10, RNP-4	RNAV-10, RNP-4
Espace continentale	Configuration GNSS	GNSS de base	GNSS de base	GNSS Multi constellation

l En route	Spécifications de navigation PBN	RNAV-5, RNAV-1	RNAV-5, RNAV-2, RNAV-1	RNAV-5, RNAV-2, RNAV-1
Espace terminal	Configuration GNSS	GNSS de base	GNSS de base	GNSS de base
	Spécifications de navigation PBN	RNAV-1 avec moyen de surveillance RNP de base RNP-1 sans moyen surveillance	Etendre l'application de la RNAV-1, ou la RNP-1 Rendre la RNAV-1, ou RNP-1 dans les TMA à forte densité de trafic	RNAV-1 avec moyen de surveillance RNP de base RNP-1 sans moyen surveillance
Approche	Configuration GNSS	GNSS de base	GNSS de base avec ABAS, SBAS*	Multi-constellation GNSS ABAS avec, SBAS*
	Spécifications de navigation PBN	RNP APCH: NPA RNP APCH: APV avec Baro-VNAV ou RNP AR APCH: APV avec Baro-VNAV	RNP APCH: NPA RNP APCH: Etendre l'APV (avec Baro-VNAV et/ou GNSS avec renforcement) Etendre la RNP AR APCH: APV avec Baro-VNAV	RNP APCH: NPA RNP APCH: APV (avec Baro-VNAV et/ou GNSS avec renforcement) RNP AR APCH: APV avec Baro-VNAV

#### **5.2.14. 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 du système 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.

## ***Section II :***

*Les procédures d'approches*  
*'RNAV(GNSS)'*

### **4.3. Procédures RNAV(GNSS)**

#### **4.3.1. Introduction**

L'OACI a demandé aux Etats de mettre en œuvre les opérations décrites dans le manuel PBN [2]. Les procédures d'approche RNP APCH publiées sous l'appellation RNAV(GNSS) vont donc se généraliser dans les années à venir.

#### **4.3.2 Historique**

L'élaboration d'applications pratiques du GPS/GNSS en tant que partie de la transition vers les nouveaux systèmes CNS/ATM est fortement encouragée par l'IATA au cours des dernières années.

Cette tendance est appuyée par certaines compagnies aériennes qui ont tenu à encourager l'élaboration de procédures GPS, notamment aux aérodromes d'infrastructures de navigation limitées.

Ainsi, l'IATA a mis au point un projet global de mise en œuvre de procédures GNSS portant sur la conception et la mise en œuvre de procédures GNSS pour les Etats. Le produit peut être adapté aux besoins spécifiques de chaque Etat.

Dans cet ordre d'idées, l'IATA, en 2000, a mis sur pied le Programme de développement et de mise en œuvre des procédures RNAV (GNSS) destinées à aider les États à concevoir et mettre en œuvre leurs procédures.

#### **4.3.3. Types d'approches et critères opérationnels**

L'OACI définit dans l'Annexe 6 à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale (Partie I) trois classes d'approches RNAV(GNSS) [23]:

- Les approches de non précision qui ne reposent que sur un guidage latéral ;
- Les approches avec guidage vertical (APV) concernant les approches aux instruments avec guidages latéral et vertical qui ne remplissent toutefois pas les critères des approches de précision;

- Les approches de précision.

Cette classification des approches a été approuvée par le groupe de travail de l'OACI sur le franchissement des obstacles (OCP-13, 28 Oct- 8 Nov 2002) à travers un amendement au PANS-OPS, volume I, définissant les nouveaux types de procédures aux instruments.

Les approches RNAV(GNSS) traitées dans ce chapitre sont des approches de non précision.

**Tableau4.5 : Critères opérationnels [9]**

L'approche de non précision	identifiée sur la carte IAC par une ligne minima LNAV-MDA/MDH
L'approche APV Baro VNAV	identifiée sur la carte IAC par une ligne minima LNAV/VNAV-DA/DH
L'approche APV SBAS	identifiée sur la carte IAC par une ligne minima LPV-DA/DH

Lorsqu'elles sont publiées sur la même carte RNAV(GNSS), ces trois approches finales disposent d'une approche initiale et intermédiaire, ainsi que d'une approche interrompue commune.

**a) approche de non précision - RNAV(GNSS) 'LNAV'**

Les approches RNAV(GNSS) LNAV ne sont pas associées à une trajectoire verticale dans l'espace.

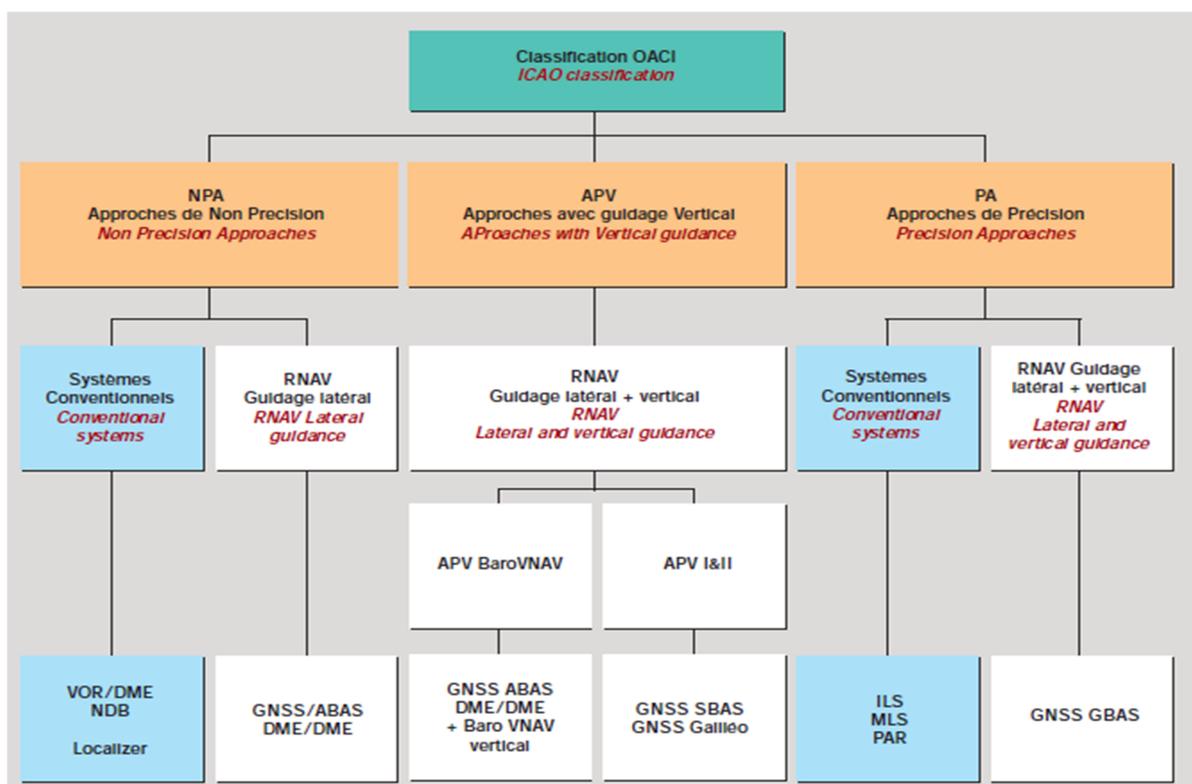
- Le guidage latéral est effectué à l'aide du système RNAV/GNSS et repose sur un positionnement GNSS ;
- La gestion verticale du vol est effectuée de façon identique aux approches de non précision (VOR/DME, NDB...), en utilisant soit la V/S (vitesse verticale) ou le FPA (l'angle d'approche), soit la fonction Baro-VNAV selon le choix de l'opérateur et la capacité de l'avion. Conformément à l'EU OPS, les approches de non précision, répondant aux critères CDFA, doivent être conduites à l'aide de la technique CDFA.

**b) APV BaroVNAV – RNAV(GNSS) 'LNAV/VNAV'**

- Le guidage latéral est effectué à l'aide du système RNAV/GNSS et repose sur un positionnement GNSS ;
- Le guidage vertical est effectué à l'aide de la fonction Baro-VNAV dont les critères de certification sont inclus dans l'AMC EASA 20-27 ;

c) **APV SBAS – RNAV(GNSS) ‘LPV’**

- Le guidage latéral et vertical est effectué à l'aide du système RNAV/GNSS et repose sur un positionnement GNSS utilisant le signal GPS et le SBAS. Les critères de certification du système pour réaliser ce type d'approche sont inclus dans l'AMC EASA 20-28. Il s'agit par exemple du WAAS aux Etats-Unis et d'EGNOS en Europe.



**Figure 4.11 : Classification OACI des procédures d'approche [18]**

#### **4.3.4. Utilisation des procédures RNAV(GNSS)**

Ces procédures devront coexister avec les procédures conventionnelles tant que toute la flotte ne sera pas apte à les exécuter (équipement des aéronefs, formation et qualification

des pilotes, certification de l'autorité de tutelle). Il est estimé aujourd'hui qu'environ les deux tiers (2/3) des vols sont aptes à exécuter ces procédures.

Or, deux procédures à destination de la même piste ne peuvent être mises en service simultanément du fait de leurs trajectoires conflictuelles. L'utilisation de l'une des procédures signifie donc la mise en sommeil de l'autre avec mise en attente des aéronefs jusqu'à la fin de l'utilisation de l'autre procédure. La capacité de l'aéroport s'en trouverait donc fortement réduite.

En conséquence, la mixité entre procédure conventionnelle et procédure RNAV (GNSS) ne sera possible en termes de gestion de la circulation aérienne que dans le cas où la procédure RNAV(GNSS) est en « overlay » de la procédure conventionnelle.

➤ **Remarque**

Une procédure RNAV(GNSS) en « **overlay** » d'une procédure conventionnelle est un calque de la procédure conventionnelle.

L'intérêt d'une procédure en « overlay » est d'assurer la coexistence de cette procédure avec la procédure conventionnelle dont elle est issue, ce qui est quasiment transparent en termes de contrôle de la circulation aérienne.

Dans le cas contraire, les deux procédures ne peuvent pas être mises en service simultanément.

L'impact environnemental de la trajectoire nominale d'une procédure en « overlay » est identique à celui généré par la trajectoire nominale de la procédure conventionnelle dont elle est issue. Il est en général constaté une plus grande précision du suivi des trajectoires RNAV(GNSS).

#### **4.3.5. Préparation de vol**

Lors de la préparation d'un vol à destination d'un aéroport muni d'une procédure RNAV(GNSS), l'exploitant doit vérifier la disponibilité de la fonction RAIM (ou

algorithme équivalent). Elle doit être disponible 15 min avant l'ETA et jusqu'à 15 min après l'ETA. Pour cela, il peut utiliser :

- soit l'outil de prévision de l'équipement de bord ou un logiciel identique. Dans ce cas, les informations sur l'éventuelle indisponibilité de satellites doivent être introduites dans le programme prédictif de cet équipement ou de ce logiciel. Ces informations sont données par les NOTAM relatifs à l'état de la constellation GPS ;

- soit les prévisions calculées par des logiciels ou outils disponibles sur Internet, tel augure, développé par Eurocontrol. Les prévisions sont proposées pour les équipements dotés d'hybridation barométriques ou non ;

- soit les prévisions contenues dans les NOTAM RAIM élaborés par le service d'information aéronautique français. Ces NOTAM RAIM ne sont disponibles que pour les équipements avec hybridation barométrique [16].

En cas d'indisponibilité prévue du RAIM ou, plus généralement, du GNSS, l'équipage est supposé utiliser d'autres moyens de navigation, choisir une autre destination ou retarder le vol.

#### **4.3.6. Critères de construction des procédures d'approche RNAV(GNSS)**

Cette partie décrit les principales hypothèses utilisées pour la construction des procédures RNAV/GNSS.

##### **4.3.6.1. Stratégies de mise en œuvre**

La publication de procédures RNAV(GNSS) vise à compléter et à améliorer l'accès des aéroports, pour les vols IFR : elle doit permettre de pallier l'absence ou l'indisponibilité d'un moyen radioélectrique, rendre accessible directement le contour QFU d'une piste équipée d'un seul ILS, permettre de raccorder une procédure conventionnelle au moyen d'un segment GNSS [16].

L'AIP devrait indiquer clairement l'application de navigation RNP APCH. La conception de la procédure devrait s'appuyer sur les profils de descentes normales et la publication d'Etat doit identifier l'exigence minimale du segment, y compris un LNAV (navigation latérale) OCA(H) [24].

#### **4.3.6.2. Identification des repères**

Chaque repère est défini sous forme d'un point de cheminement représentant ses coordonnées (latitude et longitude en degrés, minutes, secondes, d'une précision d'un dixième de seconde ou, pour un repère coïncidant avec le seuil de piste, d'un centième de seconde, en référence au système géodésique mondial de 1984 – WGS 84) et représenté sur la carte d'approche aux instruments avec le symbole correspondant à son type, « à survoler » (fly over) ou « par le travers » (fly by). (Voir Chapitre 3, § 3.4.5.2)

Les différents points de cheminement correspondent aux repères habituels des procédures d'approche aux instruments (exemples : IAF, IF, FAF, MAPt).

#### **4.3.7. Les conditions de mise en œuvre de procédures GNSS**

Plusieurs conditions doivent être prises en considération lors de la mise en œuvre de procédures GNSS, à savoir [19] :

1- Certification et homologation des équipements par l'autorité de l'aviation civile.

✓ La définition de la réglementation.

2- Formation:

✓ Concepteurs procédures de vol ;

✓ Pilotes ;

✓ Contrôleurs ATC.

3- Elaboration des procédures de vol de type GNSS.

4- Avant la publication, la procédure GNSS doit se soumettre à un test en vol par l'avion laboratoire

#### 5- Publication des procédures GNSS par le SIA:

- ✓ Diffusion circulaire d'information aéronautique(AIC);
- ✓ Système de coordonnées de référence WGS-84 ;
- ✓ Cartes aéronautiques ;
- ✓ NOTAM GNSS.

#### ➤ **Remarque**

Mise à part les conditions de mise en œuvre de procédures GNSS citées précédemment, en Algérie, le plan de l'élaboration de ces procédures est soumis à certaines règles dont [19] :

- ✓ La formation de concepteurs de procédures RNAV/GNSS de l'ENNA à l'ENAC (Ecole Nationale de L'aviation Civile) de Toulouse ;
- ✓ Acquisition en cours d'un logiciel de conception automatique des procédures de vol PANS OPS ;
- ✓ Elaboration de la réglementation nationale GNSS ;
- ✓ Un séminaire prévu pour les contrôleurs de la circulation aérienne sur l'application des procédures RNAV(GNSS).

#### **4.3.8. Publication de la carte d'approche**

Une procédure RNAV(GNSS) qui est publiée dans une carte d'approche aux instruments se distingue notamment par l'intitulé « RNAV(GNSS) » et par la case minima « LNAV ».

Lorsqu'il existe une restriction portant sur l'utilisation de certains types d'équipements, cela est mentionné dans le titre (exemple : RNAV (GNSS sauf classe A)).

Avec chaque carte d'approche aux instruments est publié un tableau pour les fournisseurs de bases de données de navigation comprenant les coordonnées géographiques des points de cheminement et les codes parcours-extrémité (Path-Terminators) pris en compte lors de la conception des procédures. Les codes utilisés sont les suivants : IF et TF.

#### **4.3.9. Certification des systèmes embarqués**

Afin d'effectuer des approches RNAV(GNSS), les aéronefs doivent être équipés d'un récepteur GNSS étant approuvé pour les procédures d'approche aux instruments. Ce récepteur peut être autonome « Stand-alone » ou intégré à un système de navigation multi capteurs (exemple : FMS)[13]. (Voir § 4.2.8.)

#### **4.3.10. Les avantages des procédures RNAV/GNSS**

La mise en œuvre du concept PBN permettra, non seulement, d'accroître la capacité de contrôle du trafic aérien, mais aussi, d'améliorer la qualité du service rendu aux exploitants d'aéronefs et notamment :

- Rendre l'aéroport plus accessible ;
- D'éviter certaines contraintes liées au survol des reliefs, des villes, et des zones à statut particulier ;
- Diminuer le temps de vol ;
- Elaborer des trajectoires de vol économiques,
- Réduire les nuisances engendrées par des aéronefs;
- Faire des approches finales dans l'axe de piste.

#### **4.3.11. Conclusion**

Dans cette partie, les différentes exigences liées à la mise en œuvre des procédures d'approche de non précision RNAV basées sur le GNSS ont été présentées.

Ces exigences comprennent aussi bien des exigences au niveau de la certification que des exigences opérationnelles.

Afin de pouvoir réaliser des approches de non précision basées sur le GNSS, l'exploitant doit :

- installer un système GNSS si l'aéronef en est dépourvu ;
- s'assurer de la certification de son système de navigation ;

- adapter les procédures normales et occasionnelles des Manuels d'Exploitation (si applicable) pour les besoins spécifiques des approches de non précision RNAV/GNSS ;
- former les pilotes appelés à réaliser ces approches.

## ***Section III :***

*Les procédures d'approches  
RNAV(GNSS) avec configuration en  
'T' ou en 'Y'*

## **4.4. Types d'approches et intégration dans la procédure RNAV(GNSS)**

### **4.4.1. Introduction**

Cette partie sera axée essentiellement sur l'étude théorique et les hypothèses de conception des procédures RNAV(GNSS) en 'T' ou en 'Y'.

Le chapitre 5 comporte deux parties où la première portera sur une présentation de l'aérodrome de Hassi Messaoud.

La conception de la procédure avec configuration en 'Y' sera développée dans la deuxième partie du même chapitre.

### **4.4.2. Approches en 'T' ou en 'Y'**

Une configuration en 'T' ou en 'Y' d'une procédure de non précision RNAV(GNSS) permet une entrée directe quelle que soit la trajectoire d'arrivée (sauf contraintes particulières).

### **4.4.3. Concept général**

#### **4.4.3.1. Généralités**

Une procédure d'approche de non précision RNAV(GNSS) avec configuration en 'T' ou en 'Y' est fondée sur un segment final aligné sur la piste, en aval d'un segment intermédiaire, et de segments initiaux pouvant aller jusqu'à un nombre de trois, disposés de part et d'autre du prolongement de la trajectoire d'approche finale, pour constituer un T ou Y ou une fraction d'une de ces deux configurations. (Voir Figure 4.12 et Figure 4.13)

#### **4.4.3.2. Région d'interception**

La configuration en 'T' ou en 'Y' permet une entrée directe dans la procédure en provenance de toute direction, à condition que l'entrée se fasse de l'intérieur de la région d'interception liée à l'IAF. Une région d'interception est définie comme un angle basé sur l'IAF. (Voir Figure 4.12 et Figure 4.13)

Les segments latéraux d'approche initiale sont fondés sur des différences de trajectoire de  $70^\circ$  à  $90^\circ$  par rapport à la trajectoire du segment intermédiaire. Cette configuration assure que l'entrée depuis l'intérieur d'une région d'interception ne nécessite pas un changement de trajectoire à l'IAF supérieur à  $110^\circ$ .

La configuration type prévoit trois IAF et trois aires de TAA associées : entrée centrale, base gauche et base droite.

Une approche en 'T' est composée de trois segments d'approche initiale débutant à l'IAF et aboutissant à l'IF : un segment central et deux segments latéraux perpendiculaires au segment d'approche intermédiaire. Quant à une approche en 'Y', les segments initiaux latéraux forment un angle de  $70^\circ$  avec le segment intermédiaire.

Le segment initial central peut commencer à l'IF.

Lorsque la procédure comporte un seul IAF décalé ou n'en comporte aucun, il ne peut y avoir d'entrée directe à partir de toutes les directions. Dans de tels cas, un circuit d'attente peut être prévu à l'IAF pour permettre une entrée dans la procédure.

Des altitudes/hauteurs d'arrivée en région terminale (TAA/H) peuvent être fournies pour faciliter la descente et l'entrée dans la procédure. **(Voir § 4.4.6)**

L'IAF, l'IF et le FAF sont définis par des points de cheminement par le travers. Le segment d'approche interrompue commence avec un point de cheminement à survoler (MAPT) et finit conformément aux critères généraux. Pour les approches interrompues avec virage, un repère de virage d'approche interrompue (TP) peut aussi être établi pour définir le point de virage.

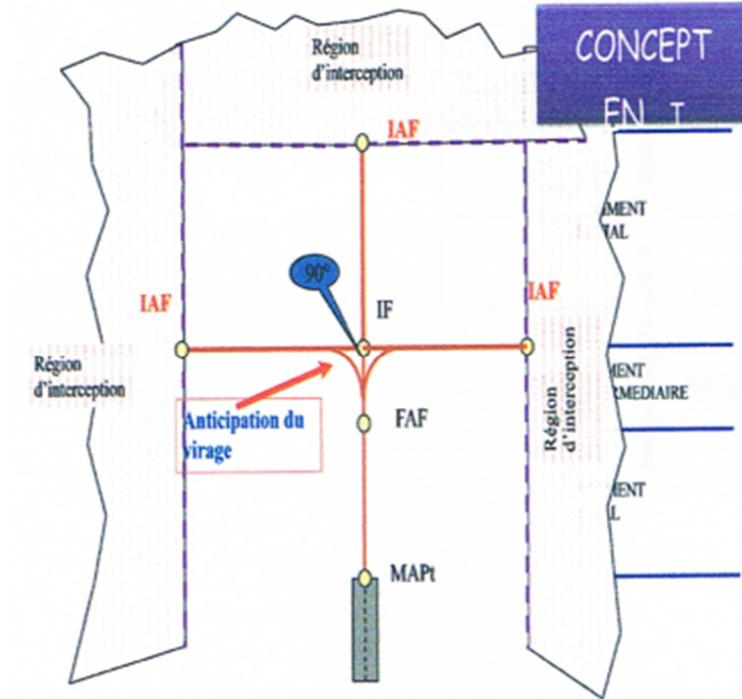


Figure 4.12 : Configuration générale des procédures d'approche RNAV(GNSS) en T [6]

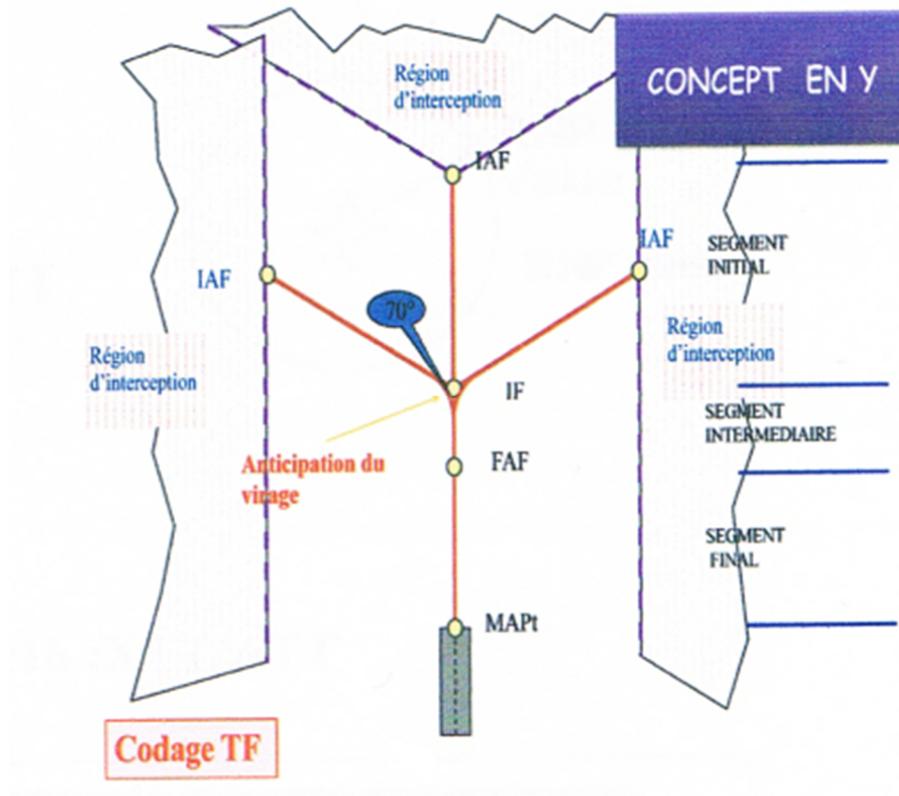


Figure 4.13 : Configuration générale des procédures d'approche RNAV(GNSS) en Y [6]

#### **4.4.4. Attente protégée RNAV/GNSS**

Différentes attentes RNAV/GNSS peuvent être publiées comme suit:

- Attente pour les systèmes disposant de la fonction attente ;
- Attente pour les systèmes ne disposant pas de la fonction attente.

##### ✓ **Systèmes disposant de la fonction attente :**

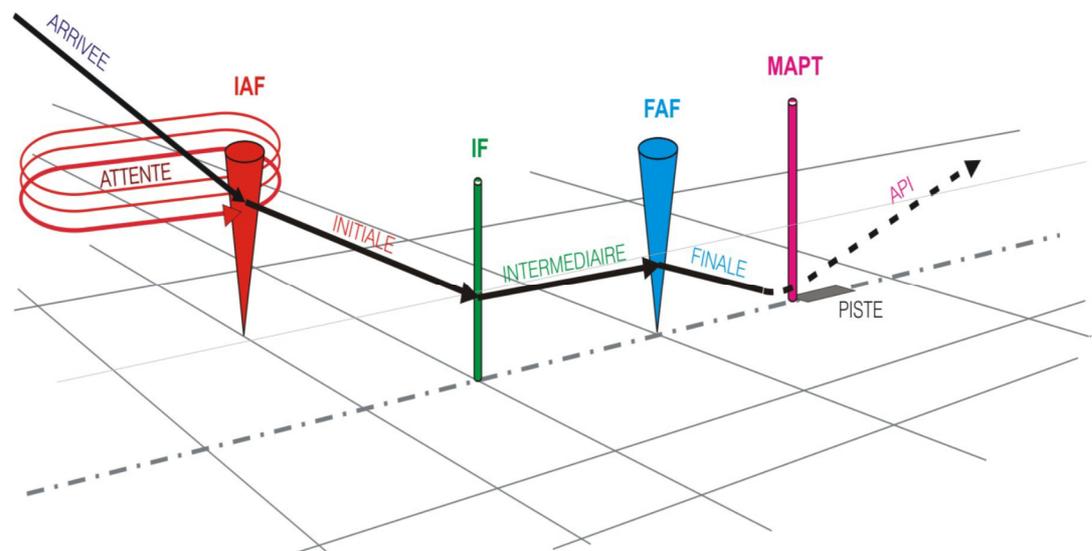
Toutes les attentes publiées peuvent être réalisées à l'aide de cette fonction. Elles sont codées et intégrées dans les bases de données des systèmes de navigation ;

##### ✓ **Systèmes ne disposant pas de la fonction attente :**

Ces attentes peuvent être réalisées manuellement, sauf publication d'une mention spéciale (fonction attente requise) sur la carte d'approche. Elles ne sont pas intégrées dans les bases de données des systèmes de navigation.

Elles peuvent être exécutées manuellement à l'aide des fonctions de base des systèmes RNAV(GNSS) [26].

#### **4.4.5. Les différents segments d'une procédure d'approche RNAV /GNSS en 'T' ou en 'Y'**



**Figure 4.14 :** Les différents segments d'une procédure d'approche aux instruments [10]

#### **4.4.5.1. Segment d'arrivée**

Le Segment d'arrivée est la transition entre la croisière et l'approche. L'arrivée permet à l'aéronef de rallier l'IAF.

Selon le cas, elle peut s'effectuer suivant une trajectoire normalisée appelée STAR ou en utilisant les altitudes minimales de secteur publiées (MSA ou TAA).

- Fin : IAF.

#### **4.4.5.2. Segment d'approche initiale**

Le segment d'approche initiale permet de se placer sur l'axe de percée.

- Début : IAF ;
- Fin : IF.

##### **4.4.5.2.1. Alignement**

Les repères (points de cheminement) IAF sont décalés et placés de telle manière à ce que l'aéronef effectue un changement de trajectoire de 70° pour la configuration 'Y' ou 90° pour la configuration 'T' pour intercepter le prochain repère (IF).

La région d'entrée dans la procédure (ou région d'interception) pour les aéronefs pour intercepter les trajectoires en rapprochement vers l'IAF décalé est omnidirectionnelle.

En effet, elle couvre 180° de part et d'autre des repères IAF, cela permet à aéronef d'avoir une entrée directe lorsque le changement de trajectoire pour intercepter le prochain repère IF est de 70° ou plus. **(Voir Figure 4.12 et Figure 4.13)**

Le repère IAF qui se trouve au centre de la procédure est normalement aligné sur le segment intermédiaire (IF).

Sa région d'interception (entrée dans la procédure) est de 70 à 90° de chaque côté de la trajectoire du segment initial central; les limites de cette région d'interception sont parallèles aux segments d'approche initiale qui correspondent aux IAF décalés (IAF se trouvant de chaque côté de la trajectoire du segment initial central). **(Voir Figure 4.12 et Figure 4.13)**

Pour des virages supérieurs à 110° pour rejoindre le repère IAF, il conviendrait d'effectuer des entrées par le secteur 1 ou le secteur 2 (correspondant à 'entrée directe').

**(Voir Figure 4.16)**

#### **4.4.5.2.2. Longueur**

Les segments d'approche initiale n'ont pas de longueur maximale. La longueur optimale est de 9,3 km (5,0 NM) [Pour la catégorie d'aéronef 'H', la longueur optimale est de 5,5 km (3,0 NM)]. La longueur minimale du segment ne sera pas inférieure à la distance requise pour la vitesse la plus élevée d'approche initiale.

#### **4.4.5.2.3. Pente de descente**

La pente de descente optimale est de 4 % (Pour la catégorie d'aéronef 'H', La pente de descente optimale est de 6,5 %). Lorsqu'une pente supérieure est nécessaire pour éviter des obstacles, le maximum admissible est de 8 % (Pour la catégorie d'aéronef 'H', La pente de descente maximum admissible est de 10 %).

La pente de descente est basée sur la distance de trajectoire (TRD) la plus courte possible pour la catégorie d'aéronefs les plus rapides, et non sur la longueur du segment.

#### **4.4.5.2.4. Calcul de la distance de trajectoire (TRD)**

La TRD (distance de trajectoire correspondant à la couleur bleu claire dans la **Figure 4.15**) entre deux points de cheminement par le travers « Fly by » est définie comme étant la longueur du segment 'D', réduite de la distance minimale de stabilisation 'MSD' aux deux virages (à l'IAF et l'IF (correspondant à la couleur vert dans la **Figure 4.15**)), et augmentée de la distance parcourue dans le virage depuis le travers du point de cheminement « Fly by » jusqu'au point de tangence (correspondant à la couleur rose dans la **Figure 4.15** ).

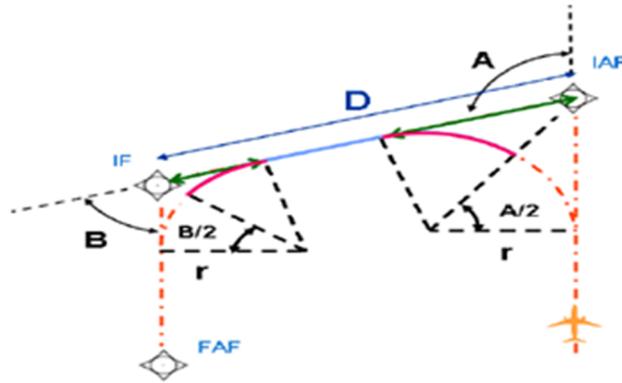
$$\text{TRD} = \text{longueur du segment} - r (\text{tg } \theta_1/2 + \text{tg } \theta_2/2) + \pi r (\theta_1 + \theta_2)/360$$

Où :

$\theta_1$  = angle de virage (en degrés) au début du segment ;

$\theta_2$  = angle de virage (en degrés) à la fin du segment ;

$r$  = rayon de virage pour une inclinaison latérale de  $25^\circ$ .



**Figure 4.15** : Calcul de la distance de trajectoire (TRD) [1]

#### **4.4.5.2.5. Segments d'approche initiale les plus courts**

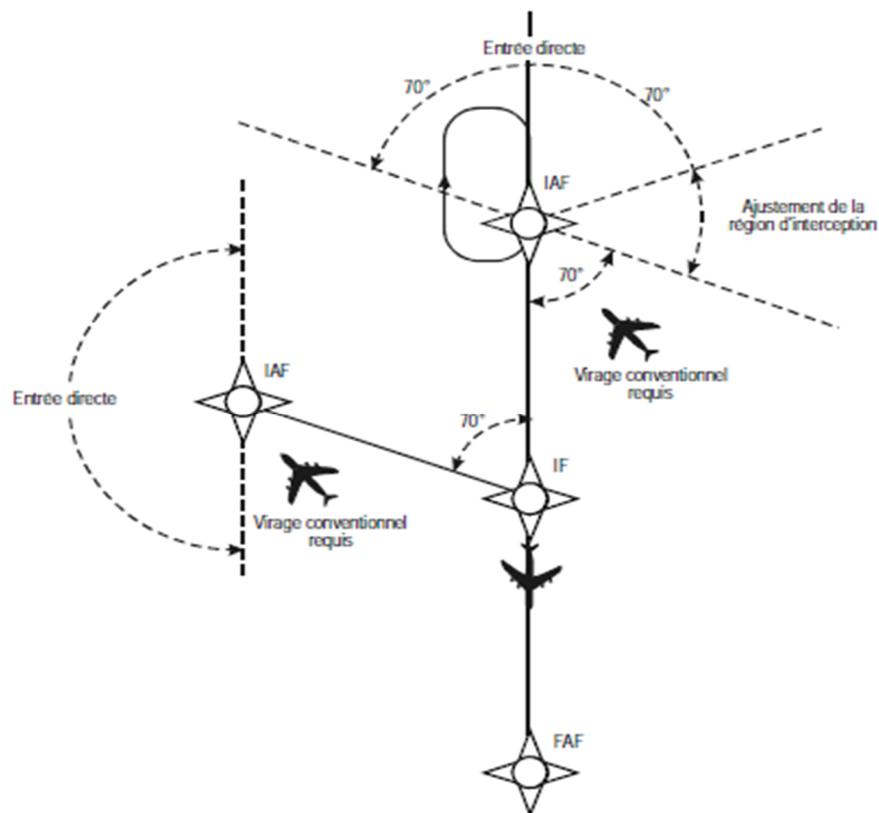
Pour les segments d'approche initiale IAF décalés (se trouvant sur les cotés), la distance de trajectoire TRD la plus courte possible s'obtient lorsque l'aéronef effectue un virage de  $110^\circ$  à l'IAF et un virage de  $70^\circ$  à l'IF dans le cas d'une procédure en Y, et lorsqu'un virage de  $90^\circ$  est effectué soit au repère de l'IAF soit à l'IF et cela dans le cas d'une procédure en T. Et dans le cas d'un segment d'approche initiale central, la distance de trajectoire TRD la plus courte possible s'obtient lorsqu'un virage de  $90^\circ$  est effectué à l'IAF.

#### **4.4.5.2.6 Altitude d'entrée dans la procédure**

L'entrée dans la procédure s'effectue à l'altitude minimale de secteur à 46 km (25 NM) ou à l'altitude d'arrivée en région terminale. Lorsque le point de cheminement d'approche initiale fait partie d'une route aérienne, l'entrée dans la procédure devrait s'effectuer à l'altitude minimale en route applicable au segment de route.

#### 4.4.5.2.7. Procédures d'inversion

Lorsque les trois tronçons de segment initial sont mis en œuvre, aucune procédure d'inversion n'est nécessaire. Si l'un des tronçons n'est pas mis en œuvre, un circuit en hippodrome peut être prévu soit à un autre soit aux deux autres IAF. Si le tronçon d'IAF central est un des tronçons restants, sa région d'interception est ajustée pour permettre des entrées normales de secteur dans une procédure d'inversion. (Voir Figure 4.16)



**Figure 4.16 :** Procédures d'inversion lorsque le décalage initial n'est pas prévu [9]

#### 4.4.5.2.8. Attente

Lorsqu'un circuit d'attente est basé sur un IAF, il est, si possible, aligné sur la trajectoire du segment d'approche initiale.

#### 4.4.5.3. Segment d'approche intermédiaire

Le segment d'approche intermédiaire permet de se préparer à l'approche finale.

- Début : IF ;
- Fin : FAF ou FAP (Approche classique ou de précision).

#### **4.4.5.3.1. Alignement**

Le segment d'approche intermédiaire est, si possible, aligné sur le segment d'approche finale. Si un virage au FAF est nécessaire, il n'est pas supérieur à 30°.

#### **4.4.5.3.2. Longueur**

Le segment intermédiaire se compose de deux tronçons : un tronçon en virage par le travers de l'IF suivi d'un tronçon en ligne droite immédiatement avant le FAF. La longueur du tronçon en virage correspond à la distance minimale de stabilisation pour l'angle de virage à l'IF. La longueur minimale du tronçon en ligne droite est de 2 NM pour permettre à l'aéronef de se stabiliser avant le FAF.

#### **4.4.5.3.3. Pente de descente**

Lorsqu'une descente est nécessaire, la pente de descente sera calculée en fonction de la distance de trajectoire la plus courte possible pour la catégorie d'aéronefs, et non en fonction de la longueur du segment. **(Pour le calcul de la TRD voir § 4.4.5.2.4)**

Lorsqu'un changement de trajectoire survient au FAF, la réduction de la distance de trajectoire peut ne pas être prise en compte car la différence est négligeable (angle maximum de virage de 30°).

#### **4.4.5.4. Segment d'approche finale**

La descente en vue de l'atterrissage.

- Début : FAF ou FAP ;
- Fin : MAPT ou DH.

#### **4.4.5.4.1. Alignement**

L'alignement optimal du segment d'approche finale est l'axe de piste. Si cet alignement n'est pas possible, les critères généraux s'appliquent.

#### **4.4.5.4.2. Longueur**

La longueur optimale du segment d'approche finale est de 9,3 km (5,0 NM) [Pour la catégorie d'aéronef 'H', la longueur optimale est de 3,7 km (2,0 NM)].

#### **4.4.5.4.3. Pente de descente**

La pente maximale de descente correspond à une descente de 5.2%.

#### **4.4.5.5. Segment d'approche interrompue**

Le segment d'approche interrompue est utilisé lorsqu'il s'avère impossible de poursuivre l'approche.

- Début : MAPT ou DH ;
- Fin : approche initiale, départ ou en route.

#### **4.4.5.5.1. Point d'approche interrompue**

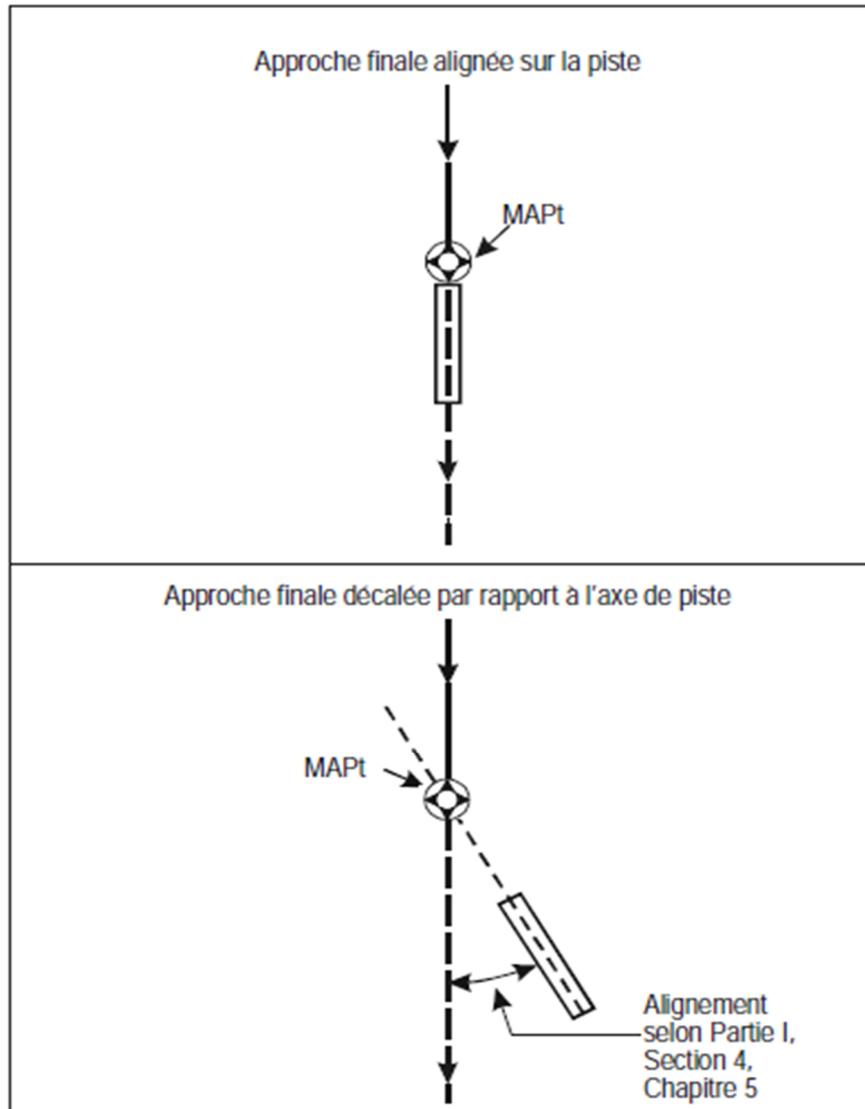
Le point d'approche interrompue est défini par un point de cheminement à survoler « Fly over ».

#### **4.4.5.5.2. Emplacement du MAPt**

Pour une approche alignée sur la piste, le point d'approche interrompue sera situé au seuil ou avant le seuil.

Lorsque le segment final n'est pas aligné sur l'axe de piste, l'emplacement optimal est l'intersection de la trajectoire d'approche finale et du prolongement de l'axe de piste (**voir Figure 4.17**).

Pour assurer le franchissement des obstacles dans l'aire d'approche interrompue, le MAPt peut être placé plus près du FAF mais pas plus loin que nécessaire et pas au-delà du point où l'OCH coupe la trajectoire d'une pente de descente nominale de 5,2 % /3° vers la piste.



**Figure 4.17 : Emplacement du MAPt[9]**

#### **4.4.6. Altitude /hauteur d'arrivée en région terminale (TAA/TAH)**

##### **4.4.6.1. Généralités**

Un aéronef à l'arrivée exécutant une approche RNAV/GNSS suit en principe une trajectoire passant par un IAF. Une fois l'IAF sélectionné comme point de cheminement

dans le récepteur GNSS, des informations de distance et/ou d'azimut par rapport à cet IAF seront disponibles.

Une aire de protection est définie par rapport à l'IAF et publiée sur le volet de procédure. A cette aire de protection est associée une altitude (minimale de sécurité) d'arrivée en région terminale (TAA).

La TAA est définie par l'altitude la plus basse qui assurera une MFO de 1000 Ft au-dessus de tous les objets situés à l'intérieur d'un arc de cercle défini par un rayon de 25 NM centré sur l'IAF, ou à défaut d'IAF, sur l'IF, et délimité par des droites joignant les extrémités de l'arc à l'IF. Combinées, les TAA associées à une procédure d'approche forment un cercle autour de l'IF.

Des altitudes/hauteurs minimales d'arrivée en région terminale (TAA/TAH) sont normalement fixées pour chaque aéroport où des procédures d'approche RNAV fondées sur la configuration en 'T' ou en 'Y' décrite ci-dessus ont été établies ; cependant une altitude minimale de secteur (MSA/H) peut être établie au lieu d'une TAA/H si elle s'avère plus appropriée.

Les points de référence d'une aire de TAA/H sont le repère d'approche initiale et/ou le repère d'approche intermédiaire et lors de la publication, elle remplace la représentation de la MSA sur la carte d'approche.

Le principal avantage de la TAA, en comparaison avec la MSA, est qu'elle permet, à l'intérieur de ses zones divisées, des arcs de descente par paliers en fonction des distances RNAV. Cela permet à l'aéronef de descendre à des altitudes minimales inférieures tout en continuant d'assurer une marge minimale de franchissement de 1 000 ft au-dessus de tous les obstacles.

#### **4.4.6.2. Construction**

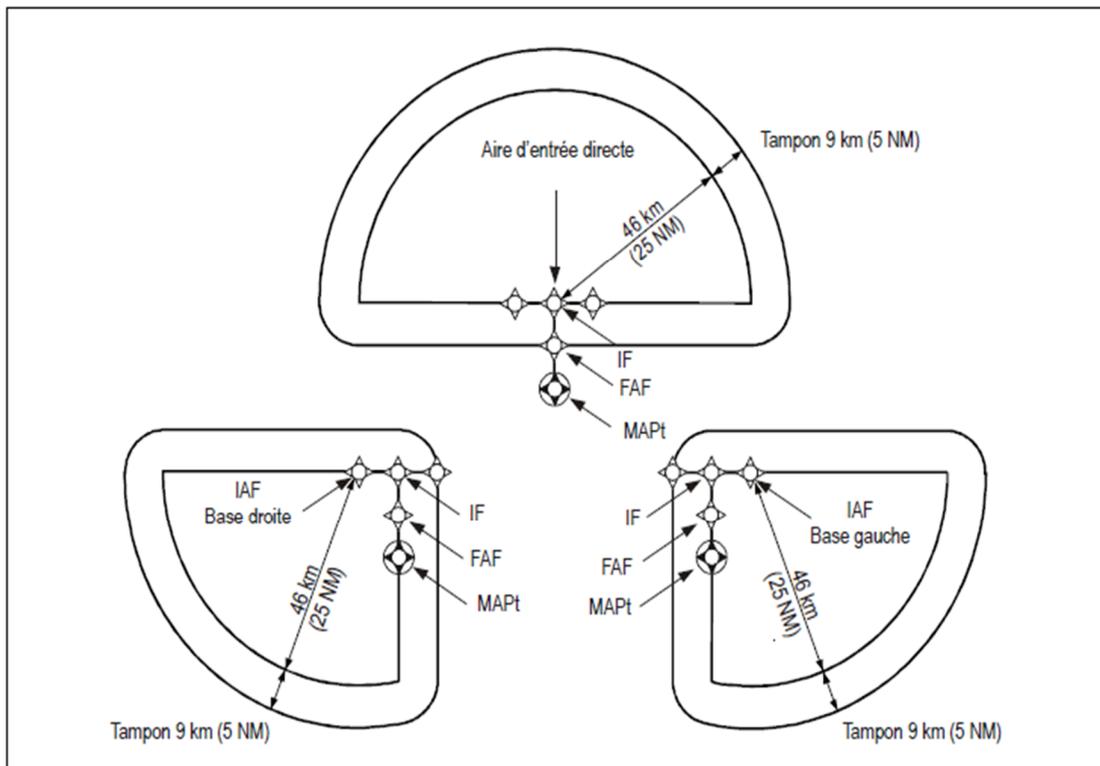
La configuration type prévoit trois aires de TAA/H : entrée directe, base gauche et base droite.

Les limites latérales d'une aire de TAA/H sont définies par le prolongement des segments initiaux de base gauche et droit.

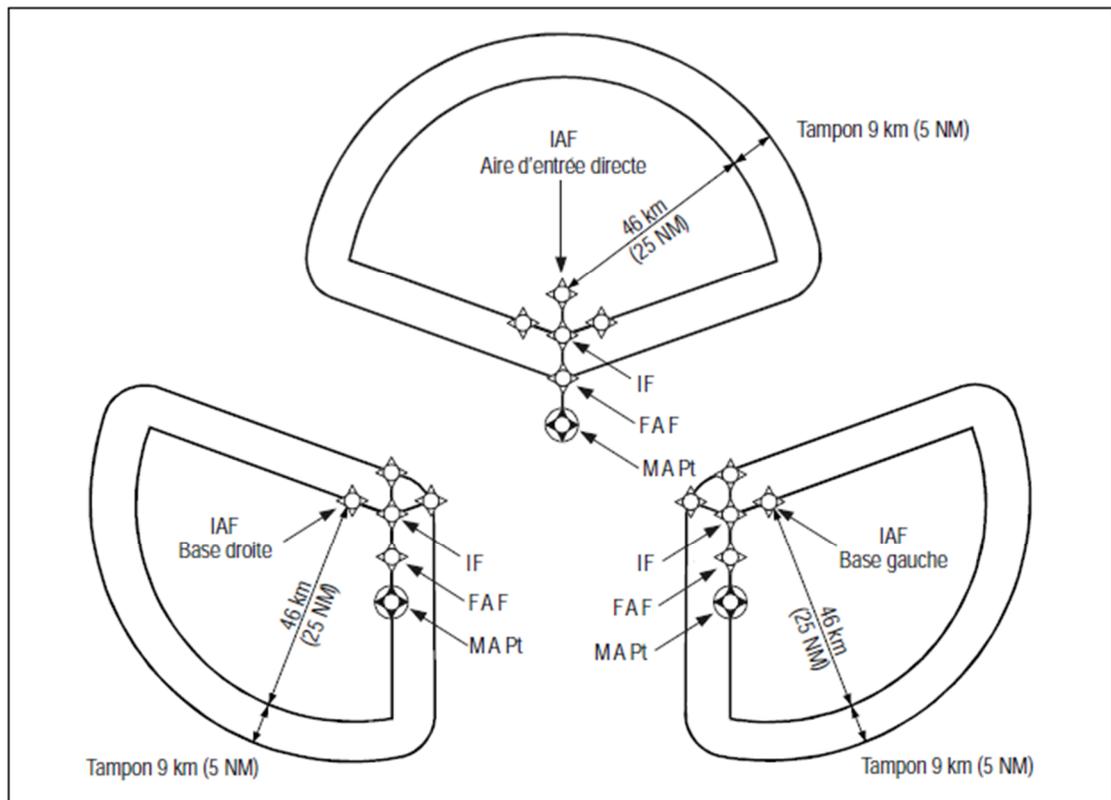
Les limites extérieures sont définies par des arcs de 25 NM de rayon centrés sur chacun des trois IAF ou sur les IAF des deux aires de base et l'IF s'il n'y a pas de segment initial central. (Voir Figure 4.18 et Figure 4.19)

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 ;
- éventuellement une sectorisation (sous-secteurs et arcs de palier de descente).



**Figure 4.18 : Configuration de TAA en T[9]**



**Figure 4.19 :** Configuration de TAA en Y [9]

Une aire de TAA a deux finalités :

- ✓ elle protège l'arrivée vis à vis des obstacles et du relief,
- ✓ elle définit un secteur d'entrée permettant à l'aéronef d'amorcer la procédure d'approche associée à l'IAF sans besoin d'effectuer de virage conventionnel dès lors que l'angle de virage à l'IAF n'excède pas  $110^\circ$  (dans la plupart des cas).

Dans le cas particulier où la trajectoire de rejointe de l'IAF formerait un angle de plus de  $110^\circ$  avec le segment suivant, il appartient à l'aéronef soit de se décaler pour une entrée directe soit de procéder à un virage de raccordement au segment suivant en utilisant la procédure d'inversion ou en hippodrome publiée.

#### **4.4.6.3. Zone tampon**

Chaque aire de TAA est entourée d'une zone tampon de 9 km (5 NM). Si des obstacles situés dans la zone tampon sont plus élevés que l'obstacle le plus élevé à l'intérieur de l'aire de TAA, l'altitude minimale sera calculée à partir de l'altitude la plus élevée dans la zone tampon, avec addition d'une marge d'au moins 300 m (1 000 ft), la valeur ainsi obtenue étant arrondie au multiple de 50 m ou de 100 ft le plus proche.

#### **4.4.6.4. Détermination de l'altitude/hauteur minimale d'arrivée en région terminale**

Chaque altitude/hauteur minimale d'arrivée en région terminale est calculée en appliquant une marge de franchissement d'obstacles d'au moins 300 m aux obstacles situés dans l'aire considérée, ainsi que dans une zone tampon de 5 NM de large, l'entourant complètement et en arrondissant le résultat par excès au multiple de 100 ft le plus proche.

Pour les vols au-dessus d'une région montagneuse, la marge minimale de franchissement d'obstacles est augmentée d'une valeur pouvant atteindre 300 m.

Si la différence entre des TAA/H adjacentes est inférieure à 300 ft, une altitude minimale applicable à l'ensemble des aires de TAA/H peut être fixée.

Une altitude/hauteur minimale d'arrivée en région terminale s'applique dans un rayon de 25 NM des points de cheminement RNAV sur lesquels elle est fondée.

#### **4.4.6.5. Arcs de palier de descente de TAA/H et sous-secteurs**

Pour tenir compte de la diversité du relief ou de contraintes opérationnelles, ou pour éviter des pentes de descente excessives, on peut ajouter une limite circulaire, ou «arc de palier de descente», divisant l'aire de TAA/H en deux, l'altitude la moins élevée se trouvant dans la partie intérieure de l'aire.

Il ne peut y avoir qu'un seul arc de palier de descente par aire de TAA/H. Un arc de palier de descente est choisi de préférence entre 10 NM et 25 NM du repère sur lequel il est centré, afin d'éviter l'emploi d'un sous secteur de dimensions trop réduites.

De plus, l'aire de TAA/H pour une approche directe peut être divisée en deux sous-secteurs radiaux.

La dimension minimale de tout sous-secteur d'aire de TAA/H pour une approche en ligne droite qui contient aussi un arc de palier de descente n'est pas inférieure à 45° d'arc.

La dimension minimale de tout sous-secteur d'aire de TAA/H pour une approche en ligne droite qui ne contient pas d'arc de palier de descente n'est pas inférieure à 30° d'arc. Les aires de base gauche et droite de TAA ne peuvent avoir que des arcs de palier de descente et ne sont pas divisées de plus en sous-secteurs radiaux.

La largeur de la zone tampon entre arcs de palier de descente et sous-secteurs adjacents est de 5 NM.

➤ **Remarque**

Les TAA seront représentées sur la vue en plan des cartes d'approche par des « icones » indiquant le point de référence de TAA (IAF ou IF), le rayon par rapport au point de référence et les orientations des limites de TAA. Sur la vue en plan, l'icône de chaque aire de TAA sera placée et orientée par rapport à la direction d'arrivée à la procédure d'approche, et il indiquera toutes les altitudes minimales de TAA et tous les arcs de palier de descente de l'aire en question.

**4.4.7. Conclusion**

La navigation aérienne basée sur les repères visuels et les procédures avec des aides de navigation conventionnelles (VOR, NDB,...) présente certains inconvénients dont [25]:

- Les erreurs de position des aéronefs de plusieurs milles ;
- Les écarts latéraux ;
- Le temps exact de survol.

Ces contraintes font appel au développement de la technologie des nouvelles procédures RNAV(GNSS) qui ont démontré leurs qualités et précisions en termes de performances.

## CHAPITRE 5

### CONSTRUCTION DE LA PROCEDURE D'APPROCHE RNAV(GNSS) POUR L'AERODROME DE HASSI MESSAOUD

#### **5.1. Introduction**

Ce chapitre sera axé sur l'élaboration d'une procédure d'approche RNAV(GNSS) configuration en 'Y' pour l'aérodrome de Hassi Messaoud piste 18, objet du thème de ce mémoire de fin d'études.

Cette configuration permet à l'aéronef d'avoir une entrée directe dans une procédure d'approche RNAV(GNSS) quelle que soit la trajectoire d'arrivée. Elle se traduit par l'apport d'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.

Le présent chapitre sera subdivisé selon les trois (03) sections, désignées et intitulées comme suit:

- **La section I :** Présentation de l'aérodrome de Hassi Messaoud et analyse de la situation actuelle ;
- **La section II :** Projet d'élaboration d'une procédure RNAV (GNSS) pour l'aérodrome de Hassi-Messaoud configuration en 'Y' ;
- **La section III :** Informatisation de la procédure.

## ***Section I :***

*Présentation de l'aérodrome de  
Hassi Messaoud*

## **5.2. Présentation de l'aérodrome**

L'aéroport de Hassi Messaoud est un aéroport civil, international, desservant la ville de Hassi Messaoud, au centre de la Wilaya d'Ouargla, et principalement la zone pétrolière d'Hassi Messaoud. Cet aéroport est géré par l'EGSA d'Alger.

## **5.3. Description de l'aérodrome de Hassi Messouad**

### **5.3.1. Situation géographique de l'aérodrome**

L'aérodrome de Hassi Messouad est situé dans un espace aérien de catégorie D.

Les données suivantes (5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 et 5.14) sont figurées dans l'AIP Algérie partie aérodrome [27]).

- **Nom de l'aérodrome** : HASSI MESSAOUD/ Oued Irara-Krim Belkacem ;
- **Identification de l'aérodrome** : DAUH ;
- **Emplacement de l'aérodrome** : 5NM au Sud Est de la ville ;
- **Coordonnées géographiques du point de référence de l'aérodrome** : 31°40'26'' N 006° 08'26'' E Intersection RWY avec TWY D ;
- **Altitude de l'aérodrome** : 140mètres ;
- **Température de référence de l'aérodrome** : 41.8° ;
- **Horaire d'ouverture (ATS)** : H24 ;
- **La déclinaison magnétique** : 0°W ;
- **L'altitude de transition** : 1050 mètres ;
- **Types de trafic autorisés** : IFR/VFR.

### **5.3.2. Caractéristiques dimensionnelles de l'aérodrome**

#### **5.3.2.1. Caractéristiques physiques des pistes**

##### ➤ **Piste 18/36**

- Identification : RWY 18/36
- Orientation vrai : QFU18 : 184°  
QFU 36 : 004°

- Longueur : 3000m
- Largeur : 45m
- Pentes : RWY 18 : + 0,034%  
: RWY 36 : - 0,034%
- Altitude du seuil 18 : 456ft
- Altitude du seuil 36 : 459ft
- Axe de l'approche final : 184°
- Nature de la surface : Béton bitumineux
- Type de surface et force : Béton bitumineux-PCN 70 F/A/X/T  
portante de la chaussée

#### **5.4. Types d'obstacles de l'aérodrome**

##### **5.4.1. Aires d'approche et de décollage**

Les différents obstacles présents sur l'aérodrome de Hassi Messouad pour les aires d'approche et de décollage sont définis dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5.1 : Obstacles d'aires d'approche et de décollage [27]**

<b>Piste</b>	<b>Type d'obstacle</b>	<b>Hauteur</b>	<b>Coordonnées</b>
<b>RWY 18</b>	Antenne DVOR/DME	9 M -ALT: 149 M	31°41'28.9"N006°08'30.9" E
	Antenne LLZ	3 M -ALT :143 M	31°41'21"N 006°08'30"E
	Pylône	10 m	31°41'35"N 006°08'35"E
	Pylône	10 m	31°41'36"N 006°08'35"E
<b>RWY 36</b>	Antenne TELEMETRIE	31 M	31°37'59" N 006°08'25"E
	Antenne NDB	14 M- ALT: 154 M	31°38'56"N 006°08'18"E

#### **5.5. Installation de télécommunication des services de la circulation aérienne**

Les installations de télécommunication des services de la circulation aérienne qui se trouvent sur l'aérodrome de Hassi Messouad sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5.2 : Installation de télécommunication [27]**

Désignation du service	Indicatif d'appel	Fréquences	Heures de fonctionnement	Observations
1	2	3	4	5
TWR	Hassi Messouad Tour	118.1 119.7(s)	H24	-
VDF	Hassi Messouad Gonio	118.1 119.7(s)	H24	-
APP	Hassi Messouad APP	120.0 Mhz	H24	-

### **5.6. Zone de contrôle de Hassi Messouad (CTR)**

L'espace relevant de la responsabilité du contrôle d'Approche de Hassi Messouad est défini comme suit :

- Limites verticales : 450M/GND ;
- Limites latérales : Cercle de 10 NM de rayon centré sur 31°40'26''N 006°08'26''E ;
- Classification de l'espace : D ;
- Indicatif d'appel et langues de l'organe ATS : MESSAOUD Tour, Fr. En.

### **5.7. Moyens d'aide à la navigation**

Les aides de radionavigation et d'atterrissage existant sur l'aérodrome de Hassi Messaoud sont définis dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5.3 : Aides de radionavigation et d'atterrissage [27]**

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 (0°E 2005)	HME	114.7 Mhz CH 94 X	H 24	31°41'28.9"N006°08'30.9"E	149 M	QDR 004°/518M du THR 18.
NDB	HMD	390 Khz	H 24	31°38'56N 006°08'18"E	-	QDR 184°/1175 M du THR 36
LLZ 36/ILS CAT I (0°E 2005)	HM	109.1 Mhz	H 24	31°41'21"N 006°08'30"E	-	QDR 004°/315 M du THR 18.
GP 36 Pente 3°	---	331.4 Mhz	H 24	31°39'45"N 006°08'17"E	-	A 370M du THR36 et 120M à gauche de l'axe de piste.
DME-P	HM	CH 28X	H 24	31°39'45"N 006°08'17"E	-	Co-implanté avec GP 36.

## **5.8. Les procédures existantes**

### **5.8.1. Procédures d'approche aux instruments**

Actuellement, l'aérodrome de Hassi Messaoud dispose de quatre (04) procédures d'approche aux instruments pour les catégories A/B et C/D (**Voir ANNEXE 1**) :

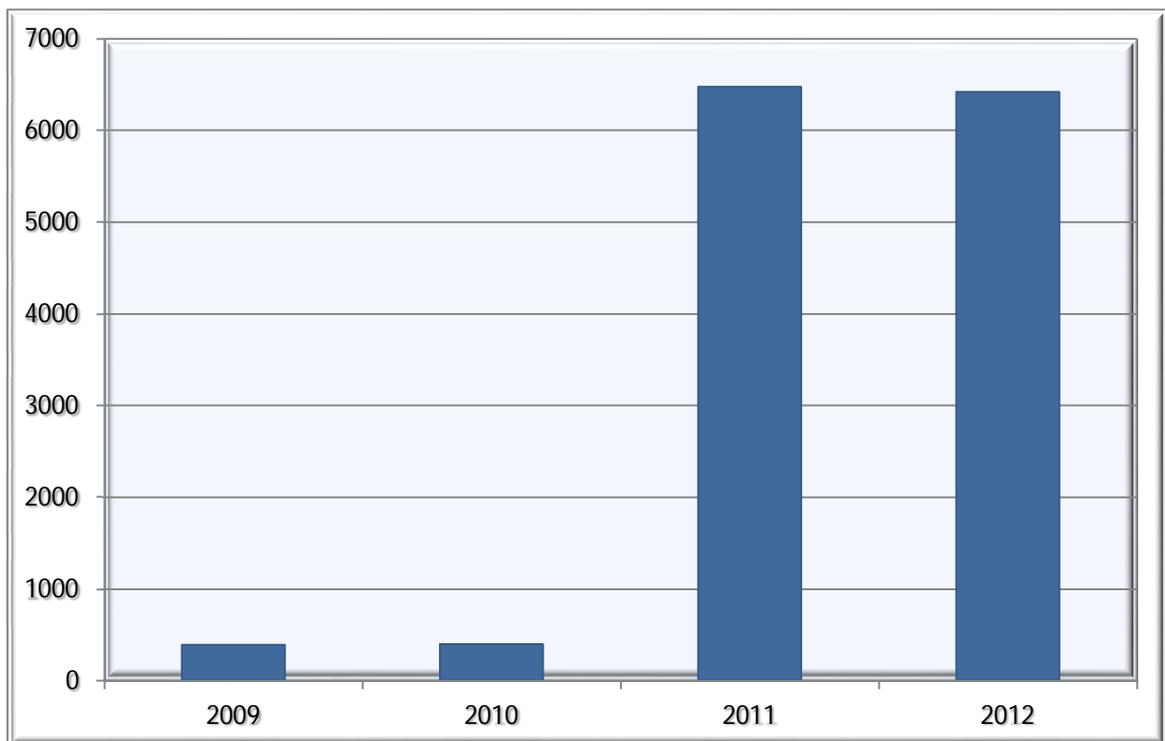
- ✓ Procédure DVOR/DME RWY 36 ;
- ✓ Procédure DVOR/DME/ILS RWY 36 ;
- ✓ Procédure DVOR/DME RWY 18 CAT C/D ;
- ✓ Procédure DVOR/DME RWY 36 CAT A/B.

### **5.9. Le service de contrôle d'approche de Hassi Messaoud**

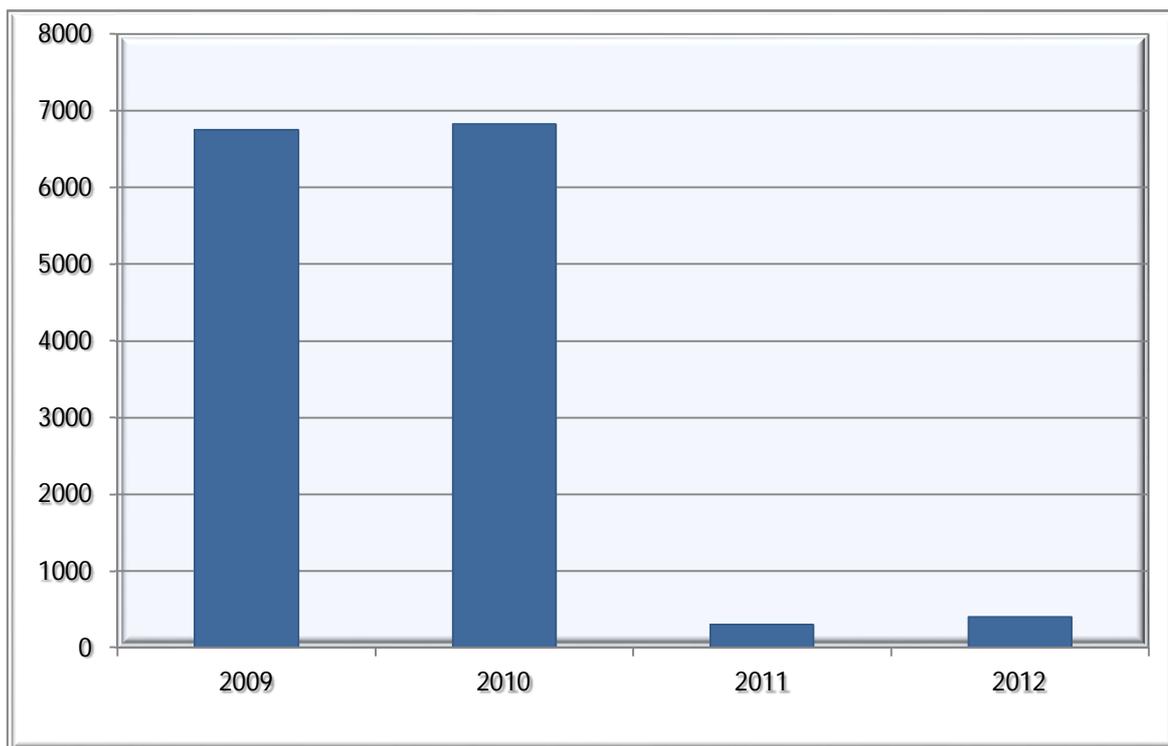
Pour une meilleure gestion et contrôle des trajectoires des aéronefs autour de l'aéroport de Hassi Messaoud qui a une certaine densité de trafic aérien, un service de contrôle d'approche de Hassi Messaoud a été développé dans le but de gérer l'ensemble du trafic à l'arrivée et au départ de cet aérodrome. Le contrôle d'approche est localisé dans la tour de contrôle.

### **5.10. Etude de la densité de trafic**

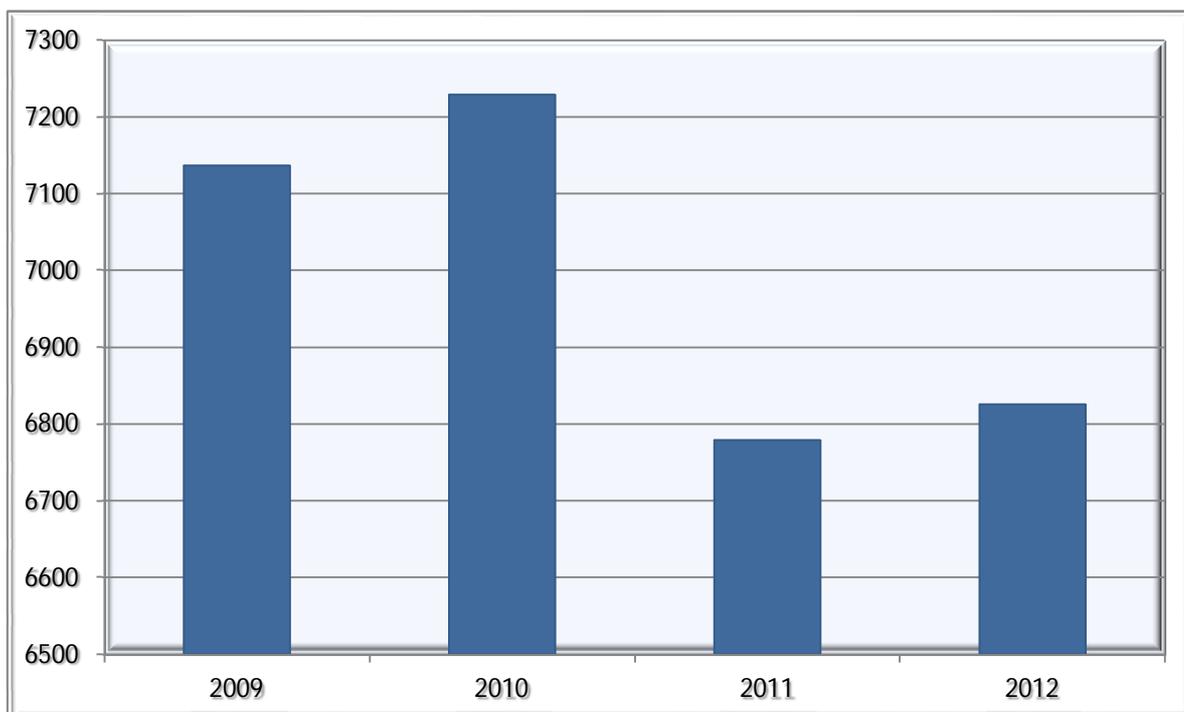
L'étude a été effectuée sur la base d'un fichier de trafic aérien fourni par le service des statistiques au sein de l'ENNA pour les années 2009, 2010, 2011 et 2012.



**Graph 5.1:** Le taux de flux annuel de trafic international des années 2009-2012



**Graphe 5.2:** Le taux de flux annuel de trafic national des années 2009-2012



**Graphe 5.3:** Le taux de flux annuel de trafic commercial des années 2009-2012

➤ **Interprétation des résultats obtenus**

D'après les statistiques faites, il a été constaté que le taux de trafic international pour les années 2009 et 2010 été très réduit. Ce flux a sensiblement augmenté au cours des années 2011 et 2012 et a dépassé les 6400 vols.

A l'inverse, le flux international a augmenté au cours des années 2009 et 2010 et a considérablement diminué en 2011 et 2012.

Pour le trafic commercial, le taux de trafic annuel des années 2009, 2010, 2011 et 2012 est moyennement proche, mais il a été enregistré qu'en 2011 et 2012 le taux de trafic a sensiblement diminué et a atteint les 6826 vols.

## ***Section II :***

*Elaboration de la procédure  
RNAV(GNSS) configuration en ‘Y’*

### **5.11. Introduction**

Une application des critères de conception des procédures d'approche de non précision RNAV(GNSS) avec configuration en 'T' ou en 'Y' figurant au chapitre 4 est nécessaire afin d'exposer les différentes propositions de solutions à la problématique définie dans la partie hypothèse et de dégager ainsi les principaux avantages dus à leur utilisation sur l'aérodrome de Hassi Messaoud.

### **5.12. Hypothèse**

L'aérodrome de Hassi Messaoud dispose d'une piste (18/36) d'une longueur de 3000m, où la piste 36 est utilisée actuellement et basée sur le moyen de radionavigation au sol VOR/DME.

La nouvelle procédure d'approche reposera sur le GNSS de base et sera élaborée sur la piste 18 muni du moyen de radionavigation VOR/DME pour permettre de raccorder une procédure conventionnelle au moyen d'un segment GNSS et cela pour atteindre les objectifs opérationnels.

Cette procédure est supposée rendre accessible directement le contre QFU de la piste 18 équipée d'un seul ILS.

Ce choix ainsi proposé vise à réduire la forte densité de trafic sur la piste 36, et ce d'après l'analyse des statistiques du taux de flux annuel de trafic national, international et commercial (**voir Section1 §5.10**). La piste 36 est également caractérisée 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 de prendre en considération la zone dangereuse DAP 60 que l'aéronef doit contourner. Cette zone se trouve à 27 NM du moyen VOR /DME [27].

### **5.13. Choix du type de procédure**

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

Ces repères seront déterminés sous formes de points de cheminement définis par une latitude et une longitude en degrés, à une précision minimum d'un centième de seconde d'arc ou une précision équivalente [8].

Dans la procédure RNAV(GNSS) sur visée, neuf (09) points de cheminement au maximum seront utilisés depuis le segment d'approche initiale jusqu'au point de l'approche interrompue.

## **5.14. Analyse des données**

### **5.14.1 Infrastructure**

#### **5.14.1.1 Aéroport**

- Identification de l'aéroport : HASSI MESSAOUD/Oued Irara-Krim Belkacem
- Coordonnées de l'ARP : 31°40'26''N 006°08'26''E
- Déclinaison magnétique : 0°E (2005)
- Altitude de l'aéroport : 459ft
- Référence altimétrique : THR

#### **5.14.1.2. Pistes**

##### ➤ **QFU 18**

- Identification : RWY 18
- Coordonnées du THR : 31°39'33.47''N 006°08'21.13''E
- Altitude du THR : 456ft
- Longueur du prolongement d'arrêt : 3000m
- Longueur du prolongement dégagé : 3000m

#### **5.14.1.3. Moyens d'aide à la navigation**

##### ➤ **DVOR/DME**

- Identification : HME
- Coordonnées : 31°41'28.9''N 006°08'30.9''E
- Altitude : 489ft
- Position / Seuil 18 : 9m en aval du seuil 18

➤ **LLZ 36/ILS**

- Identification : HM
- Coordonnées : 31°41'21''N 006°08'30''E
- Altitude : 469ft
- Position / Seuil 18 : 3m en aval du seuil 18

**5.14.1.4. Environnement aéronautique**

➤ **Espaces Aériens**

Espace aérien à statut particulier, se compose d'une zone dangereuse DA – P60 OUARGLA, avec un cercle de 27 NM de rayon centré sur: 31°55'47''N 005°24'00''E à l'exception de l'axe TGU/ MSD :

- Activation : H24
- Limites latérales : Cercle de 10 NM de rayon centré sur 31°40'26''N 006° 08' 26''E
- Limites verticales : 450M / GND

**5.14.2. Suppositions**

- Réglementation : Doc 8168-OPS/611
- Catégories aéronefs : D
- Vent : 2h+47
- Température : ISA+30°
- Végétation : 0m

**5.15. MSA**

- MSA basée sur : VOR /DME
- Rayon de protection : 30 NM

### 5.15.1. MFO applicable

Altitude du relief	MFO
Inférieure à 900m	300 m
Entre 900m et 1500m	450 m
Supérieure à 1500m	600 m

### 5.15.2. Obstacles

#### ✓ Secteur 1

- Altitude obstacle pénalisant : 202 m (662ft)
- MFO : 300 m
- Végétation : nul
- Total : 502m≈**550m**

#### ✓ Secteur 2

- Altitude obstacle pénalisant : 242 m (793ft)
- MFO : 300 m
- Végétation : nul
- Total : 542m≈**550m**

#### ✓ Secteur 3

- Altitude obstacle pénalisant : 239 m (784ft)
- MFO : 300 m
- Végétation : nul
- Total : 539m≈**550m**

#### ✓ Secteur 4

- Altitude obstacle pénalisant : 216 m (784ft)
- MFO : 300 m
- Végétation : nul
- Total : 516m≈**550m**

Donc :

**Altitude Minimale=550m (1850ft)**

### 5.15.3. Sectorisation

**Tableau 5.4:** Les altitudes minimales de secteur

Secteur	Orientation des secteurs (QDM)	Altitude obstacle	MFO	Végétation	Altitude minimale de secteur
<b>1</b>	180°/270°	202 m (662ft)	300 m	0	<b>550m</b>
<b>2</b>	270°/360	242 m (793ft)	300 m	0	<b>550m</b>
<b>3</b>	360°/090	239 m (784ft)	300 m	0	<b>550m</b>
<b>4</b>	090°/180	216 m (784ft)	300 m	0	<b>550m</b>

#### Note:

Le choix de nombre des secteurs est basé sur l'emplacement des obstacles les plus pénalisants. A cet effet, on a choisi un seul secteur :

- ✓ Secteur 1 : l'Obstacle le plus élevé se trouve à **550m (1850ft)**.

Les altitudes minimales de franchissement d'obstacles sont arrondies aux 50m et 100ft supérieurs.

## 5.16. Construction des segments de la procédure

### 5.16.1. Ordre de l'étude

La procédure d'approche de non précision que nous allons élaborer se subdivise des segments suivants :

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

#### **5.16.1.1. Segment d'approche final**

C'est un segment de descente en vue de l'atterrissage.

- Début : FAF ;
- Fin : MAPT.

- Vérification des taux de descente :

Altitude à perdre :  $1650 - 459 - 50 = \mathbf{1141ft}$

Où :

1650ft : l'altitude minimal du segment précédent (intermédiaire) ;

459ft : l'altitude de l'aérodrome ;

50ft : la valeur de MFO que l'aéronef doit atteindre et maintenir lors de l'approche finale.

- Tolérances [1]:

	FAF	MAPT
Demi-largeur de l'aire	1.45NM	0.95NM
ATT	0.24NM	0.24NM
XTT	0.3NM	0.3NM

- Longueur : 5NM

- Pente : 5.2%

- Point de cheminement par le travers : Fly-By



- Orientation : 184°

### 5.16.1.1.1. Etude des obstacles

#### ➤ Détermination de l'altitude minimale

Altitude minimale = Max (OCH des aires).

##### ✓ Aire primaire

- Altitude obstacle pénalisant : 141 m
- MFO : 75 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(141+75) = 216$  m
- OCA : **216 m (750ft)**

##### ✓ Aire secondaire

- Altitude obstacle pénalisant : nul
- MFO : 75 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(0+75) = 75$  m
- OCA : **75 m (250ft)**

Alors :

**OCA de l'approche finale = 750ft**

#### ➤ Bilan

- OCA de l'approche final : 750ft
- Altitude du seuil 18 : 456ft
- Altitude de l'aérodrome : 459ft
- $459-456=3\text{ft}$   $0.92\text{m}<2\text{m}$  donc on prend l'altitude de l'aérodrome comme référence.

Donc :  $750-459=291\text{ft}$

**OCH de l'approche finale = 291ft**

### Remarque

Pour le segment finale on détermine l'OCH (phase d'atterrissage donc la hauteur minimale par rapport à notre référence qui est l'altitude de l'aérodrome) ;

Pour les segments initiale, intermédiaire et interrompue on détermine l'OCA (altitude minimale par rapport au niveau moyen de la mer 'MSL').

#### **5.16.1.2. Segment d'approche interrompue**

Segment utilisé lorsqu'il est impossible de poursuivre l'approche.

- Début : MAPT;
- Fin : MATF.

➤ Tolérances [1] :

	MAPT	MATF
Demi largeur de l'aire	0.95NM	2.5NM
ATT	0.24NM	0.8NM
XTT	0.3NM	1NM

➤ Longueur : 6.5NM

➤ Pente : 2.5%

➤ Point de cheminement à survoler : Fly-Over



➤ Orientation : 184°

Le segment d'approche interrompue est constitué de trois (03) phases, à savoir :

- 1) Approche interrompue initiale : du MAPt amont au SOC.
- 2) Approche interrompue intermédiaire :
  - Début : SOC ;
  - Trajectoire en montée à 2.5% (au moins) ;
  - Fin : lorsqu'une MFO de 50ft (15m) est atteinte et maintenue.
- 3) Approche interrompue finale : de l'API intermédiaire jusqu'à ce que l'aéronef soit prêt à recommencer la procédure, de retour dans l'attente ou raccordé à la phase en route.

##### **5.16.1.2.1. Position du SOC**

Le début de montée (SOC) est l'élément de référence utilisé dans le calcul des distances et des pentes pour déterminer les marges de franchissement d'obstacles.

➤ **Calcul de SOC**

C'est la somme entre :

- La tolérance de MAPt ; et
- La distance de transition (X).

**1/ La tolérance de MAPt :**

C'est la somme entre :

- La tolérance du moyen = 0.24 NM (0.4cm);
- Une distance d = 3Sec.

$$\rightarrow VP=249.067KT=249.067NM/H ; t=3Sec ;$$

$$\rightarrow VP=D/t \Rightarrow D=Vp*t= (249.067/3600)*3 =0.20NM/s.$$

$$\rightarrow 0.20*1852*100/100000=0.3704cm.$$

Donc : **d =0.3704cm.**

D'où : la tolérance du MAPt : 0.4+0.37=0.77cm=**0.8cm.**

**2/ La distance de transition 'X' :**

La distance de transition 'X' est basée sur t=15s, basée sur la vitesse d'approche finale la plus élevée (Vi=185kt), à l'altitude de l'aérodrome qui est égale à140m.

➤ **Note**

Echelle : 1/100000

On a :

- Altitude de l'aérodrome : 140m=459.31ft
- Température : ISA+30
- k : 1.05875 (**Voir ANNEXE 4**)
- $Vp=Vi*k$  :  $Vp =185*1.05875=195.87kt$
- Vent arrière : 19km/h (10kt)  $Vp=195.85+10=205.87kt$
- t : 15Sec  $\rightarrow d=Vp*t=(205.87/3600)*15=0.85NM/s \rightarrow$   
 $0.85*1852*100/100000=1.57cm$

Donc : la distance de transition 'X' = **1.57cm.**

Alors :  $SOC=0.8+1.57=2.37\text{cm.}$

Le SOC se trouve à 237 mètres en aval du seuil :

<b>SOC = 237m</b>
-------------------

#### **5.16.1.2.2. Définition du type d'approche interrompue**

L'approche interrompue va être exécutée en ligne droite, car aucun obstacle ne se trouve dans l'aire du segment final d'approche interrompue (terrain dégagé). (Voir ANNEXE 1)

#### **5.16.1.2.3. Détermination de l'altitude minimale**

##### ➤ **OCA de l'API initiale**

###### ✓ **Aire primaire**

- Altitude obstacle pénalisant : nul
- MFO : 300 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(0+300) = 300$  m
- OCA : **300 m (1000ft)**

###### ✓ **Aire secondaire**

- Altitude obstacle pénalisant : 128
- MFO : 300 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(128+300) = 428$  m
- OCA : **428 m (1450ft)**

Donc :

<b>OCA de l'API initiale = 1450ft</b>
---------------------------------------

##### ➤ **OCA de l'API intermédiaire**

###### ✓ **Aire primaire**

- Altitude obstacle pénalisant : nul
- MFO : 300 m

- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(0+300) = 300$  m
- OCA : **300 m (1000ft)**

✓ **Aire secondaire**

- Altitude obstacle pénalisant : 129
- MFO : 300 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(129+300) = 429$  m
- OCA : **429 m (1450ft)**

Donc :

**OCA de l'API intermédiaire = 1450ft**

➤ **OCA de l'API finale**

Terrain dégagé (pas de présence d'obstacles pénalisant à l'intérieure des aires de protection primaire et secondaire).

Alors :

**OCA de l'API finale = OCA de l'API  
intermédiaire = 1450ft**

Donc l'altitude minimale de franchissement d'obstacles de la procédure d'approche interrompue est égale à :

**OCA de l'approche interrompue = 1450ft**

**5.16.1.2.4. Texte de l'API publié**

Monter sur l'axe 184° jusqu'à 430M QFE pour rejoindre le MATF puis suivre les instructions du contrôleur.

**6.6.1.3. Segment intermédiaire**

Segment qui permet de se préparer à l'approche finale.

- Début : IF ;
- Fin : FAF.

➤ Tolérances [1]:

	IF	FAF
Demi-largeur de l'aire	1.45NM	1.45NM
ATT	0.24NM	0.24NM
XTT	0.3NM	0.3NM

➤ Longueur : 5NM

➤ Pente : à plat (nulle)

➤ Point de cheminement par le travers : Fly-By 

➤ Orientation : 184°

#### **5.16.1.3.1. Etude des obstacles**

##### ➤ **Détermination de l'altitude minimale**

###### ✓ **Aire primaire**

- Altitude obstacle pénalisant : 194 m
- MFO : 300 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(194+300) = 494$  m
- OCA : **494 m (1650ft)**

###### ✓ **Aire secondaire**

- Altitude obstacle pénalisant : 150
- MFO : 300 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(150+300) = 450$  m
- OCA : **450 m (1500ft)**

Alors :

**OCA de l'approche interrompue = 1650ft**

#### **5.16.1.4. Segment initiale**

Ce segment permet de se placer sur l'axe de percée.

- Début : IAF ;
- Fin : IF.

Comme notre procédure est en 'Y', nous avons trois (03) segments initiaux, à savoir :

- 1/ Segment initial désigné par TASSA (294°) ;
- 2/ Segment initial désigné par NIHAL (184°) ;
- 3/ Segment initial désigné par RADIA (74°).

Lors de l'élaboration de la procédure, nous avons choisi le segment initial désigné par RADIA (74°).

➤ Tolérances [1] :

	IAF	IF
Demi-largeur de l'aire	1.45NM	1.45NM
ATT	0.24NM	0.24NM
XTT	0.3NM	0.3NM

- Longueur : 5NM
- Pente : 4%
- Altitude : 1850ft



- Point de cheminement par le travers : Fly-By
- Orientation : 74°

#### **5.16.1.4.1. Aire de protection**

La construction de l'aire de protection doit se faire de la même manière que celle d'un virage. (Voir ANNEXE 2)

#### **5.16.1.4.1.1. Construction de la spirale de vent (Voir ANNEXE 3)**

- Vitesse angulaire :  $R=509.29/V = 2.045^\circ/s$
- Vitesse  $V_v$  :  $V_v = 230kt$
- Rayon de virage :  $r=V/(62.83*R) = 1.939NM$
- Effet de vent :  $E45=45W'/R = 0.312NM \Rightarrow W'=W/3600 \Rightarrow W=2*h+47$

Donc :

- $r+E=2.251NM$  ;
- $r+2*E=2.263NM$  ;

- $\sqrt{r^2 + E^2} = 1.963 \text{ NM}$ .

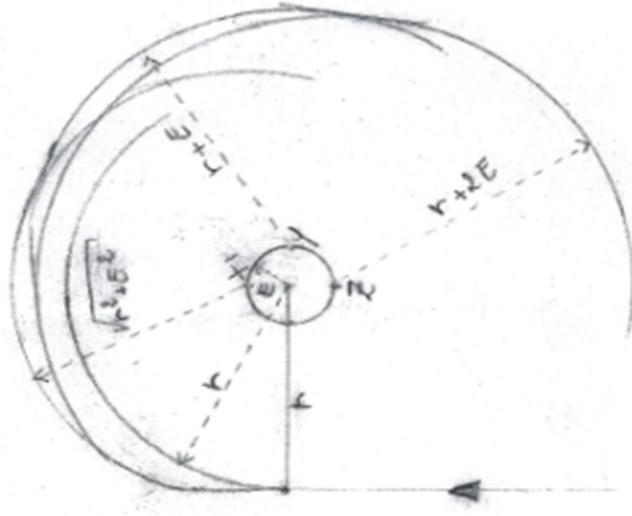


Figure 5.4: Spirale de vent

#### 5.16.1.4.1.2. Détermination de l'altitude minimale

##### ✓ Aire primaire

- Altitude obstacle pénalisant : nul
- MFO : 300 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(0+300) = 300 \text{ m}$
- OCA : **300 m (1000ft)**

##### ✓ Aire secondaire

- Altitude obstacle pénalisant : nul
- MFO : 300 m
- Altitude de l'obstacle + MFO :  $(0+300) = 300 \text{ m}$
- OCA : **300 m (1000ft)**

Donc :

**Altitude Minimale= 1850ft**

### **5.16.1.5. Attente**

La procédure d'attente est une manœuvre prédéterminée, elle utilise un circuit en hippodrome, basé sur un repère appelé 'point d'attente'. Elle est exécutée par un aéronef pour attendre lors des phases de départ, croisière et en approche lorsque plusieurs aéronefs entament la phase d'approche en même temps ou lorsque la piste n'est pas dégagée (occupée par d'autres aéronefs).

La procédure d'attente RNAV peut ne pas être utilisée, car la procédure d'approche avec configuration en 'Y' permet d'avoir des entrées omnidirectionnelles, et ce, par la présence de trois (03) segments d'approche initiaux (IAF) (Voir Section 2 'Publication de la carte d'approche'). Cela permet à un certain nombre d'aéronefs d'entamer la phase d'approche directement sans forcément passer par la procédure d'attente.

Lors de la conception de la procédure, nous avons posé un circuit d'attente (trajectoire nominale) sur le segment d'approche initiale désigné par RADIA (74°) et va être exécuté sur un point fixe (WP), avec un temps d'éloignement d'1min 30sec à une altitude de 1850ft.

### **5.16.1.6. Arrivée**

L'étude de la phase d'arrivée permet de se familiariser avec l'environnement de l'aérodrome où le relief est pris durement en compte pour le calcul des altitudes minimales de secteur. Plusieurs points doivent être pris en compte, à savoir :

- ✓ Une marge de franchissement d'obstacles de 300 mètres (1000ft) doit être prise afin de pallier aux effets des courants verticaux et tourbillonnaires dus aux reliefs environnant l'aérodrome.
- ✓ Dans les procédures RNAV :
  - Des TAA seront établies pour chaque aérodrome ;
  - Les points de référence des TAA sont les repères d'approche initiale et/ou les repères intermédiaires ;
  - Chaque TAA sera calculée à partir de la hauteur la plus élevée de l'aire considérée.

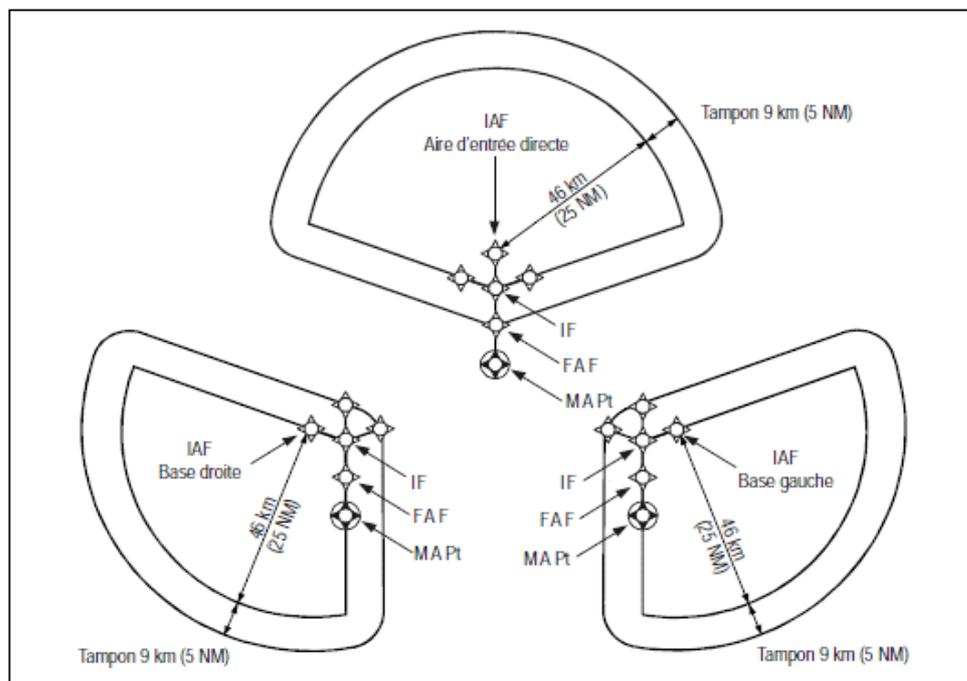
- ✓ Une altitude minimale s'appliquera dans un rayon de 46km (25NM) des points de cheminement RNAV (Voir Figure 5.5).

#### **5.16.1.6.1. Construction**

La configuration normale consiste en trois (03) aires de TAA :

- ✓ Entrée direct ;
- ✓ Base gauche ;
- ✓ Base droite.

Les limites extérieures sont définies par des arcs de 46km (25NM) de rayon centré sur chacun des trois IAF en plus d'une zone tampon de 9km (5NM). (Voir Figure 5.2)



**Figure 5.2:** Configuration de TAA en Y [9]

#### **5.16.1.6.2. Détermination de l'altitude minimale**

1/ L'altitude minimale du secteur désigné par NIHAL est égale à :

- Obstacle pénalisant : 235m
- MFO : 300m

- Altitude obstacle pénalisant+MFO :  $235+300=535\text{m}=550\text{m}$

Donc :

<b>Altitude minimale de TAA du secteur 1=</b> <b>550m (1850ft)</b>
---

2/ L'altitude minimale du secteur désigné par RADIA est égale à :

- Obstacle pénalisant : 230m
- MFO : 300m
- Altitude obstacle pénalisant+MFO :  $230+300=530\text{m}=550\text{m}$

Alors :

<b>Altitude minimale de TAA du secteur 2=</b> <b>550m (1850ft)</b>
---

3/ L'altitude minimale du secteur désigné par TASSA est égale à :

- Obstacle pénalisant : 225m
- MFO : 300m
- Altitude obstacle pénalisant+MFO :  $225+300=525\text{m}=550\text{m}$

Donc :

<b>Altitude minimale de TAA du secteur 3=</b> <b>550m (1850ft)</b>
---

**Note :**

Les latitudes et longitudes des points de cheminements sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5.5:** Coordonnées des points de cheminements

Points	Coordonnées			
IAF NIHAL	31° 56' 12''	N	006° 08' 29''	E
IAF RADIA	31° 45' 20''	N	006° 25' 27''	E
IAF TASSA	31° 47' 18''	N	005° 52' 23''	E
IF	31° 51' 12''	N	006° 08' 29''	E
FAF	31° 46' 11''	N	006° 08' 29''	E
MAPt	31° 41' 11.09''	N	006° 08' 29.56''	E
MATF	31° 48' 12''	N	006° 08' 29''	E

### **5.17. Conclusion**

Après cette étude, il est possible de dégager les principaux avantages dûs à l'application des procédures RNAV(GNSS) à savoir :

- **La Sécurité** : procédure facile apportant une meilleure utilisation de l'espace aérien;
- **La Simplicité** : virages optimums ;
- **L'Economie** : diminution de la distance et par conséquent réduction du temps d'exécution et impact économique sur la consommation de carburant.

## ***Section III :***

*Informatisation de la procédure*

### **5.18. Introduction**

Plusieurs moyens automatisés peuvent être utilisés pour dessiner les procédures RNAV (GNSS) afin d'être publiées dans l'AIP.

Pour cela, il existe des outils de haute technologie apportant une aide à la conception des procédures d'approche, à savoir :

- Titan ;
- Géotitan ;
- Wavionix ;
- Aéronav ;
- Cartes IAC ;
- Et des logiciels de dessin : AUTOCAD 2000 et COREL DRAW.

La procédure RNAV(GNSS) que nous avons élaboré a été dessiné avec un logiciel de dessin 'AUTOCAD 2008' pour la publication de la carte IAC et également avec l'ArchiCAD pour les TAA et la procédure en Y.

### **5.19. Présentation de l'AutoCAD**

AutoCAD est un logiciel de dessin assisté par ordinateur (DAO), il été créé par Autodesk en décembre 1982.

Bien qu'il ait été développé à l'origine pour les ingénieurs en mécanique, il est aujourd'hui utilisé par de nombreux corps de métiers. Il est actuellement le logiciel de DAO le plus répandu dans le monde. C'est un logiciel de dessin technique pluridisciplinaire :

- Industrie ;
- SIG, Cartographie et Topographie ;
- Électronique ;
- Électrotechnique (schémas de câblage) ;
- Architecture et Urbanisme ;
- Mécanique.

L'utilisateur peut créer ses propres menus et développer des applications grâce à son langage Autolisp dérivé de lisp et grâce à VBA. La version allégée, dite LT (pour "Lap Top") ne dispose toutefois pas de cette facilité, ni des fonctions de dessin en trois dimensions, tels que les objets volumiques ou surfaciques, ni de la programmation. Cette version simplifiée permet toutefois de les visualiser.

AutoCAD se décline aujourd'hui en logiciels spécifiques métier ou logiciels « verticaux », dont :

- **AutoCAD Architecture** : dédié aux dessins d'architecture ;
- **AutoCAD MEP** : dédié aux dessins d'architecture, mais aussi aux installations techniques dans un bâtiment (ventilation, sanitaire, chauffage et électricité).

### **5.20. Présentation de l'ArchiCAD**

L'ArchiCAD est un logiciel d'architecture édité par la société hongroise Graphisoft, du groupe allemand Nemetschek, qui permet de créer un modèle en 3D d'un bâtiment puis de créer divers documents nécessaires à sa construction (plan, perspective, ...).

Le logiciel permet de gérer autour d'une maquette numérique 3D tous les documents entrant dans les compétences d'un architecte tout au long du cycle de production d'un projet architectural : plans, détails, perspectives, imagerie de synthèse, métrés. Avec son concept de Virtual Building, ArchiCAD innove dès sa création dans ce qu'il est convenu d'appeler les logiciels BIM (Building Information Modeling).

## CONCLUSION

La situation actuelle de l'aérodrome de Hassi Messaoud est caractérisée par :

- L'existence d'une piste (18/36), où seule la piste 36 est utilisée actuellement ;
- Une procédure d'approche conventionnelle basée sur le moyen de radionavigation au sol VOR/DME ;
- Une forte densité de trafic axée sur la piste 36, qui se caractérise par des routes d'arrivée longues, engendrant un plus grand temps d'exécution et par conséquent, une surconsommation de carburant.

Une telle situation fait appel à l'introduction de nouvelles procédures d'approches RNAV appuyée sur des systèmes de navigation par satellite GNSS avec configuration en 'Y' pour la piste 18, qui ont démontré leurs qualités et précisions de trajectoire en termes de performances par rapport aux moyens conventionnels.

Les procédures en question ont pour but de :

- Pallier l'absence ou l'indisponibilité d'un moyen radioélectrique ;
- Rendre accessible directement le contre QFU d'une piste équipée d'un seul ILS ;
- Permettre de raccorder une procédure conventionnelle au moyen d'un segment GNSS ;
- Induire différentes propositions de solutions à la problématique dont le principal objectif est d'optimiser et de contribuer à une meilleure utilisation de l'espace aérien en toute sécurité.

La réalisation de ces procédures est soumise à un ensemble de conditions à respecter dont la disponibilité d'un récepteur GNSS capable de recevoir les signaux GNSS effectuant ces procédures par l'aéronef.

Ce dernier doit avoir l'assurance de la certification du système de navigation par l'autorité de l'aviation civile, la formation des pilotes appelés à réaliser ces approches, et

enfin, l'obligation de soumettre la procédure GNSS à un test en vol par l'avion laboratoire, avant la publication.

L'utilisation de la RNAV (GNSS) comme procédure d'approche a permis de dégager les principaux avantages suivants :

- Gains d'espace aérien : l'espace aérien occupé par les procédures RNAV(GNSS) est différent de celui occupé par les procédures basées sur les installations au sol ;
- Sécurité accrue et plus grande souplesse de gestion du trafic ;
- La conception des procédures sur des terrains non équipés d'installations radio à la navigation ;
- Possibilité d'instaurer des routes directes, évitement des points saturés, meilleur écoulement du trafic, et économie du carburant possible par la réduction de la longueur de certains segments de routes et suppression des circuits d'attentes ...etc.

Plusieurs extensions pourraient être envisagées pour la suite de ce modeste travail qui auraient requis un plus grand temps et des moyens, nous les proposons donc, comme perspectives possibles, à savoir :

- L'informatisation de la procédure en utilisant des logiciels automatisés de haute technologie tels que : 'le Géo TITAN, le TITAN...', pour le dessin, ce qui induit une réduction de temps et la charge de travail des concepteurs ;
- La nécessité de définir, pour des raisons "Sécuritaire " et "Economique", un système de secours à utiliser lors d'une éventuelle perte GNSS ;
- Un travail similaire pourrait être poursuivi par application de ces procédures configuration en T sur un aéroport présentant les mêmes contraintes que celui de Hassi Messaoud ;
- En Algérie, les procédures GNSS seront mises en œuvre en premier lieu pour les aéroports désertiques ainsi que les aéroports plus contraignants en terme d'espace aérien et reliefs, à savoir: Alger, Bejaia, Constantine, Oran, In Guezzam, Bordj Badji Mokhtar, Setif et Tamanrasset.

Enfin, nous considérons ce mémoire comme une étape dans un processus de recherche qui pourrait être poursuivi par une application de ces procédures dans un aéroport présentant une forte densité de trafic et disposant de plusieurs pistes.

## ANNEXE 1

### PROCEDURES D'APPROCHE CONVENTIONNELLES

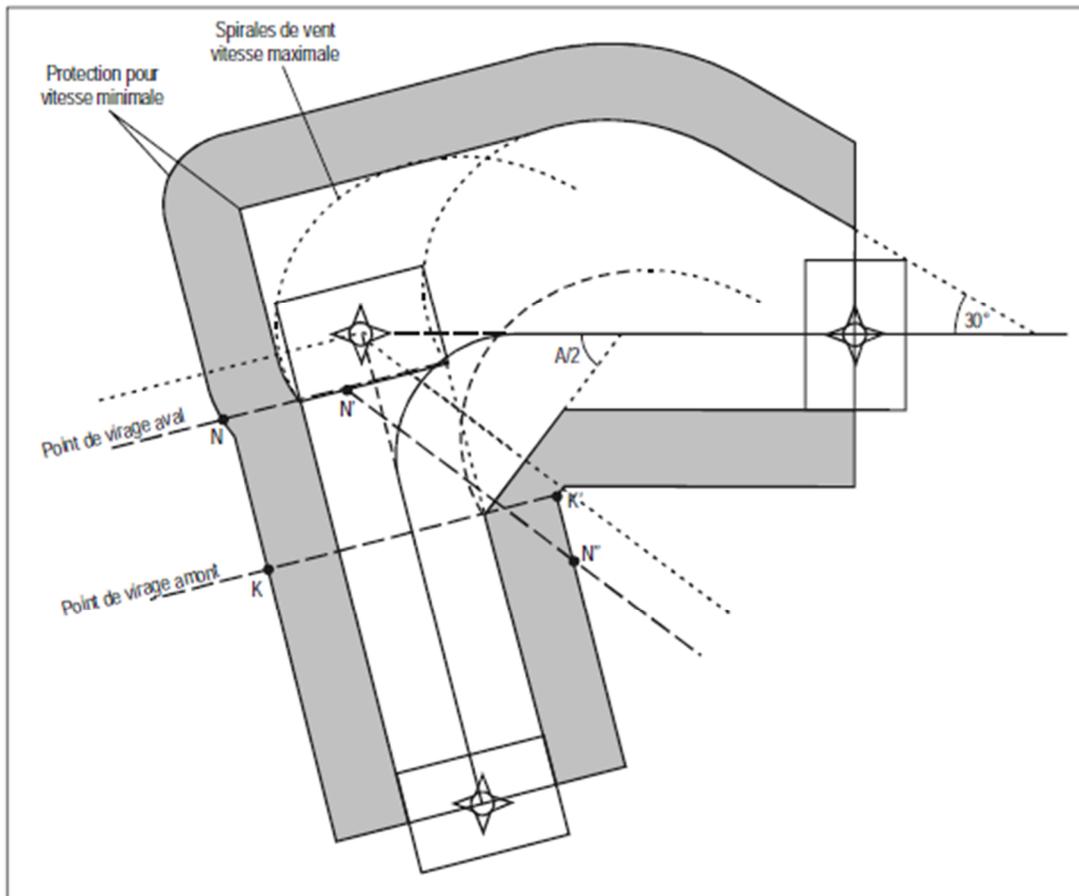
Actuellement, l'aérodrome de Hassi Messaoud dispose de quatre (04) procédures d'approche aux instruments pour les catégories A/B et C/D:

- ✓ IAC 1 : Procédure DVOR/DME RWY 36 ;
- ✓ IAC 2 : Procédure DVOR/DME/ILS RWY 36 ;
- ✓ IAC 3 : Procédure DVOR/DME RWY 18 CAT C/D ;
- ✓ IAC 4 : Procédure DVOR/DME RWY 36 CAT A/B.

L'aérodrome de Hassi Messaoud dispose également des arrivées normalisées aux instruments (STAR)-OACI.

## ANNEXE 2

## PROTECTION DES VIRAGES

**1. Virage par le travers avec angle de virage supérieur à 90°****Figure 1** : Protection d'un virage avec angle supérieur à 90°

Avec :

$$KK' = -ATT - r \cdot \tan(A/2)$$

$$NN'N'' = +ATT + c - r$$

Où:

**ATT**: Tolérance d'écart longitudinale;**r**: rayon de virage;**c**: délai de réaction.

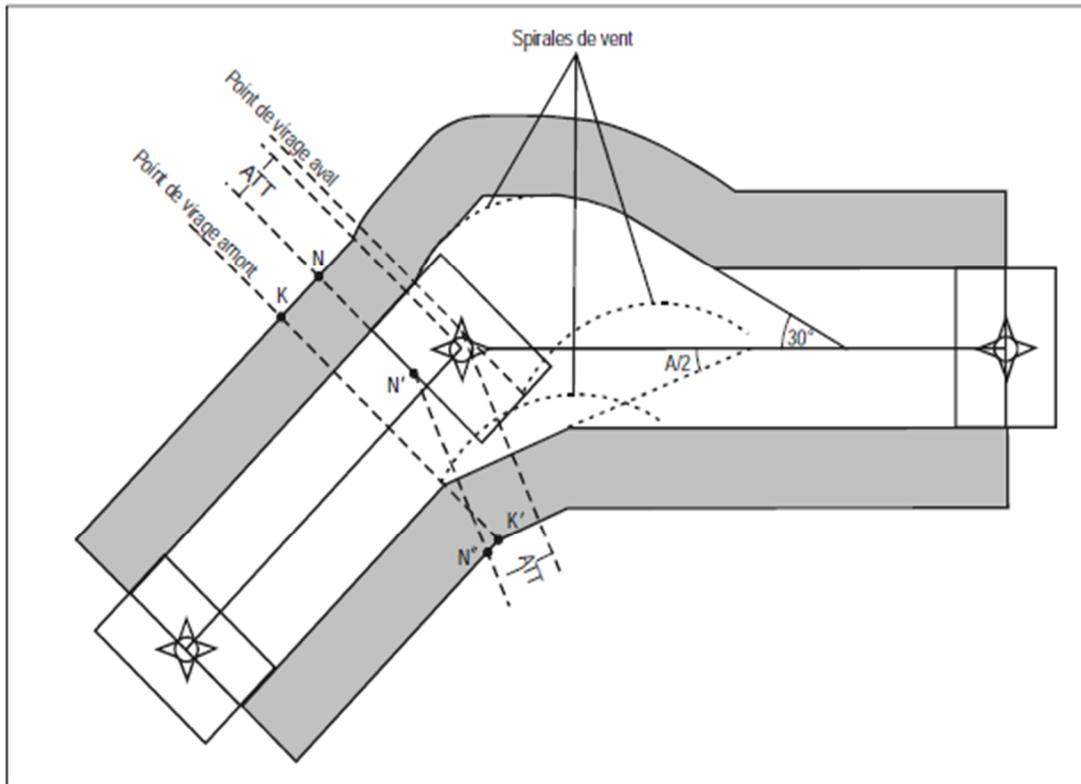
➤ **Identification de la ligne K K'**

La ligne KK' est perpendiculaire à la trajectoire de vol du parcours de rapprochement et se situe au point de virage amont. Elle définit l'extrémité du segment rectiligne avant le virage et elle est utilisée pour la mesure de distances par rapport à des obstacles. Dans les virages en montée (départs et approche interrompue), la distance mesurée est toujours la distance la plus courte depuis le point de virage amont jusqu'à l'obstacle.

➤ **Identification de la ligne NN'N''**

La ligne N N' N'' est le repère de descente amont. Dans le cas de virages à un point de cheminement par le travers, où un repère de palier de descente a été défini, le repère de descente amont n'est pas au même endroit que le point de virage amont. La ligne NN' se construit perpendiculairement au parcours précédent à une distance égale à ATT avant le point de cheminement. La ligne N'N'' est décalée, par rapport à la bissectrice, d'une distance égale à ATT dans la direction du parcours précédent, mesurée perpendiculairement à la bissectrice. N' marque l'intersection des deux lignes. La distance jusqu'à l'obstacle depuis la descente amont se mesure à partir de la ligne NN'N'' perpendiculaire à la bissectrice.

## 2. Virage par le travers avec angle de virage inférieur ou égal à 90°



**Figure 2 :** Protection d'un virage avec angle inférieur ou égal à 90°

Avec :

$$KK' = -ATT - r \cdot \text{tg} (A/2)$$

$$NN'N'' = +ATT + c - r \cdot \text{tg} (A/2)$$

Où:

**ATT:** Tolérance d'écart longitudinale;

**r:** rayon de virage;

**c:** délai de reaction.

### ANNEXE 3

## CONSTRUCTION DE LIMITE EXTÉRIEURE DE VIRAGE

### 1. Aire de virage basée sur spirale de vent

Dans la méthode de spirale de vent, l'aire est basée sur un rayon de virage calculé pour une valeur déterminée de vitesse vraie et d'angle d'inclinaison latérale. La limite extérieure de l'aire de virage se construit à l'aide d'une spirale dérivée du rayon de virage ( $r$ ) en air calme. La spirale résultante est créée par application de l'effet de vent  $E\theta$  pour la durée d'un changement de cap de  $\theta$  degrés, à l'aide des formules :

$$E\theta = (\theta/R) * (w/3 600) \text{ km (NM)}$$

Où :

$\theta$  : est l'angle de virage ;

$R$  : le taux de virage ; et

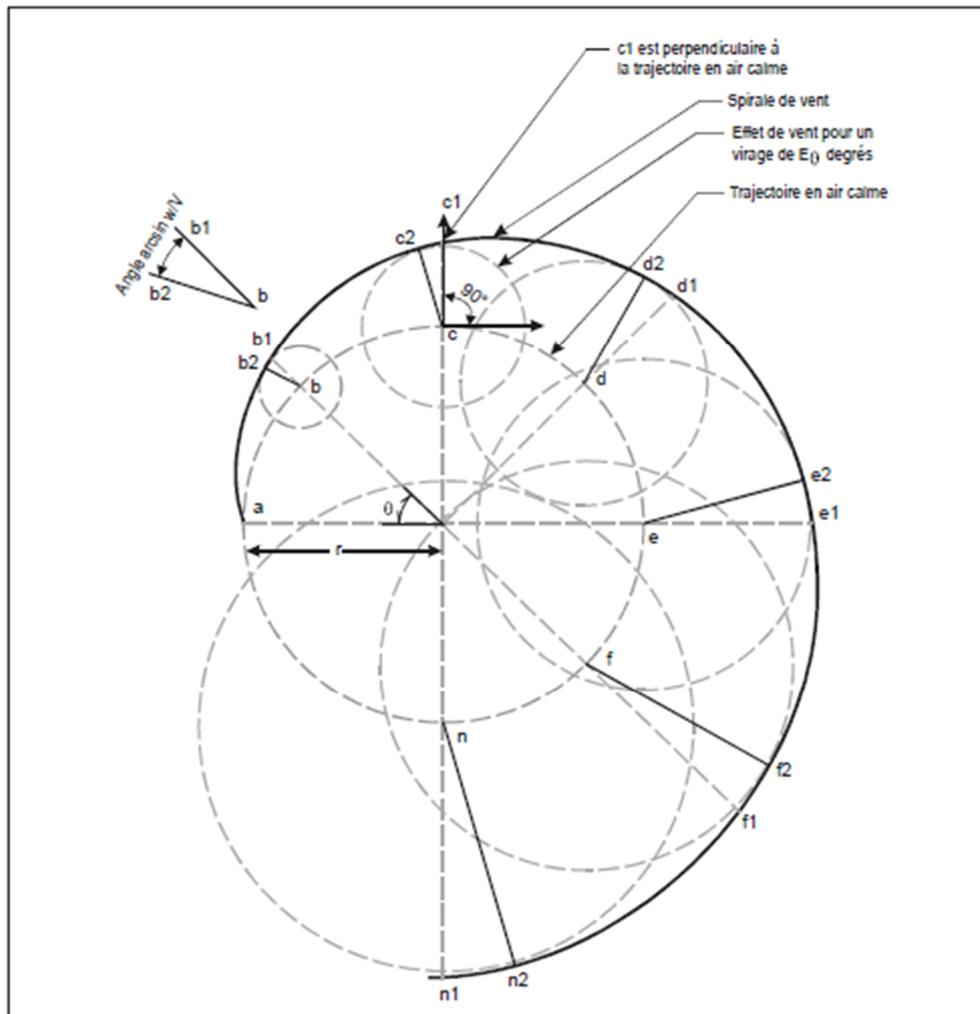
$w$  : la vitesse du vent.

La spirale de vent est basée sur le calcul de  $E\theta$  à chaque intervalle spécifié (par exemple  $30^\circ$ ). La précision peut être augmentée par diminution de l'intervalle. La construction est basée sur les étapes suivantes (Voir Figure 1) :

1) situer les points  $b_1, c_1, \dots, n_1$  en ajoutant une distance  $E\theta$  perpendiculairement au rayon en air calme ( $r$ ) ;

2) calculer 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  $E\theta$  du point  $b, c, \dots, n$  respectivement ;

3) la spirale résulte du tracé d'une courbe commençant au point  $a$ , sur le rayon en air calme passant par  $b_2, c_2, \dots, n_2$ .



**Figure 1 :** Construction d'une spirale de vent

## **2. Aire de virage basée sur cercles limitatifs**

Au lieu de la spirale de vent, il est possible d'utiliser une méthode simplifiée dans laquelle des cercles sont tracés pour délimiter l'aire de virage. (Voir Figure 2).

À la différence de la méthode de spirale de vent, l'effet de vent ( $E$ ) utilisé ici correspond toujours à un changement de cap de  $90^\circ$ .

La méthode de construction est la suivante :

1. Commencer au point A sur le bord extérieur de l'aire ;
2. À une distance  $r$  du point A, par le travers de la trajectoire de vol nominale, construire un cercle de rayon  $E$  ;

3. À partir du point X, tracer un arc ayant le rayon suivant :

$$\sqrt{r^2 + E^2}$$

C'est là que commence la limite pour les virages compris entre 0 et 90 degrés.

4. Commencer au point A' sur le bord intérieur du virage ;  
 5. À une distance r du point A', par le travers de la trajectoire de vol nominale, construire un deuxième cercle de rayon E ;  
 6. À partir du point X', tracer un arc ayant le rayon suivant :

$$\sqrt{r^2 + E^2}$$

C'est là que se termine la limite pour les virages compris entre 0 et 90 degrés.

7. Raccorder les deux arcs décrits aux étapes 3 et 6 ci-dessus ;  
 8. À partir du point Y, tracer un arc ayant le rayon suivant :

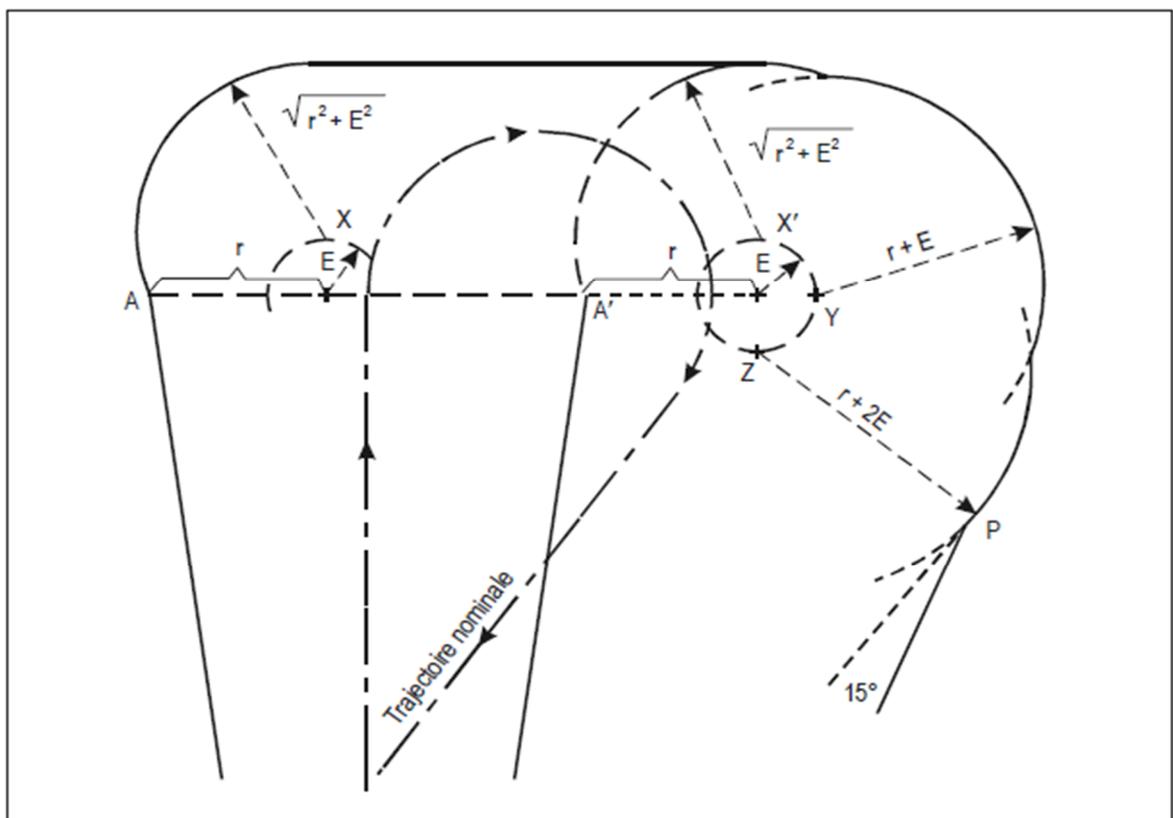
$$r + E$$

Cela prolonge la limite pour les virages compris entre 90 et 180 degrés.

9. À partir du point Z, tracer un arc ayant le rayon suivant :

$$r + 2E$$

Cela prolonge la limite pour les virages compris entre 180 et 270 degrés.



**Figure 2 :** Construction de limite extérieure de virage

## ANNEXE 4

**TABLEAUX DE CALCULS DES AIRES DE PROTECTION DES VIRAGES, DES  
UNITES DE MESURES, DES DISTANCES MINIMALES DE STABILISATION ET  
CONVERSION DE VITESSES**

**Tableau 1:** Calculs liés à la construction des aires de protection des virages

Ligne de paramètre	Formule	Valeur
<b>K</b>		1,0829
<b>V</b>	$V=K * Vi (Kt)$	249,073
<b>v</b>	$v=V/3600$	0,069
<b>R</b>	$R=509,26/V$	2,045
<b>r</b>	$r=V/(62,83 * R)$	1,939
<b>h</b>	$h=Altitude/1000$	2
<b>w</b>	$w=2*h+47$	51
<b>w'</b>	$w'=w/3600$	0,014
<b>E<sub>45</sub></b>	$E_{45} = 45w'/R$	0,312
<b>t</b>	$t=60 * T$	60
<b>L</b>	$L= v * t$	4,151
<b>ab</b>	$ab=5 v$	0,346
<b>ac</b>	$ac=11 v$	0,761
<b>Gi1=Gi3</b>	$Gi1=Gi3 =(t-5) * v$	3,805
<b>Gi2=Gi4</b>	$Gi2=Gi4 =(t+21) * v$	5,604
<b>Wb</b>	$Wb=5 w'$	0,071
<b>Wc</b>	$Wc=11 w'$	0,156
<b>Wd</b>	$Wd=Wc+E45$	0,468
<b>We</b>	$We=Wc+2 E45$	0,779
<b>Wf</b>	$Wf=Wc+3 E45$	1,091
<b>Wg</b>	$Wg=Wc+4E45$	1,403
<b>Wh</b>	$Wh=Wb+4E45$	1,318
<b>Wo</b>	$Wo=Wb+5E45$	1,630
<b>Wp</b>	$Wp=Wb+6E45$	1,942
<b>Wi1=Wi3</b>	$Wi1=Wi3=(t+6)*w'+4E45$	2,182
<b>Wi2=Wi4</b>	$Wi2=Wi4=Wi1+14w'$	2,381
<b>Wj=</b>	$Wj=Wi2+E45$	2,692
<b>Wk=Wl</b>	$Wk=Wl=Wi2+2E45$	3,004
<b>Wm</b>	$Wm=Wi2+3E45$	3,316
<b>Wn3</b>	$Wn3=Wi1+4E45$	3,429
<b>Wn4</b>	$Wn4=Wi2+4E45$	3,628
<b>Xe</b>	$Xe=2r+(t+15) * v + (t+26+195/R) * w'$	11,636
<b>Ye</b>	$Ye=11 v * Cos20+r * (1+Sin20)+(t+15) v * Tg5+(t+26+125/R) * w'$	5,856

<b>Vi(Kt)</b>	<b>230</b>
<b>Altitude (ft)</b>	<b>2000</b>
<b>Temps (min)</b>	<b>1</b>
<b>Température (°C)</b>	<b>30</b>
<b>Catégorie aéronefs</b>	<b>C/D</b>

**Tableau 2 :** Unités supplétives hors SI dont l'utilisation temporaire avec les unités SI est permise

<i>Grandeurs du Tableau 3-4 relatives à</i>	<i>Unité</i>	<i>Symbole</i>	<i>Définition (au moyen des unités SI)</i>
distance (longueur)	mille marin	NM	1 NM = 1 852 m
distance (verticale) <sup>a)</sup>	pied	ft	1 ft = 0,304 8 m
vitesse	nœud	kt	1 kt = 0,514 444 m/s

a) altitude, altitude topographique, hauteur, vitesse verticale.

**Tableau 3 :** Distance minimale de stabilisation entre points de cheminement par le travers (unités non SI, inclinaison latérale 25°)

<i>Changement de cap** (degrés)</i>	<i>Vitesse vraie (kt)</i>														
	<i>&lt; ou = 130</i>	<i>140</i>	<i>150</i>	<i>160</i>	<i>170</i>	<i>180</i>	<i>190</i>	<i>200</i>	<i>210</i>	<i>220</i>	<i>240</i>	<i>260</i>	<i>280</i>	<i>300</i>	<i>340</i>
50	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	2,2
55	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,4
60	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,6
65	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,8
70	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,1	2,4	3,0
75	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6	3,2
80	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,1	2,4	2,8	3,5
85	0,7	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,0	2,3	2,6	3,0	3,8
90	0,7	0,9	1,0	1,1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2	4,1
95	0,8	1,0	1,1	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,3	2,7	3,1	3,5	4,4
100	0,8	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	4,8
105	0,9	1,2	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,1	5,2
110	1,0	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4	5,6
115	1,1	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,2	3,7	4,2	4,8	6,1
120	1,2	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	2,9	3,5	4,0	4,6	5,3	6,7

\* 25° ou 3°/s  
\*\* Utiliser la valeur de 50° pour les changements de cap de moins de 50°

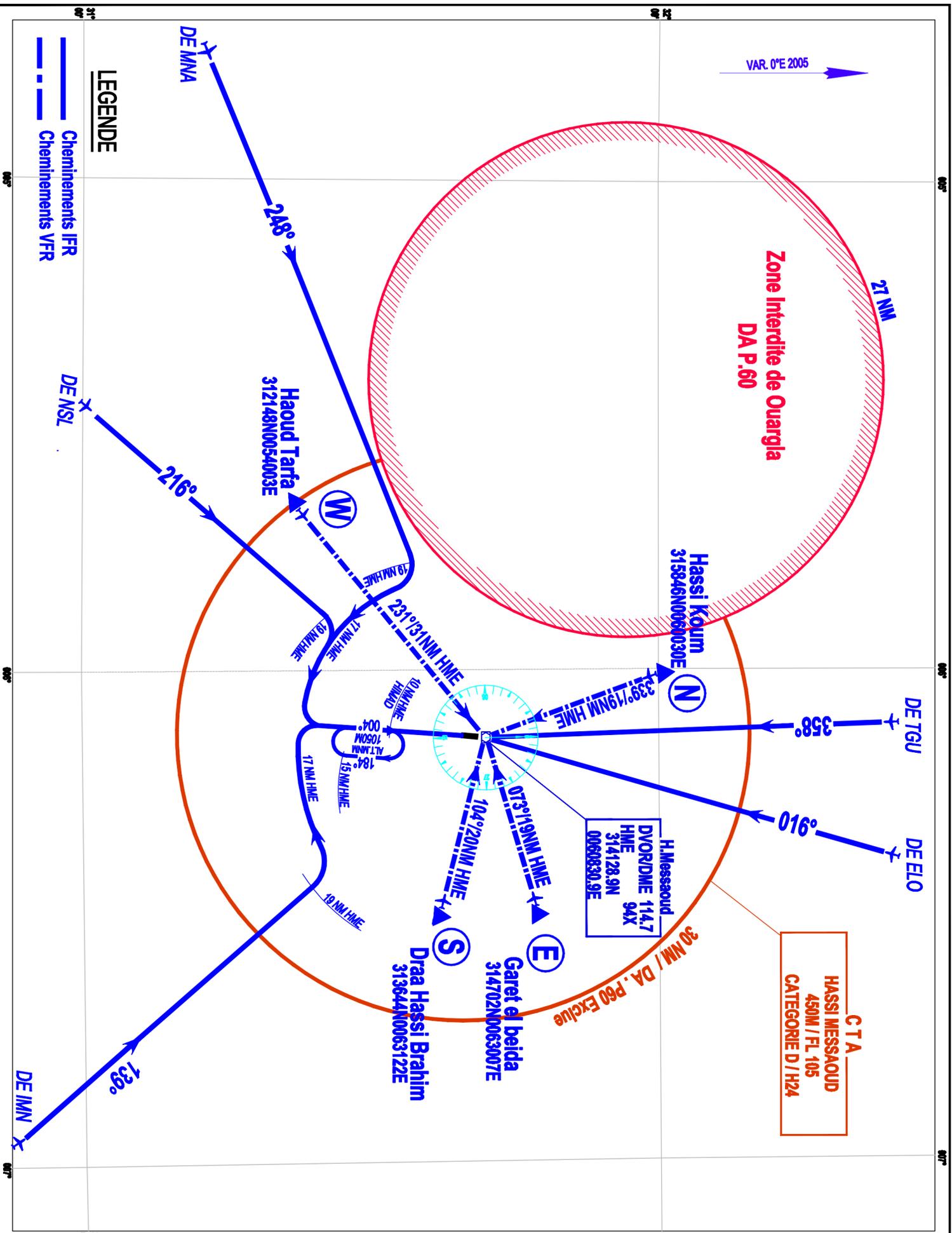
➤ **Conversion de vitesses indiquées en vitesses vraies**

Le tableau ci-dessous donne les facteurs de conversion de vitesses indiquées en vitesses vraies pour des altitudes de 0 à 24 000 ft et à des températures de ISA – 30 °C à ISA + 30 °C.

Pour obtenir la vitesse vraie, simplement multiplier la vitesse indiquée par le facteur de conversion (k) correspondant à l'altitude et à la température donnée.

**Tableau 4 :** Facteur de conversion (k)

Altitude (pieds)	Facteur de conversion							
	ISA-30	ISA-20	ISA-10	ISA	ISA+10	ISA+15	ISA+20	ISA+30
0	0,9465	0,9647	0,9825	1,0000	1,0172	1,0257	1,0341	1,0508
1 000,0	0,9601	0,9787	0,9969	1,0148	1,0324	1,0411	1,0497	1,0667
2 000,0	0,9740	0,9930	1,0116	1,0299	1,0479	1,0567	1,0655	1,0829
3 000,0	0,9882	1,0076	1,0266	1,0453	1,0637	1,0728	1,0818	1,0995
4 000,0	1,0027	1,0225	1,0420	1,0611	1,0799	1,0892	1,0984	1,1165
5 000,0	1,0175	1,0378	1,0577	1,0773	1,0965	1,1059	1,1153	1,1339
6 000,0	1,0327	1,0534	1,0738	1,0938	1,1134	1,1231	1,1327	1,1517
7 000,0	1,0481	1,0694	1,0902	1,1107	1,1307	1,1406	1,1505	1,1699
8 000,0	1,0639	1,0857	1,1070	1,1279	1,1485	1,1586	1,1686	1,1885
9 000,0	1,0801	1,1024	1,1242	1,1456	1,1666	1,1770	1,1872	1,2075
10 000,0	1,0967	1,1194	1,1418	1,1637	1,1852	1,1958	1,2063	1,2270
11 000,0	1,1136	1,1369	1,1597	1,1822	1,2042	1,2150	1,2258	1,2470
12 000,0	1,1309	1,1547	1,1781	1,2011	1,2236	1,2347	1,2457	1,2674
13 000,0	1,1485	1,1730	1,1970	1,2205	1,2435	1,2549	1,2661	1,2884
14 000,0	1,1666	1,1917	1,2162	1,2403	1,2639	1,2755	1,2871	1,3098
15 000,0	1,1852	1,2108	1,2360	1,2606	1,2848	1,2967	1,3085	1,3318
16 000,0	1,2041	1,2304	1,2562	1,2814	1,3062	1,3184	1,3305	1,3544
17 000,0	1,2235	1,2505	1,2769	1,3028	1,3281	1,3406	1,3530	1,3775
18 000,0	1,2434	1,2710	1,2981	1,3246	1,3506	1,3634	1,3761	1,4011
19 000,0	1,2637	1,2921	1,3198	1,3470	1,3736	1,3868	1,3998	1,4254
20 000,0	1,2846	1,3136	1,3421	1,3700	1,3973	1,4107	1,4240	1,4503
21 000,0	1,3059	1,3357	1,3649	1,3935	1,4215	1,4353	1,4489	1,4759
22 000,0	1,3278	1,3584	1,3883	1,4176	1,4463	1,4605	1,4745	1,5021
23 000,0	1,3502	1,3816	1,4123	1,4424	1,4718	1,4863	1,5007	1,5290
24 000,0	1,3731	1,4054	1,4369	1,4677	1,4980	1,5128	1,5276	1,5566



**CTA HASSI MESSAOUD**  
**PROCEDURES D'ARRIVEES**  
**NORMALISEES AUX INSTRUMENTS (STAR) - OACI**  
**RVY 18 / 36**

CODE	POINT D'ENTREE	CHEMINEMENTS
TGU - HME HIMAD	HIMAD	Intercepter et suivre radiale 358° HME jusqu'à verticale DVOR HME, ensuite intercepter et suivre radiale 184° HME pour rejoindre HIMAD
ELO - HME HIMAD	HIMAD	Intercepter et suivre radiale 016° HME jusqu'à verticale DVOR HME, ensuite intercepter et suivre radiale 184° HME pour rejoindre HIMAD
IMN - HIMAD	HIMAD	Intercepter et suivre radiale 139° HME jusqu'à 19 NM DME HME, virer à gauche pour suivre Parc 17 NM DME HME pour rejoindre HIMAD
NSL - HIMAD	HIMAD	Intercepter et suivre radiale 216° HME jusqu'à 19 NM DME HME, virer à droite pour suivre Parc 17 NM DME HME pour rejoindre HIMAD
MNA - HIMAD	HIMAD	Intercepter et suivre radiale 248° HME jusqu'à 19 NM DME HME, virer à droite pour suivre Parc 17 NM DME HME pour rejoindre HIMAD





APPROCHE AUX INSTRUMENTS

HASSI MESSOUAD/Oued Irara-Krim Belkacem

CAT: D

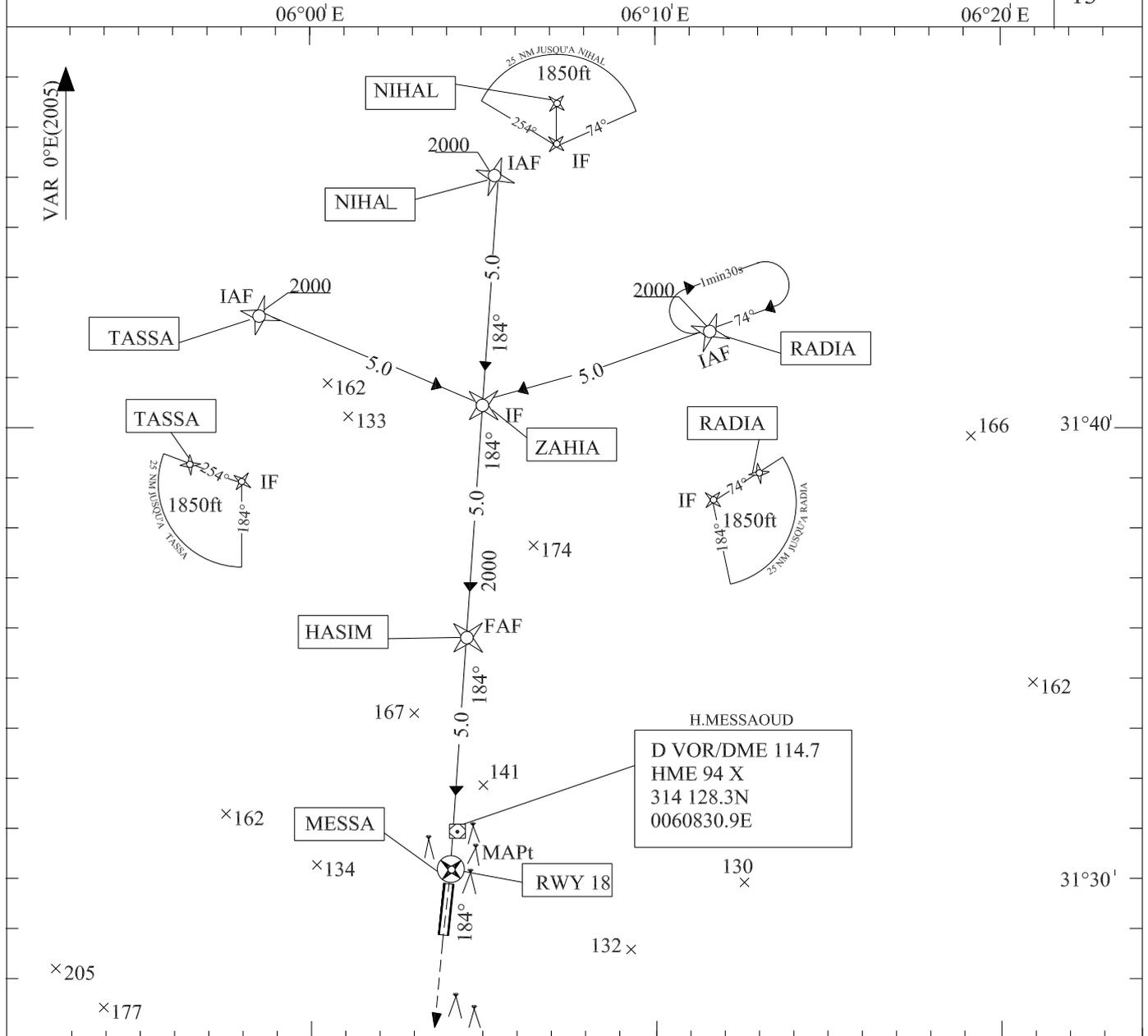
AD2 DAUH IAC 05

ALT AD:140M

RNAV GNSS RWY 18

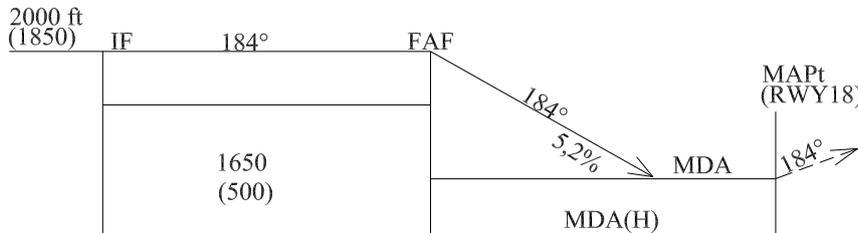
APP:120.0  
TWR:118.1-119.7(S)

23  
JUN  
13



TA:1050M

API: Monter sur l'axe 184°



jusqu'a 430M QFE pour  
rejoindre le MATF puis  
suivre les instructions  
du contrôleur

DTHR(NM) 10 5 0

MNM AD:Distances verticales en pieds, RVR et vis en mètres

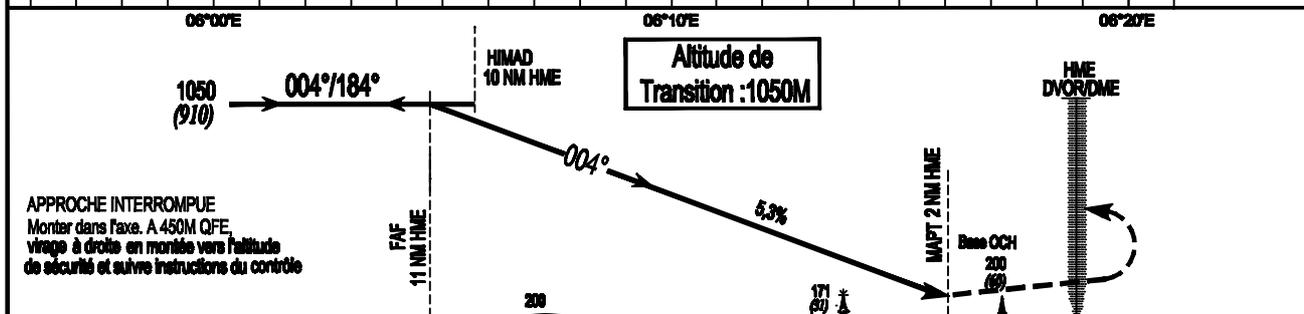
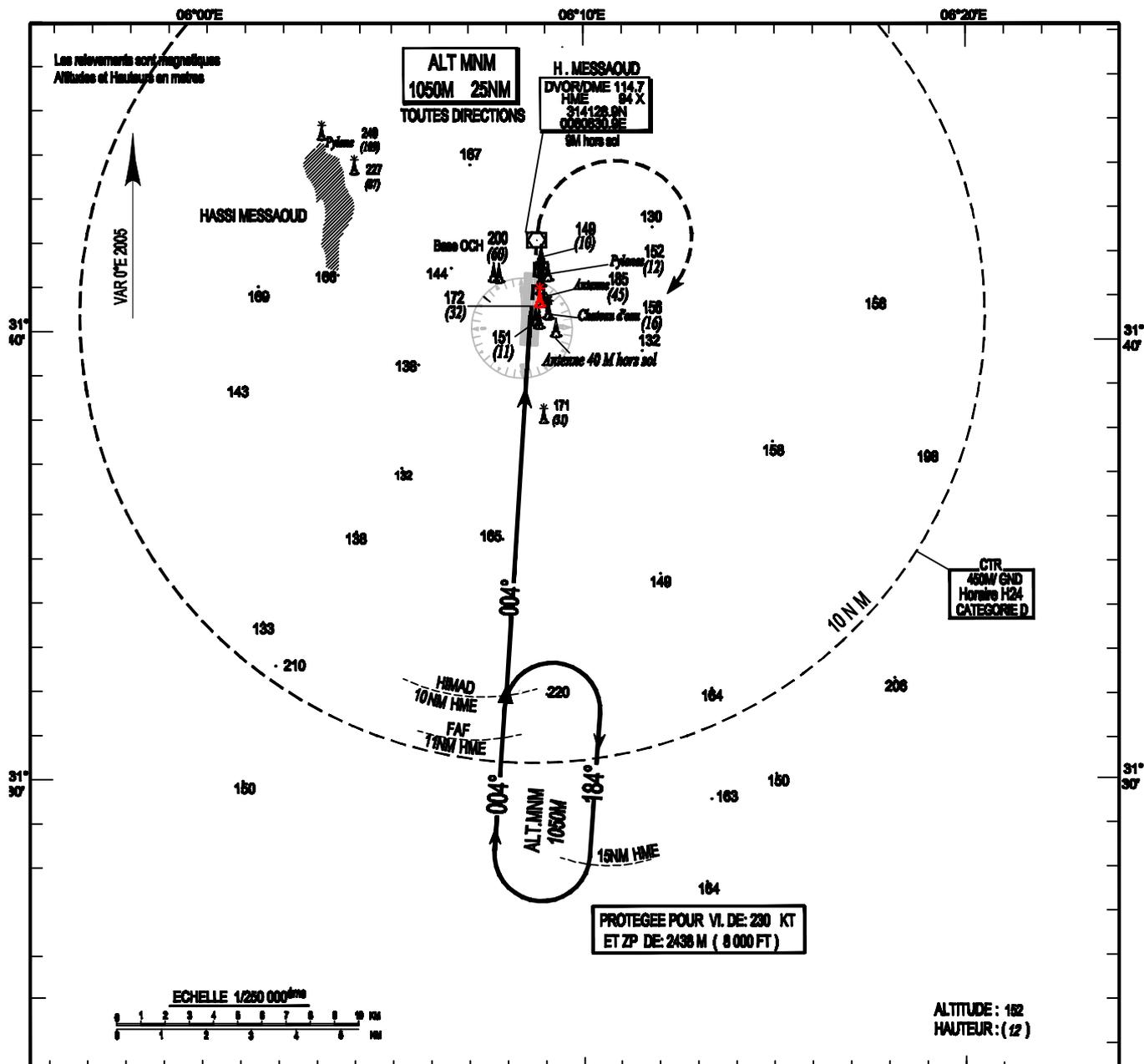
Réf Haut :Alt AD

CAT	LNAV OCH: 261M		MVL / circling		Points	Coordonnées	
	MDA(H)	RVR	MDA(H)	VIS			
D	291ft	2800M	700ft	3600M	MATF	31°48' 12" N	006°08' 29" E
					MAPT	31°41' 11",09 N	006°08' 29",56 E
					FAF	31°46' 11" N	006°08' 29" E
					IF	31°51' 12" N	006°08' 29" E
					IAF NIHAL	31°56' 12" N	006°08' 29" E
					IAF RADIA	31°45' 20" N	006°25' 27" E
					IAF TASSA	31°47' 18" N	005°52' 23" E

ALT. AD : 140 M  
LES HAUTEURS SONT DETERMINEES  
PAR RAPPORT A L'ALITUDE DE L'AD

APP : 120.0  
TWR : 118.1- 119.7(s)

CARTE D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS - OACI -  
HIMAD - DVOR/DME RWY 36



APPROCHE INTERROMPUE  
Monter dans l'axe. A 450M QFE,  
virage à droite en montée vers l'altitude  
de sécurité et suivre instructions du contrôle

Catégorie	MINIMUMS OPERATIONNELS LES PLUS BAS ADMISSEBLES					
	HIMAD - DVOR/DME RWY36			APPROCHE INDIRECTE à l'Est du terrain		
	OCH	MDH	VH	OCH	MDH	VH
A	135M	450FT	2400M	180M	600FT	2400M
B	135M	450FT	2400M	180M	600FT	2400M
C	135M	450FT	2800M	210M	700FT	3600M
D	135M	450FT	3200M	210M	700FT	3600M



APPROCHE AUX INSTRUMENTS

HASSI MESSOUAD/Oued Irara-Krim Belkacem

CAT: D

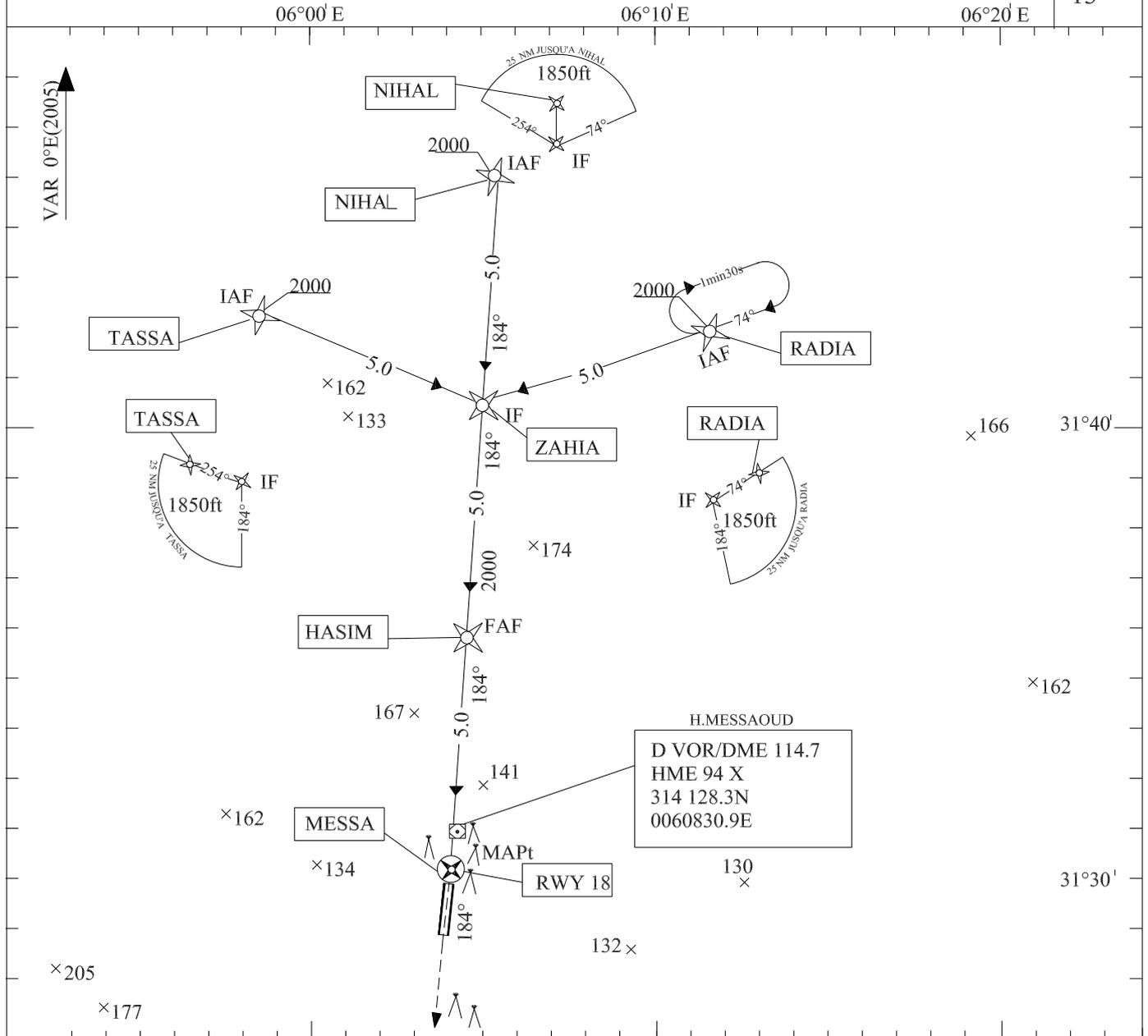
AD2 DAUH IAC 05

ALT AD:140M

RNAV GNSS RWY 18

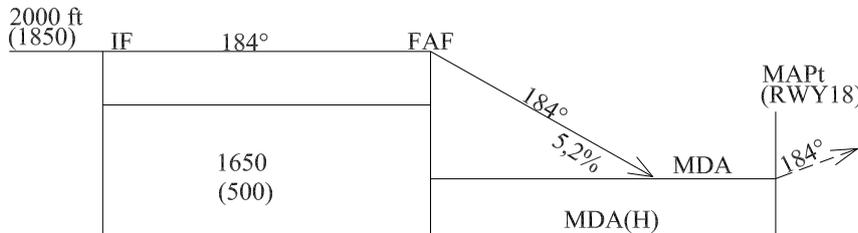
APP:120.0  
TWR:118.1-119.7(S)

23  
JUN  
13



TA:1050M

API: Monter sur l'axe 184°



jusqu'a 430M QFE pour  
rejoindre le MATF puis  
suivre les instructions  
du contrôleur

DTHR(NM) 10 5 0

MNM AD:Distances verticales en pieds, RVR et vis en mètres

Réf Haut :Alt AD

CAT	LNAV OCH: 261M		MVL / circling		Points	Coordonnées	
	MDA(H)	RVR	MDA(H)	VIS			
D	291ft	2800M	700ft	3600M	MATF	31°48' 12" N	006°08' 29" E
					MAPT	31°41' 11,09 N	006°08' 29,56 E
					FAF	31°46' 11" N	006°08' 29" E
					IF	31°51' 12" N	006°08' 29" E
					IAF NIHAL	31°56' 12" N	006°08' 29" E
					IAF RADIA	31°45' 20" N	006°25' 27" E
					IAF TASSA	31°47' 18" N	005°52' 23" E

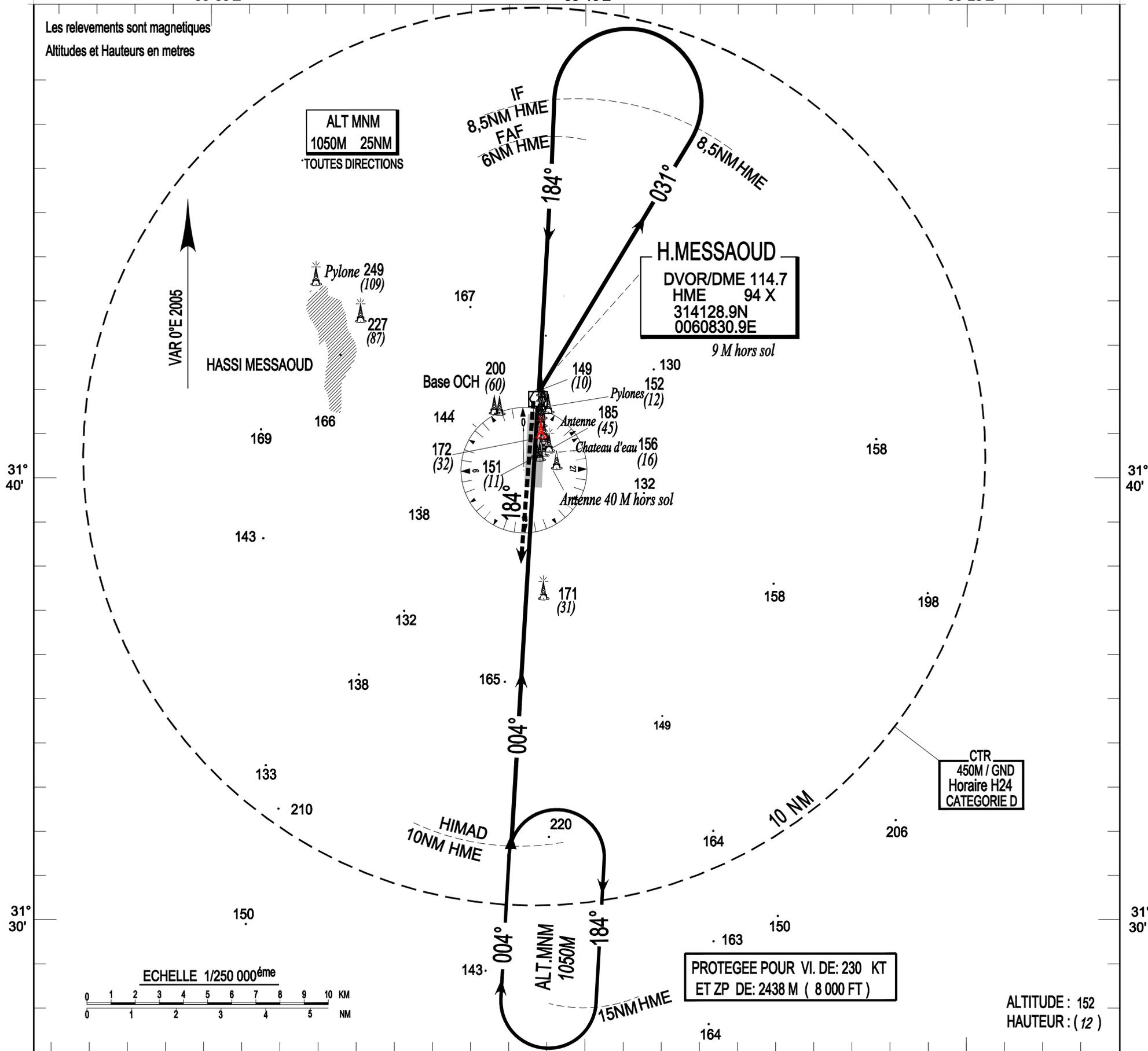
ALT. AD : 140 M  
LES HAUTEURS SONT DETERMIINEES  
PAR RAPPORT A L'ALTITUDE DE L'AD

APP : 120.0  
TWR : 118.1- 119.7(s)

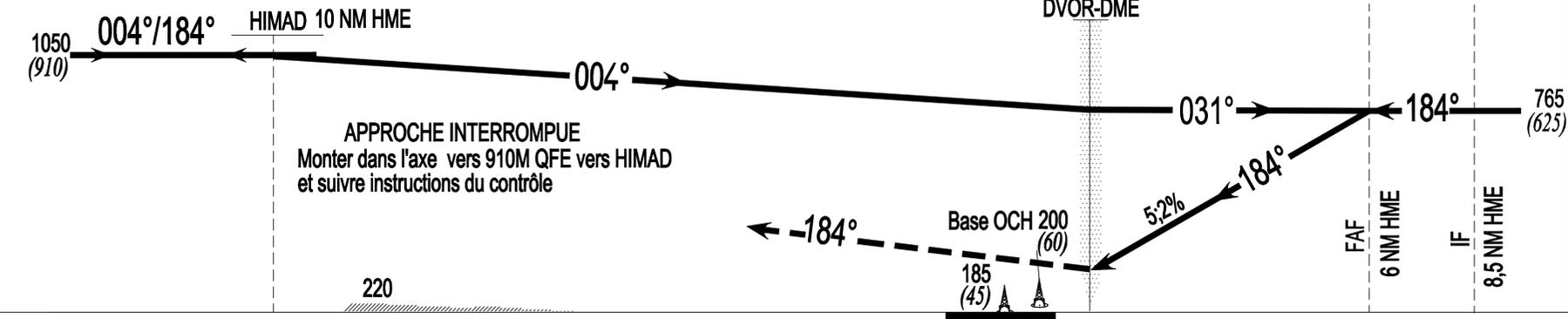
CARTE D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS OACI -  
HIMAD - DVOR/DME RWY 18  
CAT C/D

06°00'E 06°10'E 06°20'E

Les relevements sont magnetiques  
Altitudes et Hauteurs en metres



Altitude de Transition : 1050M



Cat-ACFT	MINIMUMS OPERATIONNELS LES PLUS BAS ADMISSIBLES					
	HIMAD - DVOR/DME RWY18			APPROCHE INDIRECTE à l'Est du terrain		
	OCH	MDH	VIS	OCH	MDH	VH
C	135M	450FT	2800M	210M	700FT	3600M
D	135M	450FT	3200M	210M	700FT	3600M

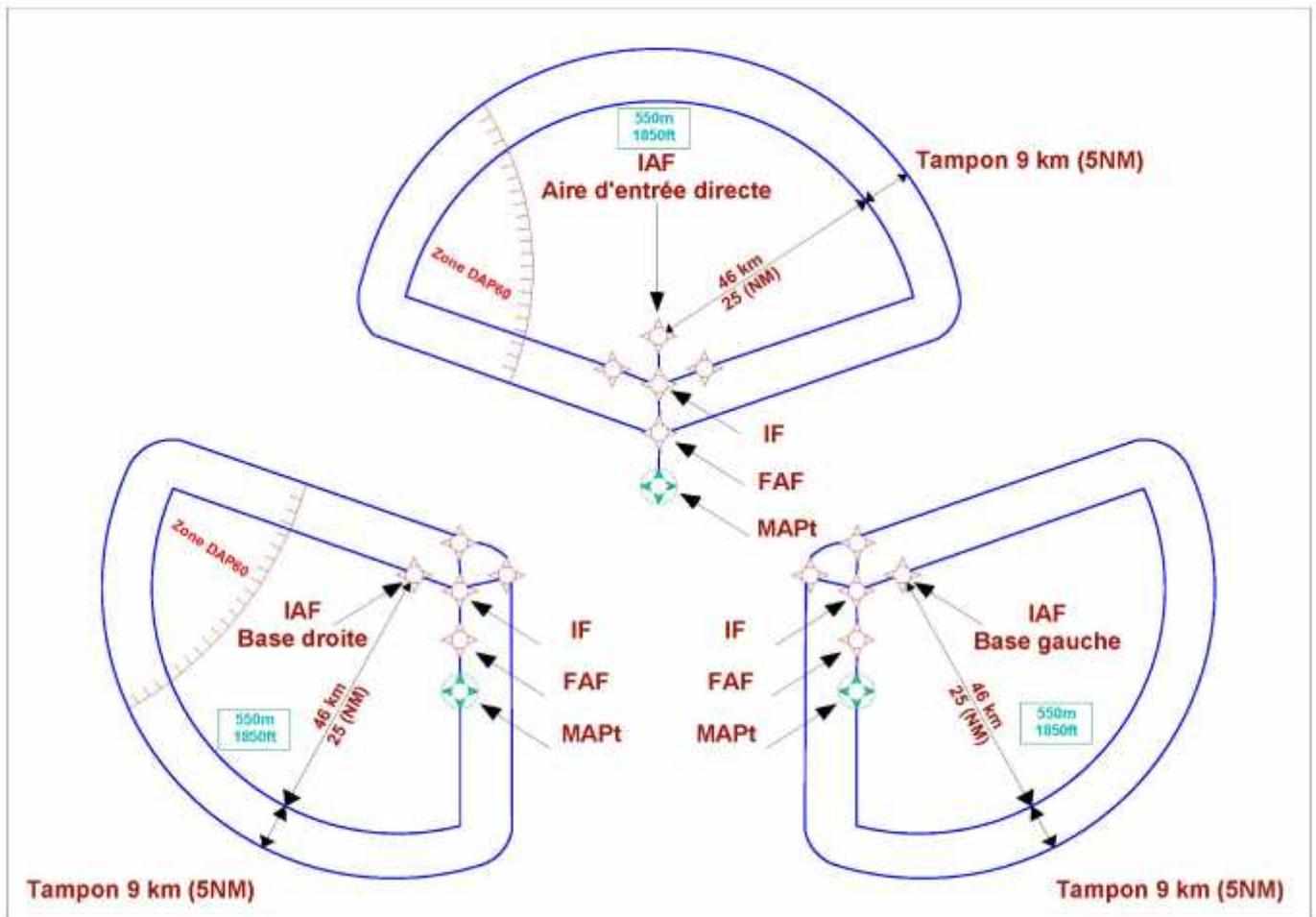
## REFERENCES

1. ENAC/ PANS-OPS, Cours de l'Ecole Nationale de l'Aviation Civile, (2011).
2. OACI, Organisation de l'Aviation Civil Internationale, Manuel de navigation fondée sur les performances 'Doc 9613AN/937', (2008).
3. ICAO, International Civil Aviation Organization, EUR Doc 001 RNAV.
4. ICAO, International Civil Aviation Organization, RNAV operations (Doc9573), (2008).
5. Mise en service de la navigation Sud-est-service de navigation aérienne, DGAC DSNA, (Juin2012).
6. TEFFAHI, F.Z., 'RNAV', Thèse d'Ingénieur en Aéronautique, Université de Blida, (2011-2012).
7. Institut d'Aéronautique Jean Mermoz, cours automatisé de conduite, (2008).
8. 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, (2009).
9. OACI, Organisation de l'Aviation Civile Internationale, Exploitation technique des aéronefs (Doc 8168 OPS/611), Construction des procédures de vol à vue et de vol aux instruments, volume II, (2008).
10. SIA, Service de l'Information Aéronautique, DGAC Mémento à l'usage des utilisateurs des procédures de vol aux instruments ,8<sup>ème</sup> édition, (30 juin 2012).
11. ROTURIER, B., 'Introduction aux concepts GNSS de l'OACI et contrôle d'intégrité', (STNA), (15 Mars 2001).
12. OACI, Organisation de l'Aviation Civile Internationale, Télécommunication Aéronautique, Annexe10.
13. RNAV/GNSS, Guide pour la réalisation d'approches de non précision au moyen d'équipements RNAV/GNSS, 1<sup>ère</sup> édition, (15 décembre 2005).

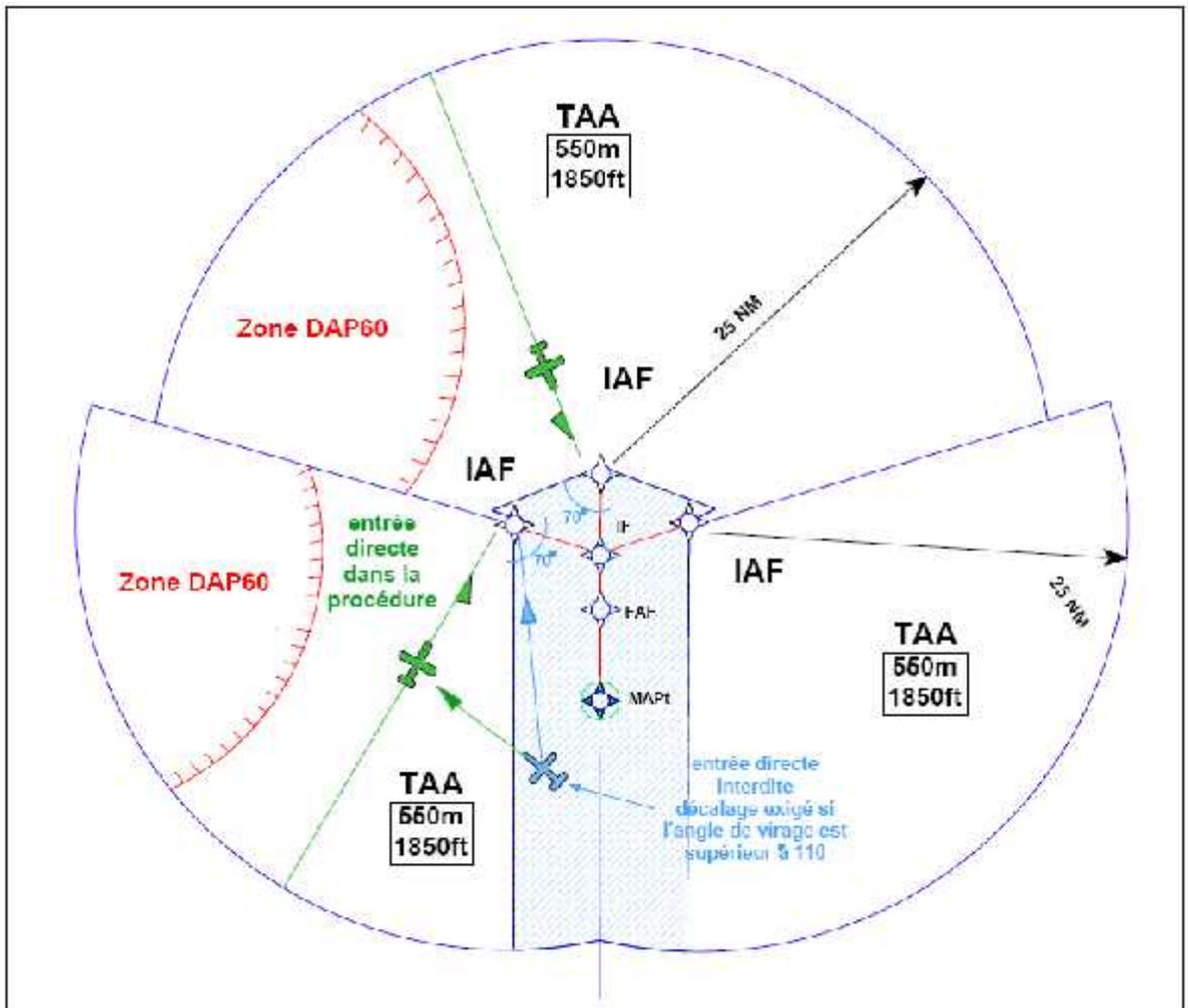
14. Calvet, M., 'Télécommunication et navigation par satellite au service du citoyen', DSNA, V.1, (27 janvier 2008).
15. AIC, Circulaire d'information Aéronautique, Guide sur l'utilisation du GPS en VFR, Complément à l'AIC (A08/10), (3 juin 2010).
16. Service de l'Information Aéronautique (SIA), Guide pour la réalisation d'approches de non précision au moyen d'équipements RNAV/GNSS, 1<sup>re</sup> édition, (15 décembre 2005).
17. DGAC, Le magazine de la Direction Générale de l'Aviation Civile, revue aviation civile, N° 357, (Mai 2011).
18. Faurie, F., 'Algorithmes de contrôle d'intégrité pour la navigation hybride GNSS et systèmes de navigation inertielle en présence de multiples mesures satellitaires défailtantes', Thèse de Doctorat, spécialité automatique-productique-signal et image, Université de Bordeaux, (14 Décembre 2011).
19. ENNA, Etablissement National de la Navigation Aérienne, Ministère du Transport, Séminaire RNAV-PBN, Perspectives du GNSS pour l'aviation civile en Algérie.
20. KHEZZAR, Z.A., 'Acquisition Rapide des Signaux GNSS Par un Récepteur Logiciel', Thèse de magister en électronique, Université de Batna, (2008).
21. Fédéral Aviation Administration (<http://www.faa.gov>).
22. Stratégie de mise en œuvre du système de navigation par satellite (GNSS) dans la région AFRIQUE-OCEAN INDIEN (AFI)', Adoptée par la réunion APIRG/18 et Publiée sous l'autorité du Secrétaire d'APIRG, (Mars 2012).
23. OACI, organisation de l'aviation civile internationale, Exploitation technique des aéronefs, Annexe 6.
24. BOUMEKHILA, D., 'Dossier d'homologation de la Navigation Basée sur les Performances PBN', Thèse d'ingénieur en Aéronautique, Université de Blida, (2010-2011).
25. LAIB, M., 'Elaboration des procédures d'approche aux instruments VOR/DME-NDB-RNAV pour l'aérodrome de Constantine', Thèse d'Ingénieur en Aéronautique, Université de Blida, (2003).

**26.** Service de l'Information Aéronautique (SIA), Procédures d'attente, d'approche et de départ aux instruments (MERIGNAC France), AIP PAC-P, ENR 1.5-1, (3 juin 2010).

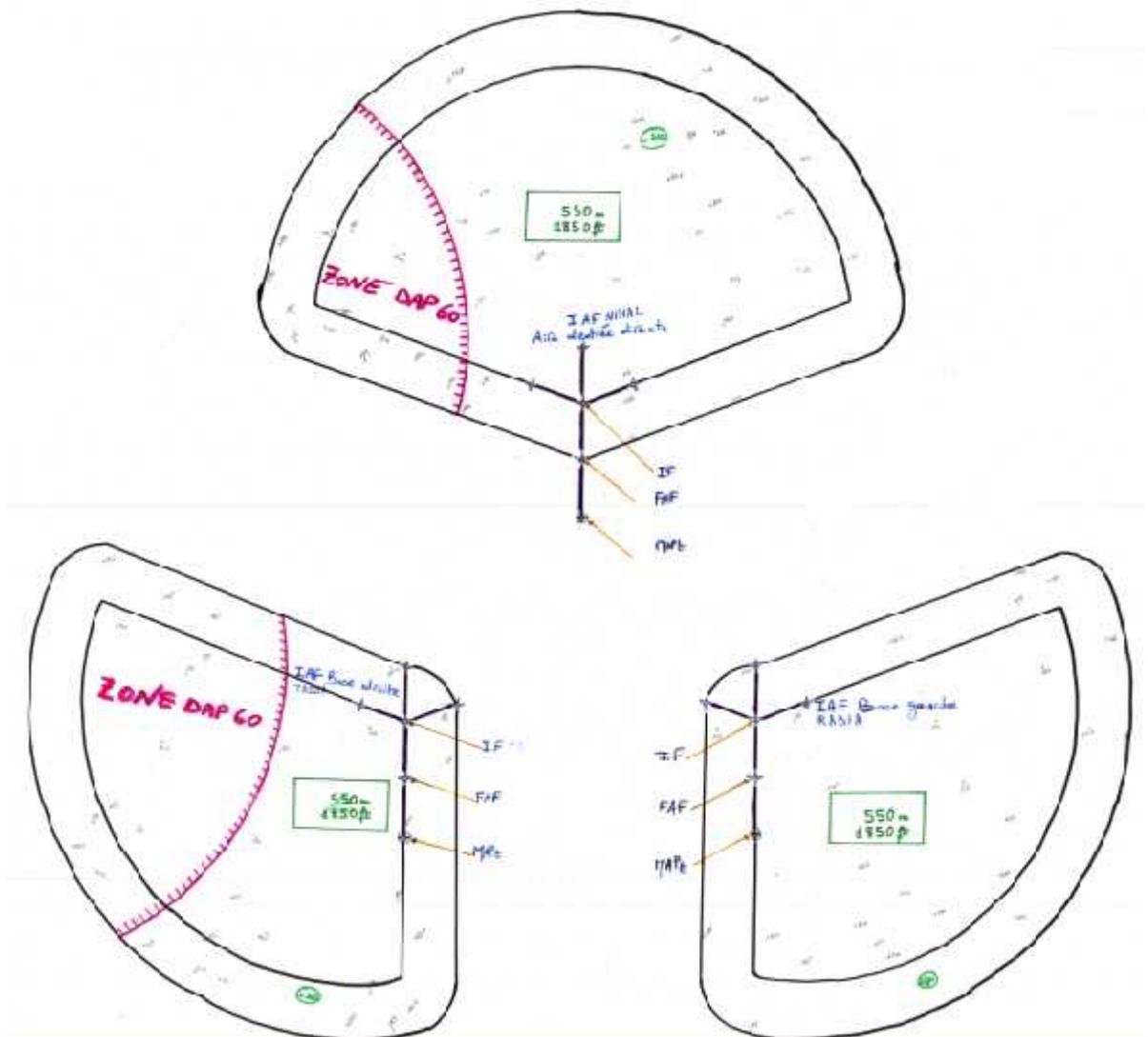
**27.** AIP, Publication d'information aéronautique, Algérie, (2012).



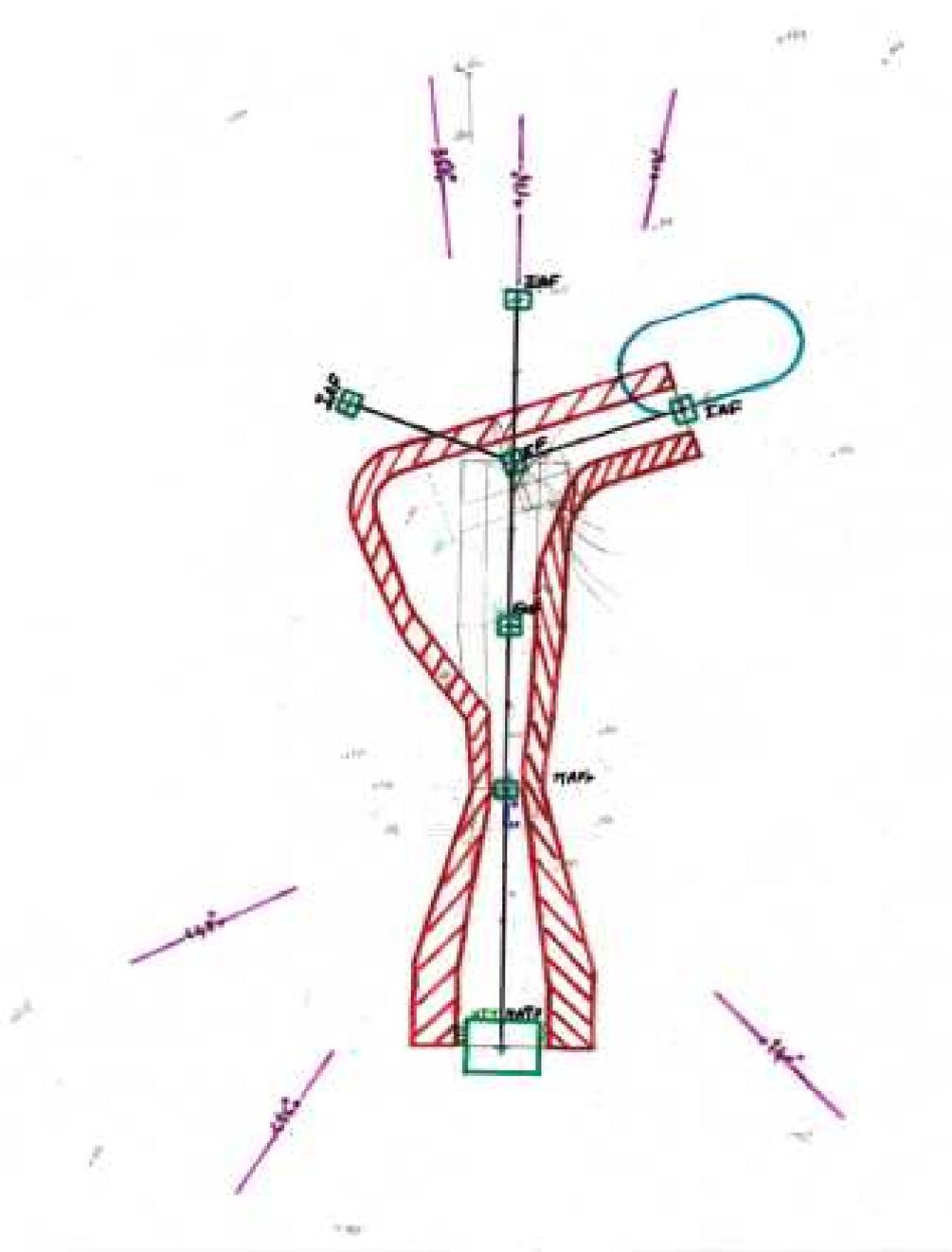
**Configuration de TAA en 'Y'  
subdivisée en trois (03) secteurs  
informatisée**



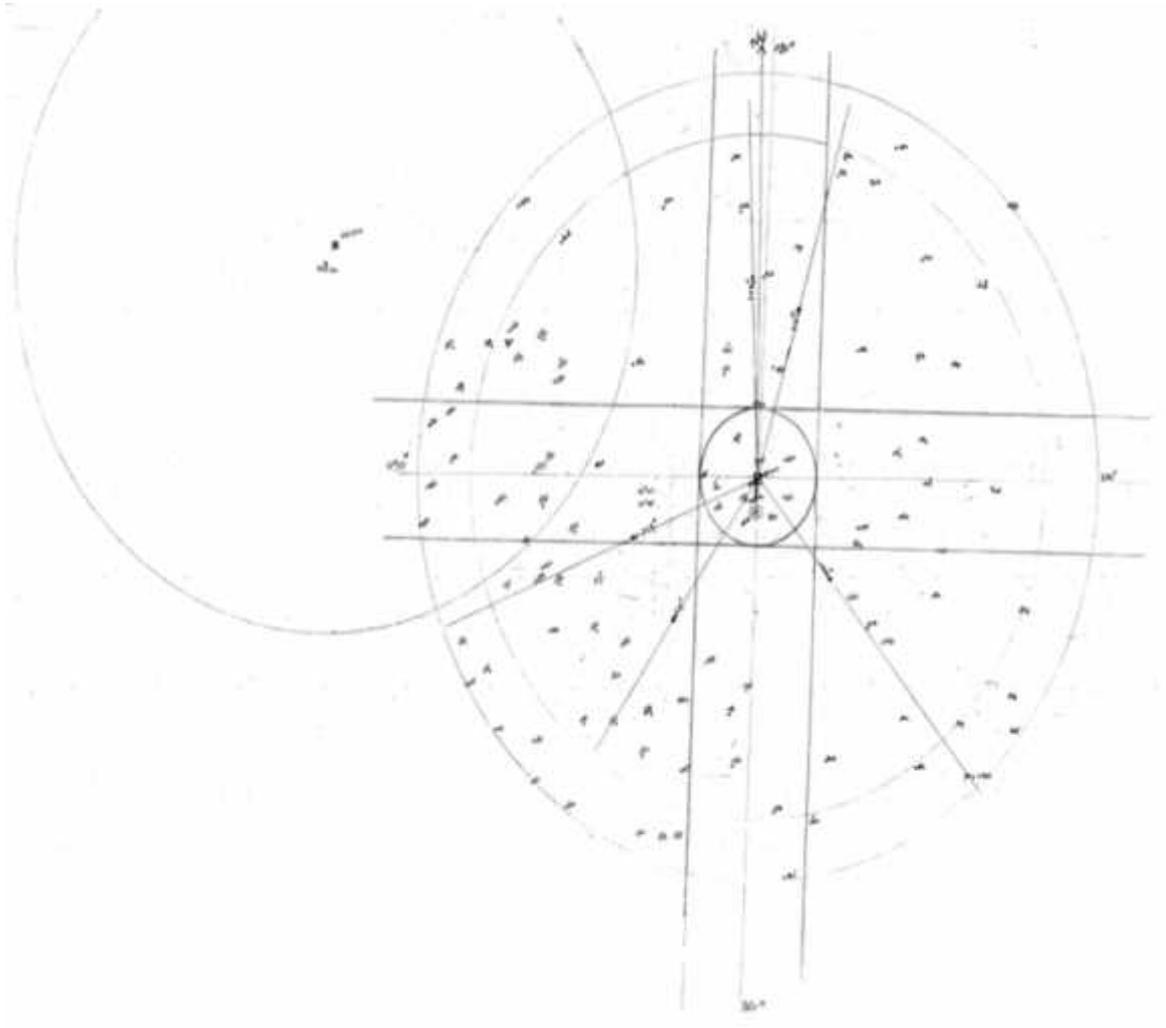
**Configuration de TAA en 'Y'  
regroupée en un seul secteur  
informatisée**



## Configuration de TAA en 'Y'



**Procédure d'approche configuration en  
'Y' et ces aires de protection pour l'IAP  
RADIA**



**Sectorisation**  
**(Altitude Minimale de Sécurité)**