

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences et technologie

Institut d'aéronautique et des études spatial

MEMOIRE DE MASTER

Spécialités : Opérations Aériennes et Exploitation Aéronautique

**NAVIGATION BASEE SUR LA PERFORMANCE, ÉTUDE DE
FAISABILITE DE MISE EN ŒUVRE D'UNE PROCEDURE PBN**

Par

OUKIL Djedjiga

et

MEGHOUFEL Aicha

Promotrice: Mme DRARENI. F

Co promoteur: Mr HAMED Farouk Abdelouahab

Encadreur: Mr DJATOUF Abdelouahab

Blida, Octobre 2013

Résumé

La 36ème Assemblée Générale de l'organisation internationale de l'aviation civile – OACI, qui s'est tenu en 2007, a adopté la résolution A36-23 définissant les objectifs globaux de la Navigation Basée sur les Performances (PBN) et appelant les États à mettre en œuvre des routes et procédures RNAV et RNP, conformément au concept PBN tel que défini dans le Manuel PBN (Doc 9613).

La région Afrique - AFI a adopté une stratégie de mise en œuvre en 3 phases:

1. Court terme : 2008 – 2012
2. Moyen terme : 2013-2016
3. Long terme : 2017 et plus

Notre travail consiste à l'étude de faisabilité de mise en œuvre du concept de la navigation basée sur les performances (PBN) en Algérie, donc voir la possibilité de pouvoir fournir une méthode claire de mise en œuvre des procédures et routes fondées sur la navigation de surface (RNAV), appuyée par un ensemble normalisé à l'échelle mondiale de spécifications de navigation pour les routes ATS, les départs normalisés aux instruments (SID), les routes d'arrivée normalisée aux instruments (STAR) et les approches fondées sur la RNAV.

Pour cela nous avons étudié piste d'abord en détail le concept de navigation fondée sur la performance en s'appuyant sur des documents de référence de l'organisation internationale de l'aviation civile – OACI tel que le document 9613 (Le manuel PBN) et d'autres. Par la suite et afin de matérialiser l'apport de ce nouveau concept par rapport aux procédures classiques, nous avons réalisé une procédure d'approche RNP APCH: APV avec Baro-VNAV : APV avec Baro-VNAV pour les QFU 23 et 09 des pistes de l'aéroport d'Alger/Houari.

ملخص

الاجتماع العام رقم 36 للمنظمة الدولية للطيران المدني الذي عقد عام 2007 اعتمد على قرار 23 - A36 الذي يحدد الاهداف العامة للملاحة القائمة على الاداء, و داعيا الدول لتنفيذ طرق و اجراءات و وفقا لمفهوم الملاحة القائمة على الاداء كما هو محدد في الدليل (الوثيقة PBN 9613).

: اعتمدت على تنفيذ ثلاث مراحل استراتيجية

1-المدى القصير - 2008- 2012

2-المدى المتوسط - 2013- 2016

3- المدى الطويل - 2017 الى ما بعد

مهمتنا هي دراسة مفهوم الملاحة القائمة على الاداء في الجزائر, لذلك نرى امكانية لتوفير طريقة واضحة لإجراءات التنفيذ الذي يعتمد على الملاحة (RNAV), بدعم من موحدة للمواصفات العالمية للملاحة لطرق ATS, الانطلاقات القياسية (SID) طرق وصول (STAR) و الوصلات القائمة على RNAV

لهذا نحن اول من درس بالتفصيل مفهوم الملاحة القائمة على الاداء, استنادا على الوثائق من منظمة الطيران المدني وثيقة الايكاو (ICAO) و اخر, بعد ذلك من اجل تجسيد مساهمة هذا المفهوم الجديد مقارنة مع الإجراءات التقليدية نحن حققنا اجراء APHC, نهج الاداء الملاحي المطلوب مع APV و VNAV-BARO للمسار 05-23 لمطار الجزائر هواري بومدي.

Abstract

The 36th General Assembly of the international organization of civil aviation, with was held in 2007, adopted resolution A36-23 defining the overall objectives of the performance based Navigation (PBN) and calling on States to implement the routes and procedures RNAV and RNP, in accordance with the PBN concept as defined in the Manuel PBN (Doc 9613).

The Africa region - AFI has adopted a strategy of implementation in 3 phases:

1. Short term : 2008-2012
2. Medium-term : 2013-2016
3. Long-term : 2017 and more

Our work consist the study of feasibility implementation in Algeria of the concept performance based navigation (PBN), so see the possibility to provide a clear method of implementation of the procedures and routes on area navigation (RNAV), supported by a standardized set globally specifications of navigation for ATS, standard instruments (STAR) and RNAV approaches.

For this we studied first in detail the concept of performance based navigation by relying on international organization reference documents civil aviation – such as document 9613 (Handbook PBN) and other. Subsequently and to materialize the contribution of this new concept compared to conventional procedure, we have made an approach RNP APCH procedure: VPA with Baro-VNAV for the QFU 23 and track from the airport of Algiers/Houari Boumediene.

Remerciements

On tient à remercier le bon DIEU de nous avoir donné le courage, la patience et la capacité de mener ce travail à terme.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre cher encadreur Monsieur DJATOUF Abdelouahab qui a bien voulu nous confier ce travail riche d'intérêt et nous guidé à chaque étape de sa réalisation. Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil. Vos encouragements inlassables, votre amabilité, votre gentillesse méritent toute admiration. Nous saisissons cette occasion pour vous exprimer notre profonde gratitude tout en vous témoignant notre respect, merci

À notre co- promoteur Monsieur Hamed Abdelouahab pour le choix de thème et sa confiance à nos capacités.

À notre promotrice Madame DRARENI.

À monsieur REKKA.

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés de proche ou du loin.

→ Merci à tous...

Dédicaces

 Ce qui mérite d'être fait mérite d'être bien fait... 

Cœur vaillant rien d'impossible A conscience tranquille tout est accessible
Quand il y a la soif d'apprendre Tout vient à point à qui sait attendre. Quand il y a le souci de
réaliser un dessein Tout devient facile pour arriver à nos fins. Malgré les obstacles qui
s'opposent, en dépit des difficultés qui s'interposent
Les études sont avant tout Notre unique et seul atout ils représentent la lumière de notre
existence l'étoile brillante de notre réjouissance, comme un vol de gerfauts hors du charnier
natal. Nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal
Espérant des lendemains épiques Un avenir glorieux et magique Souhaitant que le fruit de nos
efforts fournis Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri
Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys, Nous prions dieu que cette soutenance Fera signe
de persévérance Et que nous serions enchantés Par notre travail honoré

Je dédie ce mémoire à ...

Ma très chère mère Sadia

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

A mon Père Ahmed

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.
Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma chère sœur Tassadit et mes frères

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

A ma chère binôme Aicha

Avec qui j'ai partagé les joies et les difficultés relatives au suivi de ce travail

A mes chers ami (e)s

Karima, Kahina, Djouher, Nadia, Djamila, hassiba, lamia, lydia, Idir, Nabil, Fatah , Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour exprimer mon affection et mes pensées à quelqu'un qu'es pour moi un frère, collègue et ami sur qui je peux compter Achoui Yacine. En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A l'Etablissement National de la Navigation Aérienne(ENNA)

Un profond respect et un remerciement particulier pour Mr Djatouf Abdelouahab ainsi sa famille pour la bonne contribution de ce travail.

Djedjiga

Dédicace

Merci Allah (mon Dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Kayoum".

Je dédie ce modeste travail

À mon Père Djelloul, école de mon enfance qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

À celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère maman Kheira toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

Que Dieu les garde et les protège.

À mes soeurs Nacéra, Amina, Samiha et mon cher frère Mohamed.

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

A ma chère amie, ma binôme Djedjiga qui m'a partagé tous les difficultés relatives au suivi de ce travail et chez qui j'ai trouvé l'entente dont j'avais besoin.

À mes chers ami (e)s : Rafika, Amina, Cherifa, Karima, Nadia, Ichrak, Fatma Zohra, Ibrahim, toute mon amitié.

A toutes les personnes qui connaissent Aïcha de près ou de loin.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à Mr DJATOUF Abdelouahab qu'il a fait preuve d'une grande patience et a été un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ces orientations ainsi que son soutien moral nous a permet de mener à terme de ce projet son encadrement était des plus exemplaires.

Aïcha

Sommaire

RÉSUMÉ

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES, DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE 1

I. partie théorique

CHAPITRE I : NAVIGATION DE SURFACE RNAV 3

I.1 Introduction 3

I.2 Contexte général de RNAV 3

I.3 Les différents Types de procédures d'approche RNAV 4

I.4 Les Avantages de système RNAV 5

I.5 Les problèmes actuels de système RNAV 6

I.6 Fonctionnement de système RNAV 6

I.7 Fonction de base du système RNAV 6

I.8 Les Exigences de système RNAV 9

I.9 Processus général d'approbation RNAV 10

I.10 Approbation de système RNAV pour les opérations RNAV-X 10

I.11 La Mise en Œuvre de système RNAV 12

I.12 Besoins fonctionnelle de la navigation 14

I.13 Besoins Opérationnels 15

I.14 Méthode de positionnement de RNAV 16

I.15 Point de cheminement 16

I.16 Les tolérances 17

I.17 Les procédures RNAV 20

I.18 Attente RNAV 21

CHAPITRE II : QUALITE DE NAVIGATION REQUISE RNP 23

II.1 Introduction 23

II.2 système RNP 23

II.3 Opération RNP 23

II.4 Les fonctions de base de système RNP 24

II.5 Capacité du système de navigation(RNP) 25

II.6 Les critères de performance de navigation	25
II.7 Désignations RNP futures	26
II.8 Approbation de systèmes RNP pour opérations RNP-X	26
II.9 surveillance des performances et d'alertes à bord	26
II.10 rôle de la surveillance et alerte à bord	28
II.11 exigences de surveillance de performance et alerte pour l'RNP (RNP4, RNP 1 de base et RNP APCH	29
II.12 Application de la RNP dans un espace aérien	30
II.13 La mise en œuvre du système RNP	30
II.14 Relation entre la RNP et les minimums de séparation	33
II.15 Fourniture des services pour la RNP	34
CHAPITRE III DESCRIPTION DU CONCEPT PBN	35
III.1 Historique de la Navigation fondée sur les performances (PBN)	35
III.2. Manuel de la navigation fondée sur les performances	36
III.3 Définition de la PBN	37
III.4 Les principaux avantages de la PBN	38
III.5 Le contexte de la navigation fondée sur les performances(PBN)	38
III.6 La stratégie de transition	44
III.7 Le concept d'espace aérien	45
III.8 Conception des procédures de vol aux instruments	47
CHAPITRE IV : PROCEDURES D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS PBN	51
IV.1 Introduction	51
IV.2 Concepts RNAV	51
IV.3 RNAV avec GNSS de base	53
IV.4 RNAV DME/DME	54
IV.5 RNAV VOR/DME	55
IV.6 Critères généraux pour les récepteurs GNSS SBAS	57
IV.7 Longueur minimale d'un segment limité par deux points de cheminement	58
IV.8 Protection des virages et évaluation des obstacles	61
IV.9 Construction de procédures RNAV avec configuration en T ou en Y	63
IV.10 Altitude d'arrivée en région terminale (TAA)	65
IV.11 Application du bloc de données FAS pour le SBAS et le GBAS	66
IV.12 Procédures d'arrivée et d'approche	69

IV.13 Procédures d'approche classique	70
IV.14 APV/navigation verticale barométrique (BARO-VNAV)	72
IV.15 Procédures APV I/II — SBAS	74
IV.16 procédures d'approche de précision — GBAS	75
IV.17 Procédures d'attente	77

II. partie pratique

CHAPITRE V: APV/NAVIGATION VERTICALE BAROMETRIQUE (BARO-VNAV)	80
V.1 Introduction	80
V.2 Généralités	80
V.3 Application de la VNAV barométrique	81
V.4 Infrastructure d'aides à la navigation	81
V.5 Spécification de navigation	81
V.6 Conditions normales	83
V.7 Segment APV	83
CHAPITRE VI: ÉTUDE D'UNE PROCÉDURE D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS APV/NAVIGATION VERTICALE BAROMETRIQUE (BARO-VNAV) POUR LE QFU 23 DE LA PISTE DE L'AEROPORT D'ALGER/HOUARI BOUMEDIENE	92
VI.1 Généralité sur l'aéroport d'Alger Houari Boumediene	92
VI.2. Étude du Segment APV Baro-VNAV	97
VI.3. Obstacles d'aérodrome illustré dans l'AIP pour l'aéroport houari Boumediene	100
VI.4. Quelques obstacles situés sur la carte topographique de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene	105
CONCLUSION GENERALE	108

ANNEXES

ABREVIATIONS

BIBLIOGRAPHIE

Liste des figures

Figure. I.2	: Navigation conventionnelle comparée à la RNAV	4
Figure. I.7	: Fonction de base d'un système RNAV	7
Figure. I.11	: Exemple d'application de spécifications RNAV à des routes ATS et à Des procédures aux instruments	15
Figure.I.15.1.1	: Point de cheminement par le travers	17
Figure.I.15.1.2	: Point de cheminement à survoler	17
Figure.I.16	: Tolérances RNAV	18
Figure.II.5	: Capacité du système de navigation(RNP)	25
Figure.II.9.1	: Erreurs de navigation latérale	27
Figure .II.9. 2	: Erreur de navigation le long de la trajectoire	28
Figure.III.1	: Evolution de la Navigation	35
Figure.III.5	: Le concept de la PBN	38
Figure.III. 5.2.3	: Désignations de spécifications de navigation	41
Figure.III.5.2	: Utilisation des spécifications de navigation	44
Figure.III.7	: Relation du concept PBN et concept d'espace aérien	46
Figure.III.8.1	: Conception des procédures conventionnelles	48
Figure.III.8.2	: Conception des procédures de RNAV	49
Figure.III.8.3	: Conception de procédure RNP APCH (à gauche) et de Procédure RNP AR APCH (à droite)	49
Figure.IV.7.4	: Détermination de la distance minimale de stabilisation	61
Figure.IV.11.4.1	: Emplacement du FPAP (pas d'ILS pour l'approche)	68
Figure.IV.11.4.2.a	: Emplacement du FPAP (il y a un ILS et le LOC est à plus de 305 m maximum de l'extrémité de la piste)	69
Figure.IV.11.4.2.b	: Emplacement du FPAP (il y a un ILS et le LOC est à plus de 305 m de l'extrémité de la piste)	69
Figure.IV.13.2	: Emplacement du MAPt	72
Figure.IV.16.5	: Segment de précision	77
Figure.IV.17.5.1	: Attente en RNAV pour systèmes RNAV avec Fonctionnalité d'attente	79
Figure.V.7.2.1	: Aire APV Baro-RNAV — Surfaces OAS APV vues en plan	84
Figure.V.7.2.2	: Représentation des OAS APV	84
Figure.V.7.3.1	: Surface d'approche finale VNAV et VPA minimal	85
Figure.V.7.3.C.1	: Vue en plan de la surface d'évaluation d'obstacles destinée protéger les aéronefs utilisant une indication de pente de descente angulaire	86
Figure.V.7.3.C.2	: Vue en profil de la surface d'évaluation d'obstacles destinée à protéger les aéronefs utilisant une indication de pente de descente angulaire	87
Figure.V.7.3.3	: Calcul de XZ	88
Figure .V.7.5	: Calcul de ha à partir de hma	90

Figure. VI.1 : Les moyens d'aide à la navigation et à l'atterrissage qui sont sur l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene

Liste des tableaux

Tableau III.5.2.4	: Les spécifications de navigation existantes et nouvelles	43
Tableau IV. 3.1.1	: Les valeurs de la TSE latérale	54
Tableau IV.11.3	: Les Spécifications de qualité	67
tableau VI.1.a	: Les caractéristiques physiques de deux pistes de l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene	93
Tableau IV.1.b	: Les distances déclarées pour les pistes d'Alger Houari Boumediene	94
Tableau VI.1.c	: Les deux scénarios de pistes d'Alger Houari Boumediene	95
Tableau VI.1.d	: Les aides de radionavigation et d'atterrissage qui sont sur L'aérodrome d'Alger Houari Boumediene	96
Tableau VI.3.a	: Obstacles d'aérodrome illustrés dans l'AIP pour l'aéroport d'Alger Houari Boumediene	101
Tableau.VI.3.b	: Obstacles d'aérodrome illustrés dans l'AIP pour l'aéroport d'Alger Houari Boumediene	102
Tableau.VI.4	: Quelques obstacles situés sur la carte topographique de l'aéroport d'Alger Houari Boumediene	105

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement continu de trafic aérien rend nécessaire l'utilisation optimale de l'espace aérien.

Au cours des années 1980 le conseil de l'OACI a examiné cette croissance régulière de l'aviation internationale ainsi que les prévisions de croissance du trafic, vue qu'il a constaté que les systèmes et les procédures appliquées par l'aviation avaient atteint leurs limites, a conclu qu'il fallait engager une analyse et une réévaluation approfondies des méthodes et des techniques utilisées ; en 1983 il a créé le comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne (FANS) à fin de pallier à ce constat, ce comité était chargé de faire des recommandations en vue du développement de la navigation aérienne sur une période de 25 ans. [2]

Le comité FANS constata qu'il serait nécessaire de mettre au point de nouveaux systèmes à fin de s'affranchir les limites des systèmes classiques. En 1989, le Conseil de l'OACI institua le Comité spécial chargé de surveiller et de coordonner le développement du futur système de navigation aérienne et la planification de la transition (FANS Phase II), qui est devenu le concept de « systèmes de communication, navigation et surveillance/gestion du trafic aérien (CNS/ATM) » à savoir que la gestion du trafic aérien repose sur la communication, la navigation et la surveillance utilisant des technologies numériques, y compris les satellites avec des niveaux d'automatisation différents, appliquée à l'aide du système mondial de gestion du trafic aérien.

L'efficacité opérationnelle améliorée provenant de l'application des techniques de navigation a abouti au développement d'applications qui ont amené lors de leurs implantations dans diverses régions dans le monde et pour toutes les phases de vol de nouvelles techniques comme la navigation de surface RNAV qui représente un changement fondamental dans la philosophie de la navigation aérienne, qui permette de suivre toute trajectoire voulue à l'intérieur de la couverture des aides à la navigation situés au sol ou dans l'espace, de même des limites de capacité des systèmes de bord autonomes (INS), grâce aux conséquences qu'elle apporte (moins de temps de vol, moins de consommation de carburant...etc.). [4]

Pour les vols intérieurs, les systèmes initiaux utilisaient pour déterminer leurs positions, des moyens implantés au sol tels que les VOR, NDB et LOCATOR et pour les

Introduction générale

vols océaniques, des systèmes de navigation inertielle (INS) étaient utilisés. Les progrès technologiques ont apportés plus de précision de redondance et de surveillance des performances possibles d'un système.

Des critères ont été établis pour l'espace aérien et les marges de franchissement d'obstacles sur la base des performances de l'équipement existant, et les spécifications d'exigences ont été basées sur les moyens existants. Dans certains cas, il a été nécessaire d'identifier individuellement les modèles d'équipement qui pouvaient être utilisés à l'intérieur de l'espace aérien concerné. Ces spécifications prescriptives ont eu pour résultat des retards dans l'introduction des nouvelles possibilités du système RNAV et des coûts plus élevés pour le maintien de la certification appropriée. Pour éviter de telles spécifications prescriptives d'exigences, une autre méthode a été introduite pour définir les besoins d'emport d'équipement en spécifiant les exigences en matière de performances, il s'agit de la navigation fondée sur les performances (PBN).

Durant notre travail qu'on a effectué consiste essentiellement à Concevoir des procédures d'approche RNP APCH: APV avec Baro-VNAV avec Baro-VNAV pour le QFU 23 de la piste de l'aéroport d'Alger/Houari Boumediene. [2]

Les questions qu'ont été posées lors de notre étude sont :

- Est-ce que la mise en œuvre de RNP est nécessaire pour l'Aéroport d'Alger/Houari Boumediene ?
- Pour l'implantation de concept RNP quelles sont les exigences essentielles pour exaucer sa mise en œuvre ?

Dans le cadre de cette étude on a obéi le plan de travail suivant :

- ➔ Introduction générale.
- ➔ La navigation de surface RNAV.
- ➔ Qualité de Navigation Requise RNP.
- ➔ Description du concept PBN.
- ➔ Procédures d'approche aux instruments PBN.
- ➔ APV/navigation verticale barométrique (BARO-VNAV).
- ➔ Étude d'une procédure d'approche aux instruments APV/navigation verticale barométrique (BARO-VNAV) pour le QFU 23 de la piste de l'aéroport d'Alger/Houari Boumediene.
- ➔ Conclusion générale.

Partie théorique

Chapitre I

La navigation de surface RNAV

Chapitre I. La navigation de surface RNAV

I.1 Introduction

Auparavant, pour qu'un aéronef puisse naviguer dans un espace aérien, il s'appuie sur des signaux directs résultant d'aides de navigation basées au sol. Toutefois, ce type de navigation comprend des inconvénients tels que :

- les routes dépendent de l'emplacement des radiophares de navigation ce qui amène à introduire des routes longues,
- les routes d'arrivées et de départ étant contraignantes à cause des contraintes locales (relief,...),
- le coût qui s'applique à l'installation d'aides de radionavigation basées au sol.
- de plus les surface de protection contre les obstacles sont étendues ce qui produit une augmentation de l'erreur du système de navigation.

En revanche, pour remédier ces inconvénients l'OACI constata qu'il serait nécessaire de mettre au point de nouveaux systèmes à fin de s'affranchir à ces limites, grâce à la progression continu des applications techniques de navigation qui ont amené lors de leurs implantations dans diverses régions dans le monde et pour toutes les phases de vol de nouvelles techniques comme la navigation de surface . Cette méthode a été évoluée de manière analogue le long de routes sous la couverture des aides à la navigation situés au sol ou dans l'espace spécifiques bien défini alors que même leurs performances ont été évaluées par une combinaison d'analyse et d'essais en vol. [1], [2], [5], [8]

Les systèmes RNAV de bord avancés appuyés dans la navigation de surface réalisent un degré de précision des performances de navigation prévisible, ce qui, ensemble avec un niveau de fonctionnalité approprié, permet une utilisation plus efficiente de l'espace aérien disponible.

I.2 Contexte général de RNAV

La RNAV est une technique qui autorise les opérations aériennes sur une trajectoire désirée sous une couverture d'aides à la navigation basées au sol ou dans l'espace ainsi des systèmes de bord autonomes. Ceci élimine la restriction exigée sur les voies aériennes et les procédures classique,[2] ce qui donne par conséquent la souplesse opérationnelle et

efficience lors de la conception des routes de plus une utilisation optimale de l'espace aérien. [6], [11], [19]

Les diversités existantes de possibilités de fonctionnement au niveau de systèmes embarqués ont abouti à un certain degré d'incertitude et de confusion quand les aéronefs exécutent **les opérations RNAV**. Les systèmes RNAV vont des systèmes fondés sur un seul capteur vers des systèmes basés sur des multiples capteurs de navigation. A savoir que ces systèmes aussi peuvent être connecté avec d'autres systèmes comme le pilote automatique/directeur de vol, ce qui accède une gestion aérienne plus automatique et permet d'atteindre les performances demandées. [1], [7]. Malgré les différences dans l'architecture et l'équipement, les types de fonctions de base que comprend l'équipement RNAV sont communs.

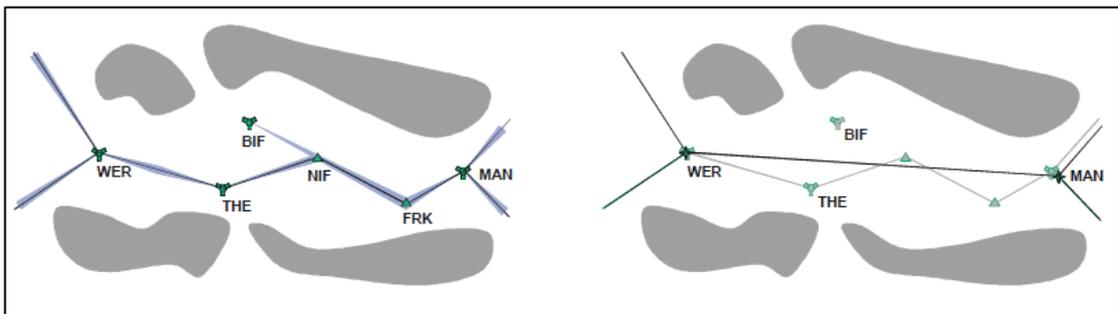


Figure. I.2 : Navigation conventionnelle comparée à la RNAV, [2]

I.3 Les différents Types de procédures d'approche RNAV

I.3.1 La RNAV de base

La RNAV de base est un système de navigation de surface adopté par la commission européenne de l'aviation civile (CEAC). La norme Concernant la RNAV de base exige que l'équipement ait une précision en position de ± 5 milles marins (mm) ,95% de temps (une limite qui représente la capacité d'accès des aéronefs qui sont équipé par exemple RNAV 5 dans un espace aérien exigé de ce système. Cependant, dans le cas où cette capacité est inférieure à cette limite dans ce type de procédure d'approche RNAV n'est pas applicable et le vers versa. [3], [5]

Depuis le 23 avril 1998, la RNAV de base est obligatoire et doit être le principal système de navigation dans la plus grande partie de l'espace aérien européen. Tous les aéronefs en vol IFR dans cet espace aérien doivent être équipés d'un système RNAV de base conforme à la norme stipulée. Les aéronefs qui subissent une panne du système RNAV en route, mais dont la précision en position demeure conforme à la norme RNP 5

grâce à la station de radiophare omnidirectionnel VHF/équipement de mesure de distance (VOR/DME), sont limités aux routes de l'espace aérien inférieur désigné par les Etats concernés. [1]

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. Estimer

I.3.2 La RNAV de précision

Avec des performances de navigation égale ou supérieures à une précision de tenue de route de plus ou moins 1NM durant 95 % du temps de vol, ce niveau de précision est réalisé actuellement par les avions dotés de possibilités égales ou supérieures à celles du système automatique de localisation à recalage permanent par DME/DME. [7]

I.3.3 La RNAV libre

Opération RNAV dans le cadre de laquelle des itinéraires peuvent être planifiés sur des segments non définis dans une région d'information de vol (FIR) ou certaines parties de la FIR au sein de la zone CEAC, et peuvent faire l'objet de limitation de niveau de vol. [2], [8]

I.4 Les Avantages de système RNAV

- Rendre l'aéroport plus accessible (relief, météo, ...)
- Faire des approches finales dans l'axe de piste
- D'éviter certaines contraintes liées au survol des reliefs, des villes, et des zones à statut particulier
- Diminuer le temps de vol
- Répondre aux besoins des usagers de l'espace aérien
- Améliorer le guidage
- Une plus grande liberté latérale aux aéronefs
- Une utilisation plus complète de l'espace aérien
- Permet l'établissement des routes parallèles
- Séparation du trafic sur la base de la vitesse
- Vol vers les destinations qui ne sont pas desservies par aides à la navigation.

I.5 Les problèmes actuels de système RNAV

- ✚ Des variations considérables dans les performances et la trajectoire de vol.
- ✚ Impossibilité de prévoir le comportement des calculateurs de navigation dans toutes les situations.
- ✚ résulte 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.

I.6 Fonctionnement de système RNAV

Les avions équipés RNAV devront se soumettre à des tests de conformité aux normes de précision avant toute certification et approbation par les autorités compétentes. [3]

I.7 Fonction de base du système RNAV

Les systèmes RNAV sont conçus pour assurer un niveau de précision donné, approprié pour l'application, avec une définition de trajectoire reproductible et prédictible. Le système RNAV intègre généralement des informations provenant de capteurs, telles que données aérodynamiques, référence inertielle, radionavigation et navigation satellitaire, ainsi que des intrants qui viennent de bases de données internes, en outre les données que l'équipage introduit pour réaliser les fonctions suivantes :

- Navigation ;
- Gestion de plan de vol ;
- Guidage et contrôle ;
- Affichage et contrôle système.

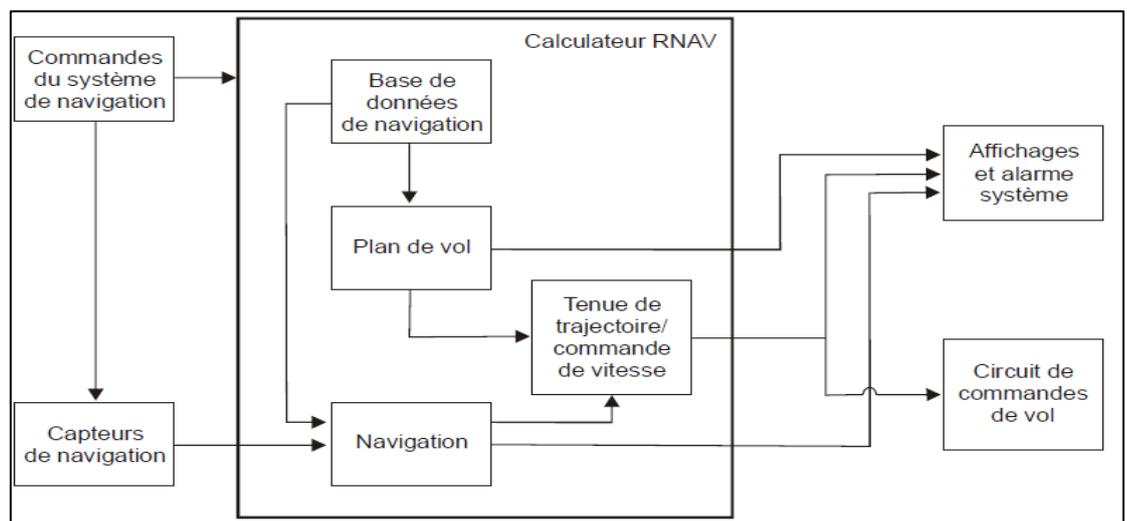


Figure. I.7 : fonction de base d'un système RNAV, [2]

I.7.1 Fonction de Navigation

Ce type de navigation calcule les données suivantes: la position /vitesse, l'angle de route, l'angle de trajectoire verticale, l'altitude avec correction barométrique ainsi les paramètres du vent, comme elle réalise une syntonisation radio automatique et appuyer la syntonisation manuelle. [9]

Cette navigation fondée sur un capteur unique(GNSS), cependant les systèmes utilisés ceux sont des systèmes multi capteurs pour calculer la position/vitesse à l'aide de GNSS, DME, VOR, IRS. Ces système affirmeront la validité et la concordance des données de chaque capteur avant de l'utilisation, à fin d'assurer leurs intégrités et leurs précision venant de ces capteurs, bien qu'il existe une différence de rigueur qui est due aux caractéristiques et aux possibilités introduites lors de la conception de capteurs et équipements.

Dans le cas où ce type de fonction basée sur un système RNAV multi capteur supposé que le capteur GNSS n'est pas disponible alors ce système sélectionne automatiquement un mode d'actualisation à plus basse priorité comme DME/DME ou bien VOR/DME pour calculer la position/vitesse d'A/C, s'ils sont disponibles, si non ce système retourne automatiquement à l'extrapolation par inertie (coasting). En revanche pour le système à capteur simple dans le cas où il tombe en panne il passe à la navigation à l'estime. Autant pour harmoniser automatiquement les stations sol, le système RNAV utilise il son estimation actuelle de sa position et sa base de données interne afin d'obtenir la position radio la plus précise, lors de la progression de l'a/c dans sa trajectoire.[1], [10]

Un guidage latéral et vertical est mis à la disposition du pilote sur l'affichage du système RNAV, en outre fourni à d'autres instruments de visualisation. Généralement, ce guidage est fourni aussi à un système de guidage de vol automatique qui comprend une carte électronique avec symbole d'un avion, la trajectoire de vol souhaitée et les installations au sol, telles que les aides de navigation et les aéroports.[17]

I.7.2 Fonction de Base de données de navigation :

Lors de la disponibilité du système RNAV doit avoir accès à une base de données de navigation qui contient des informations pré stockées relatives à l'emplacement des aides de navigation, points de cheminement, routes ATS et procédures de région terminale, et informations connexes. Ce système emploie ces données pour établir des plans de vol et

pourra aussi procéder à des vérifications croisées entre les informations des capteurs et celles de la base de données. [6]

I.7.3 Fonction d'établissement des plans de vol

La fonction de planification du plans vol crée et assemble le plan de vol latéral et vertical utilise par la fonction de guidage. Un aspect clé du plan de vol est la spécification des points selon la latitude et la longitude, sans référence à l'emplacement des aides à la navigation au sol.

Des systèmes RNAV avancés comprennent une capacité de gestion de performances utilisant des modèles d'aérodynamique et de propulsion pour calculer des profils de vol verticaux adaptés à l'avion et capables de respecter les contraintes imposées par le contrôle de la circulation aérienne. Une fonction de gestion des performances peut être complexe, en utilisant le débit de carburant, de carburant total, de la position des volets, les données et les limitations du moteur, l'altitude, la vitesse anémométrique, le nombre de Mach, la température, la vitesse verticale ...etc. [9]

Les systèmes RNAV fournissent régulièrement des informations de progression de vol pour les points de cheminement en route et les procédures de région terminale et d'approche, ainsi que des informations d'origine et destination. Les informations comprennent l'heure d'arrivée prévue et la distance restant à parcourir, qui sont utiles dans la coordination tactique et de planification avec l'ATC.

I.7.4 Fonction de Guidage et contrôle

Un système RNAV assure un guidage dans le plan horizontal, et souvent aussi un guidage vertical. La fonction de guidage latéral compare la position de l'aéronef générée par la fonction de navigation à la trajectoire de vol dans le sens latéral désirée, et génère ensuite des directives de pilotage qui seront utilisées pour faire évoluer l'avion le long de la trajectoire désirée. [12]

L'erreur de trajectoire de vol est calculée en comparant la position présente de l'avion et sa direction à la trajectoire de référence. La fonction de guidage vertical, lorsqu'elle est incluse, est utilisée pour piloter l'avion le long du profil vertical en respectant les contraintes imposées par le plan de vol. [5]

I.7.5 Fonction d’Affichage et contrôle système :

Les affichages et contrôles du système fournissent les moyens d’initialisation des systèmes, de planification des vols, de déviations de trajectoire, de suivi de progression, de contrôle de pilotage actif et de présentation de données de navigation pour renforcer la conscience de la situation chez les navigants. [13]

I.8 Les Exigences de système RNAV

I.8.1 Exigences fonctionnelles de la navigation :

La spécification RNAV comporte des exigences relatives à certaines fonctionnalités de navigation. Au niveau de base, ces exigences fonctionnelles peuvent comprendre :

- l’indication continue de la position de l’aéronef par rapport à la route, à présenter sur un visuel de navigation situé dans le champ primaire de vision du pilote aux commandes ;
- un affichage de distance et de relèvement par rapport au point de cheminement actif (TO);
- un affichage de la vitesse sol ou du temps restant jusqu’au point de cheminement actif (TO) ;
- une fonction de mémorisation de données de navigation ;
- une indication appropriée de panne du système RNAV, y compris les capteurs. [1]

I.8.2 Exigences imposées sur le système RNAV :

Les spécifications de navigation sont utilisées par les Etats comme base pour la certification et l’approbation 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 comprennent les éléments suivants :

- Les performances requises du système de navigation de surface en termes de précision, d’intégrité, la continuité et la disponibilité.
- Les fonctions disponibles dans le système de navigation de surface de façons 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.

- Les procédures d'équipages de conduite et autres nécessaires pour atteindre les performances visées du système de navigation de surface.

I.8.3 Exigences spécifiques des SID RNAV :

Avant le décollage, le pilote doit vérifier que le système RNAV de l'aéronef est disponible, qu'il fonctionne correctement et que les données correctes d'aéroport et de piste sont chargées. Avant le vol, le pilote doit vérifier que le système de navigation de bord fonctionne correctement et que la piste et la procédure de départ correctes (y compris toute transition en route applicable) ont été introduites et sont correctement décrites. Les pilotes auxquels est assignée une procédure de départ RNAV et qui touche ultérieurement une modification de piste, de procédure ou de transition doivent vérifier que les changements appropriés sont introduits et sont disponibles pour la navigation avant le décollage. [2], [10], [22]

Pour l'Altitude d'engagement de la RNAV le pilote doit être capable d'utiliser l'équipement RNAV en suivant le guidage de vol pour la RNAV latérale au plus tard 153 m (500 ft) au-dessus de l'altitude de l'aéroport. L'altitude à laquelle commence le guidage RNAV sur une route donnée peut être plus haute (p. ex. montée jusqu'à 304 m [1 000 ft] puis directement jusqu'à ...etc.).

I.8.4 Exigences spécifiques des STAR RNAV :

Avant la phase d'arrivée, l'équipage de conduite doit vérifier que la route terminale correcte a été chargée. Le plan de vol actif devrait être vérifié en comparant les cartes aériennes avec les visualisations cartographiques (le cas échéant) et le MCDU. Ceci comprend la confirmation de la séquence de points de cheminement, de la vraisemblance des angles de route et des distances, de toutes contraintes d'altitude ou de vitesse, et si possible, des points de cheminement à prendre par le travers (*Fly-by*) et de ceux qui sont à survoler (*Fly-over*). Si une route l'exige, une vérification devra être faite pour confirmer que l'actualisation exclure une certaine aide de navigation. Il ne faut pas qu'une route soit utilisée s'il existe des doutes quant à sa validité dans la base de données de navigation.[15]

I.9 Processus général d'approbation RNAV :

Le processus d'approbation opérationnelle suppose d'abord que l'approbation de l'installation/approbation de navigabilité correspondante a été accordée.

Les procédures normales sont prévues dans la spécification de navigation, y compris un exposé détaillé qui doit faire par l'équipage pendant la planification pré vol, avant d'entreprendre la procédure et pendant la procédure.

Les procédures occasionnelles sont prévues dans la spécification de navigation, y compris un exposé détaillé qui doit faire par l'équipage en cas de défaillance du système RNAV de bord ou d'incapacité du système à maintenir la performance prescrite des fonctions de surveillance et alerte à bord. [2], [4]

I.10 Approbation de système RNAV pour les opérations RNAV-X :

Les systèmes RNAV installés doivent être conformes à un ensemble d'exigences de performances de base décrites dans la spécification de navigation, qui définit les critères de précision, d'intégrité et de continuité. Ils devraient aussi être conforme à un ensemble d'exigences fonctionnelles spécifiques, posséder une base de données de navigation et prendre en charge chacun des codes parcours-extrémité spécifiques qu'exige la spécification de navigation.

Pour un système RNAV multi- capteurs, une évaluation devrait être effectuée pour établir quels capteurs sont en conformité avec les exigences de performances que décrit la spécification de navigation.

La spécification de navigation indique généralement s'il faut une installation unique ou en double pour remplir les exigences de disponibilité et/ou de continuité. Le concept d'espace aérien et l'infrastructure d'aides à la navigation sont les éléments clés pour décider s'il faut une installation unique ou en double.

Le processus d'approbation opérationnelle suppose d'abord que l'approbation de l'installation/approbation de navigabilité correspondante a été accordée.

Les procédures normales sont prévues dans la spécification de navigation, y compris un exposé détaillé de ce que doit faire l'équipage pendant la planification pré vol, avant d'entreprendre la procédure et pendant la procédure.

Des procédures occasionnelles sont prévues dans la spécification de navigation, y compris les actions détaillé de l'équipage a menées à bord en cas de défaillance du système RNAV et en cas d'incapacité du système à maintenir les fonctions de surveillance des performances et alerte à bord prévues. [2]

L'exploitant doit mettre en place un système d'enquête sur les événements touchant la sécurité des opérations en vue de déterminer leurs origines.

La liste minimale d'équipements (LME) doit identifier le matériel minimum nécessaire pour satisfaire l'application de navigation.

I.11 La Mise en œuvre de système RNAV :

I.11.1 Mise en œuvre RNAV 10 :

Les aéronefs doivent être équipés d'au-moins deux systèmes indépendants de navigation longue portée; toute combinaison d'INS/IRU ou GNSS satisfait aux exigences RNP 10. Aussitôt d'un vol en espace aérien ou sur des routes désignés RNP 10, l'erreur latérale totale du système doit être de 10 NM au plus de chaque côté de la trajectoire pendant au moins 95% du temps de vol total; l'erreur longitudinale doit être de 10 NM au plus pendant au moins 95% du temps de vol. [2]

En opération normale, toute erreur ou écart latéral (différence entre la trajectoire calculée par le système RNAV et la position de l'aéronef par rapport à la trajectoire) ne devrait pas dépasser la moitié de la précision associée à la route, soit 5 NM.

La mise en œuvre de la RNP 10 pour des minimums de séparation basés sur la distance de 10 NM dans le sens latéral et 10 NM dans le sens longitudinal dans l'espace aérien océanique ou éloigné, il n'exige pas de surveillance des performances et alerte à bord.

La désignation demeure comme « RNP 10 » en ce qui concerne l'approbation de navigabilité et opérationnelle, ainsi que pour les routes/l'espace aérien, pour évoquer l'origine de publications actuelles et de nombreuses approbations.

I.11.2 Mise en œuvre RNAV 5 :

La RNAV 5 est une spécification de navigation en route pouvant servir dans la partie initiale d'une STAR, jusqu'à 30 NM de l'aéroport.

Les critères pour les opérations dans l'espace aérien où est déjà requis l'emport d'équipement RNAV répondant au critère de précision latérale de 5 NM. Cela évite d'avoir à obtenir de nouvelles approbations dans d'autres régions ou zones où la RNAV doit être mise en œuvre avec les mêmes exigences de précision latérale et fonctionnelles. [5]

La RNAV 5 a été mise en œuvre dans certaines zones où il n'y a pas de surveillance, ce qui a exigé un espacement accru entre les routes pour assurer le respect du niveau de sécurité visé.

La spécification RNAV 5 n'exige pas d'alerte au pilote en cas d'erreurs de navigation excessives. Cette spécification n'exigeant pas l'emport de systèmes RNAV en double, le risque de perte des moyens RNAV exige un autre moyen de navigation.

Les systèmes RNAV 5 permettent la navigation des aéronefs le long de toute trajectoire de vol désirée à l'intérieur de la couverture des aides de navigation à référence sur station (spatiales ou terrestres) ou dans la limite des possibilités d'aides autonomes, ou selon une combinaison des deux méthodes. [5], [7], [26]

Les opérations RNAV 5 sont basées sur l'utilisation d'équipement RNAV qui détermine automatiquement la position de l'aéronef dans le plan horizontal en utilisant les apports d'un des types ou d'une combinaison des types de capteurs suivants, ensemble avec les moyens d'établir et de suivre une trajectoire désirée :

- ❖ VOR/DME ;
- ❖ DME/DME ;
- ❖ INS ou IRS ;
- ❖ GNSS.

La RNAV 5 est utilisée pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de la phase de croisière en espace aérien continental.

II.11.3 La Mise en œuvre RNAV 1 et la RNAV 2:

La spécification de navigation RNAV 1 et 2 est applicable à toutes les routes ATS, y compris en route, les départs normalisés aux instruments (SID) et les routes d'arrivées normalisées en région terminale (STAR). Elle s'applique également aux procédures d'approche aux instruments jusqu'au repère d'approche final FAF.

La spécification de navigation RNAV 1 et 2 est principalement développée pour les opérations RNAV dans un environnement terminal avec couverture radar (pour les SID, la couverture est prévue avant le premier changement de cap RNAV). La spécification de navigation RNP 1 de base est destinée des opérations similaire en dehors de la couverture radar. Bien que les spécifications RNAV 1 et RNAV 2 peut être utilisées dans un environnement non- radar ou au-dessous de l'altitude de guidage minimum (MVA) si la

mise en œuvre de l'État assure des systèmes de sécurité appropriée et prend en considération l'absence de surveillance de performance et d'alerte. [1], [3]

Les opérations RNAV 1 et RNAV 2 sont fondées sur l'utilisation de l'équipement RNAV qui donne automatiquement la position horizontale de l'aéronef avec capteurs de position de types suivants (sans priorité) :

- GNSS ;
- Des données de position d'autres capteurs de navigation peuvent être intégrées à des données GNSS à condition qu'elles ne risquent pas de causer des erreurs de position. [1]

Les routes RNAV 1 et RNAV 2 sont prévues pour être réalisées dans des environnements de communications contrôleur pilote.

Les spécifications de navigation RNAV 1 et RNAV 2 sont utilisées pour maintenir des opérations RNAV dans le cadre de la phase de croisière de SID, de STAR et d'approches jusqu' au FAF/FAP.

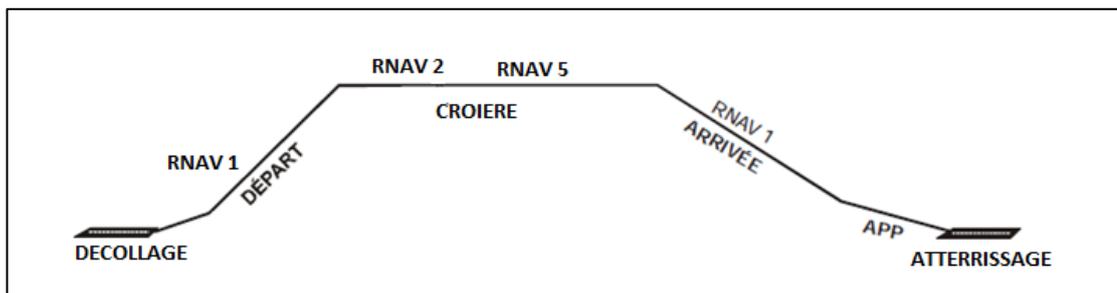


Figure. I.11: Exemple d'application de spécifications RNAV à des routes ATS et à Des procédures aux instruments, [2]

I.12 Besoins fonctionnelle de la navigation :

La spécification RNAV comprend des exigences pour certaines fonctionnalités de navigation au niveau de base, ces exigences fonctionnelles peuvent inclure :

1. L'indication continue de la position de l'avion par rapport à la route doit être affichée au pilote sur un écran de navigation située dans son champ primaire de vision ;
2. L'affichage de la distance et le relèvement du point de cheminement actif;
3. L'affichage de la vitesse au sol ou le temps du point de cheminement ;
4. La fonction de stockage des données de navigation, et
5. Indication de panne appropriée du système RNAV y compris les capteurs.

I.13 Besoins Opérationnels :

I.13.1 Equipement RNAV :

I.13.1.1 Description du système :

Par le traitement des données en provenance d'un ou plusieurs capteurs l'équipement de navigation de surface détermine la position de l'aéronef et peut lui transmettre des instructions de vol appropriées. La détermination de la position de l'aéronef dépend de facteurs tels que la disponibilité et la précision des capteurs, les spécifications du signal (par exemple puissance à la source, dégradation en cours de transmission). La détermination de la position peut s'opérer au moyen des sources suivantes :

- Mesures de distance en provenance de deux stations au sol de mesure de distance (DME-DME) ou plus ;
- Radiophare omnidirectionnel VHF(VOR) complanté avec un DME (VOR /DME) ;
- Système de navigation inertielle (INS) ;
- Système mondial de satellites de navigation(GNSS) /système mondial de localisation(GPS).

Ces divers capteurs peuvent être utilisés séparément ou non pour calculer la position de l'aéronef. Les paramètres de navigation tels que la distance ou le relèvement par rapport à un point de cheminement sont calculés à partir de la position de l'aéronef et de celle du point de cheminement. [1],[2]

Un aéronef peut automatiquement déterminer sa position depuis une ou plusieurs sources d'information : VOR, DME, GNSS, INS.

I.13.1.2 Limitation opérationnelles générales :

Des limitations d'ordre opérationnel doivent être imposées lors de l'utilisation de certains types d'équipements de navigation de surface, en raison de la disponibilité et de l'intégrité des divers systèmes de capteurs, des effets de la propagation et des erreurs systématiques, ainsi que des risques d'interférence avec des capteurs de sources extérieures. [2]

I.14 Méthode de positionnement de RNAV :

I.14.1 Le système RNAV :

Un système de navigation qui permet le fonctionnement de l'appareil sur une trajectoire de vol désirée à l'intérieur de la couverture de la station de référence ou des aides à la navigation dans les limites de la capacité d'auto – aides, ou une combinaison de ces éléments :

- Identifie le prochain waypoint
- Sélectionne la source de navigation la plus appropriée pour calculer sa position
- Une trajectoire RNAV peut être suivie manuellement
- Fournit des informations au pilote automatique pour suivre la trajectoire.

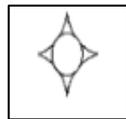
I.15 Point de cheminement :

Un Point de cheminement est un emplacement géographique spécifique utilisé pour définir une route à navigation de surface ou la trajectoire d'un aéronef utilisant la navigation de surface.

I.15.1 Types de point de cheminement :

- **Fly-over waypoint**

Symbole :



- **Fly-by waypoint**

Symbole :



Les points de cheminement sont désignés comme suit :

I.15.1.1 Point de cheminement par le travers :

Point de cheminement qui nécessite une anticipation du virage de manière à intercepter le segment suivant d'une route ou d'une procédure. [1],[5],[9],[17]

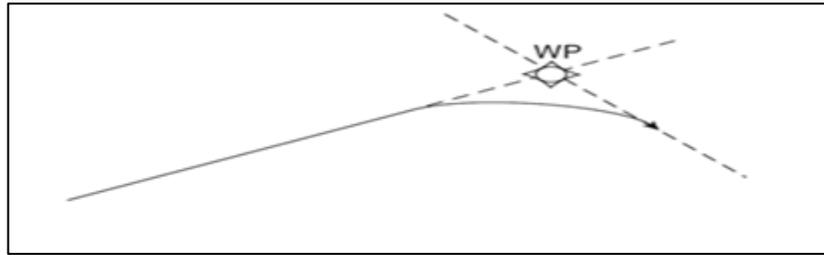


Figure I.15.1.1 Point de cheminement par le travers

I.15.1.2 Point de cheminement à survoler

Point de cheminement auquel on amorce un virage pour rejoindre le segment suivant d'une route ou d'une procédure.

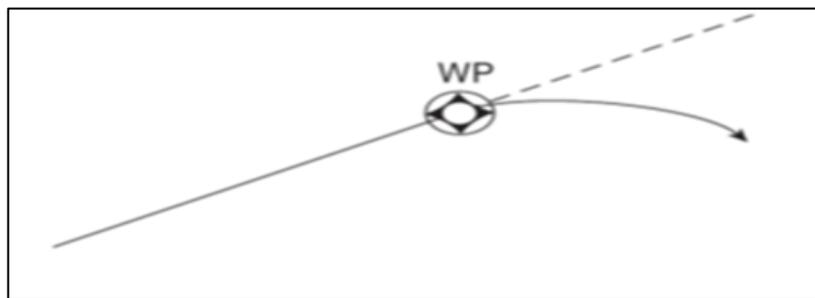


Figure I.15.1.2 Point de cheminement à survoler

- **waypoint stratégique :**
Point important de la procédure destiné à être mémoriser.
- **Waypoint tactique :**
Utiliser uniquement en zone terminale destiné à faciliter le travail d'ATC.
- **Waypoint particuliers :**
Certains waypoint ont des noms spécifiques facilitant leur identification.

I.16 Les tolérances :

Les aires de protection des procédures RNAV dépendent :

- Des tolérances de la station au vol ;
- Des tolérances du récepteur de bord ;
- Des tolérances du calcul de système ;
- Des tolérances techniques de vol ;
- Phase de vol.

Chaque repère WP a une valeur XTT et ATT :

- **XTT** : Tolérance d'écart latéral

Résultant des tolérances des équipements embarqués et de l'équipement au sol ainsi que la tolérance technique de vol (FTT).

➤ ATT : Tolérance d'écart longitudinal

Résultant des tolérances des équipements embarqués et de l'équipement au sol.

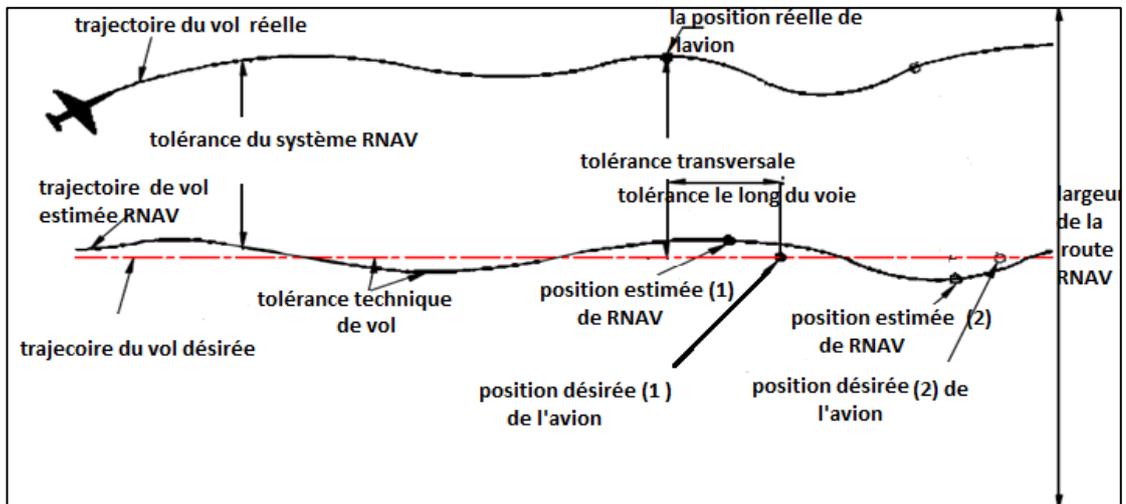


Figure. I.16 : Tolérances RNAV, [1]

I.16.1 le GNSS :

Les récepteurs de GNSS doivent inclure une routine de contrôle d'intégrité qui alerte le pilote lorsque les informations de position ne correspondent pas au niveau requis de fiabilité pour être utilisable en qualité de système de navigation pour les approches classiques.

❖ Précision horizontale

Le niveau admis de Précision horizontale du segment spatial du GNSS est présumé être de 100 m (328 ft) au niveau de confiance de 95%.

❖ Précision/tolérances de système de navigation

Les facteurs dont dépend la précision de système de navigation en RNAV avec GNSS sont les suivants :

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

❖ Tolérance technique de vol (FTT)

La FTT définit la tolérance totale d'écart latéral XTT du système. Elle varie selon le type d'indicateur de position utilisé dans les instruments du poste de pilotage.

❖ XTT, ATT et Demi largeur d'aire

ATT= limite d'alarme du moniteur d'intégrité (IMAL)

XTT = IMAL + FTT

Demi largeur d'aire = 2XTT

I.16.2 DME/DME :

❖ Tolérance technique de vol (FTT)

Elle varie selon le type d'indicateur de position utilise dans les instruments du poste de pilotage. Pour la phase d'arrivée, la FTT dépend aussi de l'emplacement de l'IAF. Il est présumé que la FTT contribue à la tolérance d'écart latéral de la façon suivante :

a. Départ :

- 1) $\pm 0,19$ km ($\pm 0,10$ NM) a la DER ;
- 2) 0,93 km (0,50 NM) pour tous les autres repères ;

b. Arrivée :

- 1) FAF situé a plus de 46 km (25 NM) de l'IAF : 3,70 km (2,00NM)
- 2) FAF situé à moins de 46 km (25 NM) de l'IAF : 1,85 km (100NM)

c. Approche initiale et intermédiaire : ± 185 km (1,00NM)

d. Approche finale et interrompue : 0,93km 0,50NM.

❖ Tolérances de calcul de système

La tolérance de calcul de système (ST) est de $\pm 0,46$ km (0,25 NM).

❖ XTT, ATT

$XTT = \pm (DTT^2 + FTT^2 + ST^2)^{1/2}$

$ATT = \pm (DTT^2 + ST^2)^{1/2}$

Ou : DTT : précision d'utilisation de système DME

ST : tolérance de calcul de système

FTT : **tolérance** technique de vol. [1], [5]

I.16.3 VOR /DME

❖ Tolérance technique de vol (FTT)

Elle varie selon le type d'indicateur de position utilisé dans les instruments du poste de pilotage. Pour la phase d'arrivée, la FTT dépend aussi de l'emplacement de l'IAF.il est présumé que la FTT contribue à la tolérance d'écart latéral de la façon suivante :

a. Départ :

- 1) $\pm 0,19$ km ($\pm 0,10$ NM) a la DER ;
- 2) 0,93 km (0,50 NM) pour tous les autres repères ;

❖ Tolérances de calcul de système

La tolérance de calcul de système (ST) est présumée être 0,93 km (0,50 NM). [1], [7], [11]

I.17 Les procédures RNAV :

I.17.1 procédures VOR / DME :

La protection d'une procédure RNAV est établie en considérant que le système RNAV calcule sa position à l'aide d'un VOR/DME de référence spécifique pour cette procédure.

➤ **Équipement minimal à prendre en compte :**

Afin de définir les critères de conception d'une procédure RNAV, il est supposé que l'aéronef possède un équipement de navigation de surface ayant les caractéristiques suivantes :

- Détermination de la position, en un point donné, avec une précision similaire à celle que fournirait au même point, le VOR /DME de référence à un aéronef non équipé RNAV.
- Base de données pouvant contenir au minimum cinq points RNAV en mémoire et possibilité d'anticiper et de ne pas anticiper les virages. [5]

➤ **Installations de référence :**

Les procédures basées sur une installation de référence composée d'un VOR et d'un équipement DME complante, cette installation devrait être publiée.

Les systèmes de navigation de surface sont généralement contrôlés par l'intermédiaire d'une base de données de navigation.

On accepte a priori que les performances opérationnelles de l'équipement de navigation de surface sont telles que les tolérances prises en compte pour déterminer la précision d'utilisation du système.

Les facteurs dont dépend la précision de navigation de la RNAV VOR/DME sont les suivants :

- Tolérance de station sol ;
- Tolérance du système récepteur embarque ;
- Tolérance technique de vol ;
- Tolérance de calcul du système ;
- Distance par rapport à l'installation de référence.

I.17.2 procédures DME /DME :

➤ **Identification des repères :**

Chaque repère sera publié sous forme de point de cheminement.

➤ **Installations de référence :**

Etant donné qu'il n'est pas possible de savoir quelles installations DME le système embarqué utilisera pour l'actualisation de la position ; il faudrait procéder à une vérification pour garantir la couverture DME appropriée tout le long de la route proposée.

Les systèmes de navigation de surface qui utilisent la procédure doivent être contrôlés au moyen d'une base de données de navigation.

➤ **Équipement embarqué et équipement au sol :**

Pour les procédures proposées fondées sur le DME/DME, le calcul de la tolérance d'écart latérale(XTT), de la tolérance d'écart longitudinal(ATT) et des demi largeurs d'aire se fait en partant une hypothèse prudente selon laquelle le dispositif de mesure de distance DME choisi pour l'actualisation de la position peut être implanté à une portée maximale de réception. [7]

I.17.3 procédures GNSS :

➤ **Identification des repères :**

Chaque repère sera déterminé sous forme de point de cheminement en référence au système géodésique mondial de 1984 WGS-84.

Neuf points de cheminement au maximum seront utilisés dans la procédure d'approche RNAV basée sur le GNSS depuis le point d'approche initiale jusqu'au point de cheminement qui conclut le segment d'approche interrompue.

➤ **Précision de système RNAV au GNSS :**

Il admet que le niveau convenu de précision horizontale du segment spatial GNSS est de 100 m (328 ft) à 95% de fiabilité.

I.18 Attente RNAV :

Les avantages d'utilisation d'une attente RNAV est que les aéronefs équipés de système RNAV ont la latitude de se maintenir sur des trajectoires qui sont définies par un équipement RNAV et d'utiliser des procédures qui sont moins rigides que la procédure appliquée dans les procédures d'attente classiques, l'attente peut être orientée sans sa branche de rapprochement soit dans l'alignement d'une radiale VOR. [1], [2], [5], [9]

De ces avantages résultent d'autres qui sont :

- Utilisation optimale de l'espace aérien en ce qui concerne la localisation et l'alignement des aires d'attente ;
- Dans certains cas, réduction de l'espace aérien ;
- Notons 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 permet également utiliser les procédures d'attente classiques ou RNAV. [1]

I.18.1 Types d'attente RNAV :

On peut définir les trois types d'attente RNAV ci-après :

- Attente RNAV sur un point de cheminement ;
- Attente RNAV sur deux points de cheminement ;
- Attente RNAV sur une aire. [2]

Chapitre II

Qualité de navigation requise

RNP

CHAPITRE II. QUALITÉ DE NAVIGATION REQUISE RNP

II.1 Introduction

Le comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne (FANS) a constaté que, depuis des années, la méthode la plus couramment employée pour indiquer la capacité de navigation exigée consistait à prescrire l'emport obligatoire de certains équipements. Cette méthode avait pour effet de restreindre l'application optimale des équipements embarqués modernes. De plus, avec l'avènement des satellites, elle imposait un processus de sélection de la part de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale. Afin de pallier ces difficultés, le comité a élaboré le concept de qualité de navigation requise, alors désigné en l'anglais par l'expression « required navigation performance capability » (RNPC). Le comité FANS a défini la RNPC comme un paramètre indiquant de la position le long de la route sur la base d'un niveau de confinement approprié. En 1990, ayant noté que les notions de « capability » et de « performance » sont des notions nettement différentes et que la planification de l'espace aérien est liée aux performances mesurées plutôt qu'aux possibilités prévues aux stades de la conception. Le groupe RGCSP a modifié l'appellation RNPC qui est ainsi devenu en anglais « required navigation performance » (RNP). [2]

La précision d'utilisation du système RNP est fondée sur la combinaison de l'erreur de navigation, de l'erreur de récepteur embarqué, de l'erreur d'affichage et de l'erreur technique de vol. Le résultat de cette combinaison est aussi appelé précision de navigation, bien que cette précision de navigation appliquée dans un espace aérien a été spécifiée par les différents types existants de RNP. [2]

II.2 système RNP

C'est un système de navigation de surface qui prend en charge la surveillance et alerte à bord en ce qui concerne les performances.

II.3 Opération RNP

La qualité de navigation requise (RNP) est RNAV avec l'addition d'une surveillance d'exécution à bord et des possibilités d'alerte. Une caractéristique de définition des opérations de RNP est la capacité du système de navigation d'avions de surveiller l'exécution de navigation qu'il réalise et informe l'équipage si le besoin n'est pas répondu

pendant une opération. Ceci des possibilités à bord de surveillance et d'alerte augmente la conscience de la situation du pilote et peut permettre le dégagement d'obstacle réduit ou l'espacement plus étroit d'itinéraire sans intervention par le contrôle du trafic aérien. [1]

Le concept de RNP concerne la précision de navigation qui doit être maintenue par un aéronef volant à l'intérieur d'une zone ou sur une route particulière. Étant donné que les niveaux de qualité de navigation qui sont requis varient d'une zone à l'autre selon la densité de la circulation aérienne et la complexité des routes suivies, les états sont obligatoires de définir un type de RNP pour leurs espaces aériens afin de que les aéronefs puissent naviguer avec le degré de précision requis pour le contrôle de la circulation aérienne. [1], [9]

II.4 Les fonctions de base de système RNP

- ✓ les exigences spécifiques en matière de performances pour le système RNP :
 - La capacité à suivre une trajectoire au sol désirée avec la fiabilité, la prévisibilité, y compris des trajectoires courbes, et
 - Lorsque les profils verticaux sont inclus pour les guidages verticaux, l'utilisation des angles verticaux ou des contraintes d'altitude spécifiées afin de définir une trajectoire verticale.
- ✓ La surveillance des performances et les capacités d'alerte peuvent être fournis sous différentes formes en fonction de l'installation du système, l'architecture et des configurations, y compris :
 - L'affichage et l'indication à la fois de la performance du système de navigation estimée,
 - Le suivi de la performance du système et l'alerte de l'équipage lorsque les exigences RNP ne sont pas atteintes, et
 - L'affichage à l'échelle de l'écart latéral de route, avec une surveillance et alerte distincte à l'intégrité de navigation.
- ✓ Un système RNP utilise ses capteurs de navigation, l'architecture du système et les modes de fonctionnements pour satisfaire aux exigences des spécifications de navigation RNP. Il doit effectuer les contrôles raisonnables d'intégrité des capteurs et des données, et peut fournir un moyen de désactiver des types d'aides à la navigation pour éviter le retour à un capteur insuffisant. Les exigences RNP peuvent limiter les modes de fonctionnement de l'avion.

II.5 Capacité du système de navigation(RNP)

Les opérations de RNP présentent la condition pour la surveillance d'exécution à bord et alerte. Une caractéristique critique des opérations de RNP est la capacité du système de navigation d'avions de surveiller l'exécution de navigation qu'il réalise et à informer l'équipage si le besoin n'est pas répondu pendant une opération. des possibilités à bord de surveillance et d'alerte augmente la conscience de la situation du pilote et peut permettre un espacement plus étroit d'itinéraire sans intervention par le contrôle du trafic aérien (ATC).

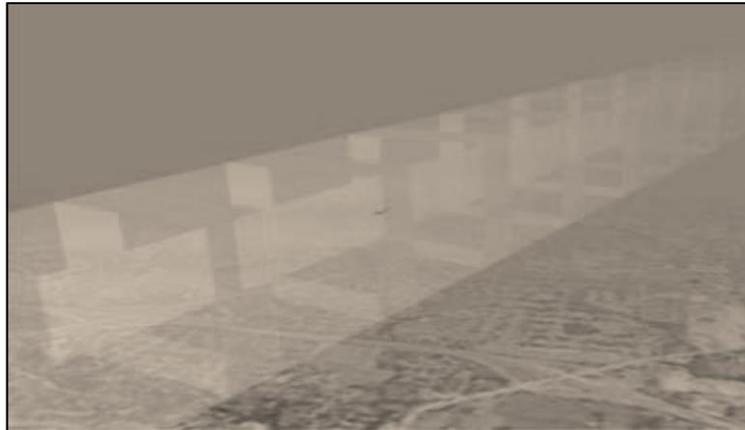


Figure II.5 : capacité du système de navigation(RNP), [13]

II.6 Les critères de performance de navigation

II.6.1 Précision

Degré de conformité entre la position ou 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. La précision de navigation correspond à l'erreur du système total(TSE) admise latéralement et longitudinalement. Dans chaque dimension, la TSE ne doit pas dépasser la valeur correspondante au type de RNP spécifié et ce pendant 95% du temps de vol, quelque portion du vol que ce soit et quel que soit le vol.

II.6.2 Intégrité

Assurance 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.

II.6.3 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).

II.6.4 Continuité de service

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

II.7 Désignations RNP futures

Il est possible que des spécifications RNP pour de futurs concepts d'espace aérien exigent des fonctionnalités supplémentaires sans que l'exigence de précision de navigation soit modifiée. Des exemples de futures spécifications de navigation pourraient inclure des exigences de possibilités de RNP verticale et 4D (incluant le temps). La désignation de telles spécifications devra être abordée dans des développements futurs. [5]

II.8 Approbation de systèmes RNP pour opérations RNP-X

Le système RNP installé devrait être conforme à un ensemble d'exigences de performances RNP de base, décrit dans la spécification de navigation, qui devrait comprendre une fonction de surveillance et alerte à bord en ce qui concerne les performances. Il devrait aussi être conforme à un ensemble d'exigences fonctionnelles spécifiques, posséder une base de données de navigation et prendre en charge chacun des codes parcours-extrémité spécifiques qu'exige la spécification de navigation.

Pour un système RNP multi capteurs, une évaluation devrait être effectuée afin d'établir quels capteurs répondent aux exigences de performances RNP décrites dans la spécification de navigation. [1], [3]

II.9 surveillance des performances et d'alertes à bord

II.9.1 la navigation latérale

L'incapacité à atteindre la précision latérale de navigation requise peut être due à des erreurs de navigation liées au suivi des aéronefs et de positionnements. Les trois

principales erreurs sont les erreurs de définitions de la trajectoire(PDE), une erreur technique de vol(FTE), et erreur du système de navigation (NSE).

L'erreur totale du système(TSE) est définie comme suit :

$$TSE = \sqrt{(FTE)^2 + (NSE)^2 + (PDE)^2} \dots \dots \dots (4)$$

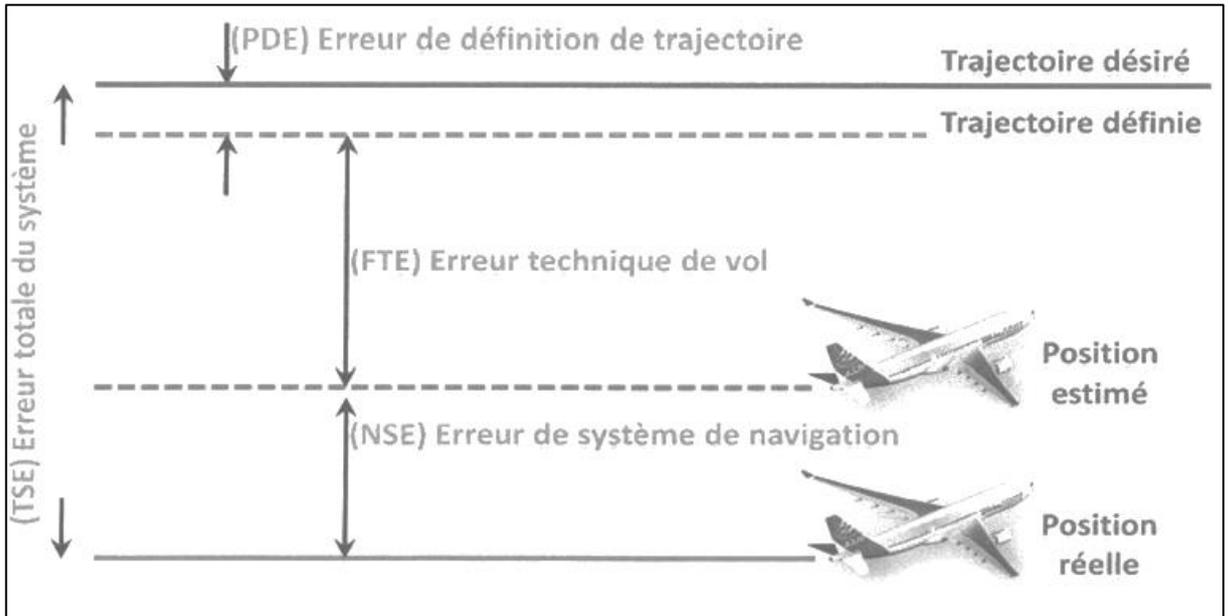


Figure II.9.1 : erreurs de navigation latérale, [2]

La PDE se produit lorsque la trajectoire définie dans le système RNAV ne correspond pas à la trajectoire désirée.

L’FTE se rapporte à l’erreur de l’équipage ou de la capacité du pilote automatique de suivre la trajectoire définie, y compris toutes les erreurs d’affichage.

L’FTE peut être contrôlée par le pilote automatique ou par des procédures de l’équipage. L’appui de la surveillance pourrait être par l’affichage de la carte.

L’NSE est la différence entre la position estimée de l’avion et la position réelle de l’avion.

II.9. 2 la navigation longitudinale

La performance longitudinale de navigation implique le contrôle 4-D. toutefois, à l’heure actuelle, il n’existe pas de spécification de navigation nécessaire un contrôle 4-D, et il n’y a pas FTE dans la dimension longitudinale. Les spécifications de navigation actuelles définissent les exigences de précision le long de la route, qui comprend l’NSE et la PDE. La PDE est considéré comme négligeable. [2], [20], [21]

Les exigences de précision des spécifications RNAV et RNP sont définies pour les dimensions longitudinale et latérale. La surveillance des performances à bord et l'alerte des spécifications RNP sont définies pour la dimension latérale dans le but d'évaluer la performance d'un aéronef. Toutefois, l'NSE est considéré comme une erreur radiale alors que le suivi des performances et alerte à bord est fourni dans toutes les directions.

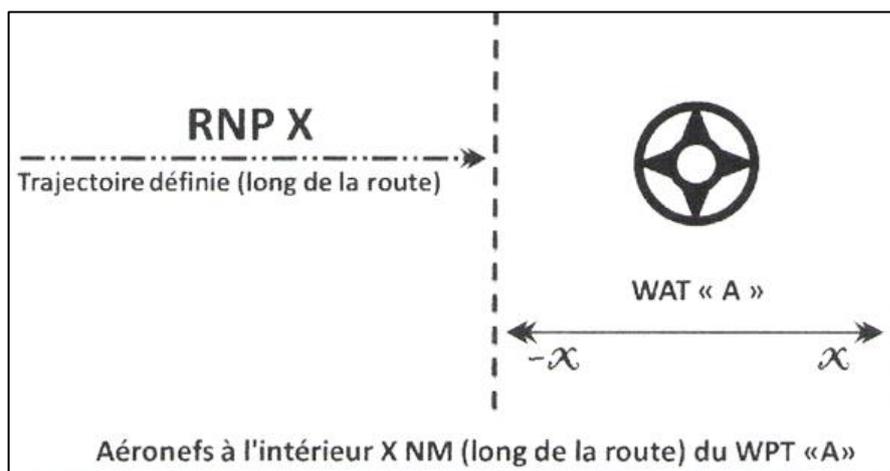


Figure II.9. 2 : erreur de navigation le long de la trajectoire, [2]

II.10 rôle de la surveillance et alerte à bord

La surveillance des performances et alerte à bord accomplissent deux besoins, l'un à bord de l'avion, et l'autre dans le désigne d'espace aérien. La garantie de la performance du système est implicite pour les opérations RNAV. Sur la base des critères de navigabilité en vigueur, les systèmes RNAV sont seulement tenus de démontrer les fonctions voulues et les performances en utilisant des exigences déterminées. Le résultat est que, bien que la performance du système RNAV puisse être très bonne, il est caractérisé par la variabilité de la fonctionnalité du système et les performances de vol. Les systèmes RNP fournissent un moyen de minimiser la variabilité et à assurer des opérations fiables. [3], [24]

La surveillance de performances et l'alerte à bord permettent à l'équipage de détecter si le système RNP satisfait les performances de navigation requise dans la spécification de navigation. La surveillance de performances et l'alerte à bord concernant à la fois les performances de navigation latérale et longitudinale. [22]

La surveillance de performance et alerte à bord est concernée par la performance du système de navigation de surface.

- ❖ <<A bord>> signifie que la surveillance des performances et d'alerte est effectuée à bord de l'avion. L'élément de surveillance du suivi de la performance et alerte est effectuée de bord concerne FTE et NSE. L'erreur de définition de la trajectoire(PDE) est limitée par l'intégrité de la base de données et les exigences fonctionnelles de la trajectoire définie, et est considéré comme négligeable.
- ❖ <<Surveillance>> se réfère à la surveillance des performances de l'avion en ce qui concerne sa capacité à déterminer l'erreur de positionnement et / ou de suivre la trajectoire désirée.
- ❖ <<Alerte>> se rapporte à la surveillance : si le système de navigation de l'avion n'effectue pas assez bien ces fonctions, ce sera alerte à l'équipage.

Les exigences de surveillance et alerte pourrait être satisfaites par :

- Un système de navigation ayant un suivi de la NSE et capacité d'alerte et d'un indicateur d'affichage de navigation latérale permettent à l'équipage de surveiller la FTE, ou
- Un système de navigation ayant une surveillance des STE et la capacité d'alerte.

Le concept PBN utilise le terme surveillance des performances et alerte au lieu du terme confinement, afin d'éviter toute confusion entre les utilisations actuelles de confinement.

II.11 exigences de surveillance de performance et alerte pour l'RNP (RNP4, RNP 1 de base et RNP APCH)

Les exigences de surveillance de performance et alerte pour la RNP 4, RNP 1 de base et RNP APCH ont une application et une terminologie commune. Chacune de ces spécifications de navigation RNP comprend des exigences pour les caractéristiques suivantes :

- ✚ **Précision** : la précision requise définit 95% la TSE pour les dimensions où une exigence de précision est spécifiée. L'exigence de précision est harmonisée avec les spécifications de navigation RNAV et est toujours égale à la valeur précise. Un aspect unique de la spécification de navigation RNP est que la précision est que la précision est l'une des caractéristiques de performance, qui est surveillée.
- ✚ **Surveillance de la performance** : l'aéronef, ou l'aéronef et le pilote, est tenu de surveiller la STE, et à fournir une alerte si l'exigence de précision n'est pas

remplie ou si la probabilité que le STE est supérieure à deux fois la valeur de précision est plus grande à 10^{-5} . dans la mesure où les procédures opérationnelles sont utilisées pour satisfaire à cette exigence, la procédure de l'équipage, les caractéristiques de l'équipement évalués et l'installation sont pour leur efficacité et leur équivalence. L'échec ou D'atténuer ses effets. Les exigences du système redondant sont déterminées en fonction de la continuité opérationnelle. Les exigences sur les caractéristiques de défaillance d'aéronefs ne sont pas uniques aux spécifications de navigation RNP.

✚ **Défaillance du signal** : les caractéristiques du signal dans l'espace sont abordées dans l'annexe 10 <<Télécommunication Aéronautique>>.

L'obligation de surveillance de performance est unique aux spécifications de navigation RNP. L'effet net des spécifications de navigation RNP est de fournir les limitations de la distribution de la TSE. L'erreur de définition de la trajectoire est supposée être négligeable, l'exigence de surveillance est réduite aux autres composantes de la TSE. C'est-à-dire FTE et NSE. [5]

II.12 Application de la RNP dans un espace aérien

Idéalement, un espace aérien devrait avoir un seul type de RNP. Cependant, plusieurs types de RNP peuvent coexister dans un même espace aérien, comme (DME-DME) RNP plus exigeant appliqué à une route donnée dans un espace aérien VOR/DME, et un type RNP pourrait être appliqué à un espace aérien particulier. La RNP peut s'appliquer du décollage à l'atterrissage, mais le type de RNP exigé dans les différentes phases du vol peut varier ; le type de RNP peut être exigeant pour le décollage et l'atterrissage, mais moins exigeant pour la croisière. [8], [19]

II.13 La mise en œuvre du système RNP

La mise en œuvre de la RNP permet d'améliorer la capacité et l'efficacité du système ATS tout en maintenant ou en augmentant le degré de sécurité établi.

II.13.1 La mise en œuvre de RNP4 :

La RNP 4 est une spécification de navigation utilisée pour appuyer les opérations dans le cadre de la phase de croisière pour permettre des minimums de séparation latérale et longitudinale de 30 NM en espace aérien océanique ou éloigné. La RNP4 a été mise au

point pour les opérations en espace aérien océanique ou éloigné, donc elle n'exige aucune infrastructure d'aides à la navigation basées au sol.

Le GNSS est le capteur de navigation primaire pour la RNP 4 qui doit être utilisé et capable de l'être, :

- soit comme système de navigation autonome.
- soit dans le cadre d'un système multi capteurs.

La RNP 4 peut être utilisée pour l'application de normes de séparation d'un espacement de routes inférieures à 30 NM dans l'espace aérien continental pourvu qu'un État ait procédé aux évaluations de sécurité nécessaires. Bien que, les communications et les paramètres de surveillance ATS pour l'application des nouvelles normes de séparation seront différents de ceux qui correspondent à une norme de 30 NM.

Avant l'exécution d'opérations RNP 4 les étapes suivantes doivent être accomplies :

- a) l'admissibilité de l'équipement de bord doit être déterminée et documentée ;
- b) les procédures propres aux systèmes de navigation à employer et le processus de base de données de navigation de l'exploitant doivent être documentés ;
- c) la formation de l'équipage de conduite basée sur ces procédures doit être documentée, si nécessaire ;
- d) l'approbation opérationnelle doit alors être obtenue en accord avec les règles nationales sur l'exploitation des aéronefs.

Pendant les vols dans un espace aérien ou sur des routes désignés RNP 4 l'erreur du système total dans le plan latéral et longitudinale ne doit pas dépasser ± 4 NM pendant au moins 95 % du temps de vol total. [12], [19], [20]

II.13.2 La mise en œuvre de RNP 1 de base

RNP 1 de base est appliquée dans les régions terminales TMA à l'absence de surveillance ou bien où est limitée, Les SID/STAR RNP 1 de base sont destinées avant tout à des opérations en environnements de communications directes contrôleur-pilote, utilisée seulement au moment où le flux du trafic aérien est faible.

Pour cette spécification de navigation le GNSS sera son système de navigation primaire, bien que les systèmes RNAV sont fondés sur le capteur DME/DME soient capables d'assurer une précision RNP 1 de base.

Les ANSP devraient se garantir que les aéronefs équipés du GNSS sont disponibles pour détecter la défaillance utilisant ABAS, Ils devraient s'assurer aussi, le cas

échéant, que les exploitants d'aéronefs équipés de SBAS ont les moyens de prédire cette disponibilité. Il devrait utiliser l'information d'état sur les satellites du GNSS, et une limite d'alarme dans le plan horizontal appropriée pour l'opération (1 NM à une distance de l'aéroport inférieure ou égale à 30 NM et 2 NM autrement). La RNP 1 de base ne doit pas être utilisée en zones de brouillage connu du signal de navigation (GNSS). L'espacement des routes pour la RNP 1 de base dépend de leur configuration, de la densité du trafic aérien et des possibilités d'intervention. Pour la conception des procédures et l'évaluation de l'infrastructure, la limite de FTE normale de 0,5 NM définie dans les procédures d'exploitation est censée être une valeur à 95 %. [28]

La précision de navigation démontrée sert de base pour déterminer les minimums d'espacement latéral des routes et de séparation horizontale nécessaires pour le trafic évoluant selon une procédure particulière. Lorsqu'elles sont disponibles, les observations radar de proximité par rapport à la route et d'altitude de chaque avion sont notées par les services ATS et les possibilités de tenue de route de l'avion sont analysées. [25], [29]

Avant l'exécution d'opérations RNP 1 de base Les étapes suivantes doivent être accomplies:

- a) l'admissibilité de l'équipement de bord doit être déterminée et documentée ;
- b) les procédures propres aux systèmes de navigation à employer et le processus de la base de données de navigation de l'exploitant doivent être documentés ;
- c) la formation de l'équipage de conduite sur la base de ces procédures doit être documentée ;
- d) les éléments documentés mentionnés ci-dessus doivent être acceptés par l'autorité nationale de réglementation ;
- e) l'approbation opérationnelle devrait alors être obtenue en accord avec les règles d'exploitation nationales.

Pendant les vols dans un espace aérien ou sur des routes désignés RNP 1 de base, l'erreur du système total dans le sens latéral et longitudinal ne doit pas dépasser ± 1 NM pendant au moins 95 % du temps de vol total, Pour satisfaire à l'exigence de précision, la FTE 95 % ne devrait pas dépasser 0,5 NM. [1]

La RNP 1 de base est basée sur le positionnement GNSS. Des données de positionnement provenant d'autres types de capteurs de navigation peuvent être intégrées avec les données GNSS pourvu que les autres données de positionnement ne causent pas d'erreurs de

position excédant le bilan d'erreur du système total (TSE). Autrement, des moyens devraient être fournis pour désélectionner les autres types de capteurs de navigation.

Lors de la planification du pré vol Les exploitants et les pilotes qui se proposent d'effectuer des vols sur des SID et STAR RNP 1 de base devraient déposer les suffixes de plan de vol appropriés. Les données de navigation de bord doivent être à jour et inclure les procédures appropriées. Les pilotes d'aéronefs avec possibilité de sélection de la RNP devraient sélectionner RNP 1 ou moins pour les SID et STAR RNP 1 de base. [6]

II.13.3 La mise en œuvre de RNP APCH

La RNP APCH est employé pour appuyer des approches en RNAV jusqu'à la RNP 0,3 constituées de segments rectilignes. Peut imposer des possibilités Baro-VNAV.

Les procédures d'approche RNP APCH incluent les procédures d'approche RNAV (GNSS) existantes conçues avec un segment rectiligne.

Pendant les opérations sur les segments initial et intermédiaire, ainsi que pour l'approche interrompue RNAV d'une RNP APCH, l'erreur du système total dans le sens latéral et longitudinale ne doit pas dépasser ± 1 NM pendant au moins 95 % du temps de vol total.

Pendant les opérations sur le segment d'approche finale d'une RNP APCH, l'erreur du système total dans le sens latéral et longitudinale ne doit pas dépasser $\pm 0,3$ NM pendant au moins 95 % du temps de vol total. [20], [25]

La RNP APCH est basée sur un positionnement par GNSS. Les données de positionnement provenant d'autres types de capteurs de navigation pourront être intégrées avec les données du GNSS pourvu que les autres données de positionnement ne causent pas d'erreurs de position dépassant le bilan TSE (erreur du système total), ou si des moyens sont fournis pour désélectionner les autres types de capteurs de navigation.

Les exploitants et les pilotes qui se proposent de mener des opérations selon une procédure RNP APCH doivent déposer les suffixes de plan de vol appropriés et les données de navigation de bord doivent être à jour et inclure les procédures appropriées. [1], [14]

II.14 Relation entre la RNP et les minimums de séparation

La RNP est une exigence de navigation et elle ne constitue qu'un seul des facteurs à prendre en compte pour déterminer les minimums de séparation requis. A elle seule, la RNP ne peut ni ne doit impliquer ni exprimer une norme ou un minimum de séparation quelconque avant de prendre la décision d'établir des minimums d'espacement entre routes et des normes de séparation entre aéronefs, les états doivent également prendre en compte l'infrastructure de l'espace aérien qui comprend la surveillance et la communication. Ils doivent aussi tenir compte d'autres paramètres comme les possibilités d'intervention, la capacité, la structure de l'espace aérien ainsi que l'occupation ou la fréquence des dépassements qui caractérisent cet espace aérien. [4]

II.15 Fourniture des services pour la RNP

L'état doit veiller à ce que les services CNS fournis dans un espace aérien donné garantissent une séparation sûre pour un ensemble défini de normes de séparation.

L'exploitant d'aéronefs doit de son côté veiller à ce que les aéronefs appelés à évoluer dans un espace aérien à RNP spécifiée soient équipés de manière à assurer la qualité de navigation requise. Il est à noter que la conformité aux critères de RNP peut être obtenue de différentes façons et que ni l'état ni l'exploitant d'aéronefs ne sont limités quant à la manière de réaliser la RNP, la seule condition étant qu'il doit pouvoir être démontré que les critères peuvent être satisfaits. [1]

Chapitre III

Description du concept PBN

CHAPITRE III. DESCRIPTION DU CONCEPT PBN

III.1 Historique de la Navigation fondée sur les performances (PBN)

À la 36^{ème} session de l'Assemblée de l'OACI en 2007, les représentants des États ont adopté avec enthousiasme la Résolution A36-23, qui priait instamment tous les États membres de l'OACI de mettre en œuvre des routes ATS et des procédures d'approche RNAV (navigation de surface) et RNP (qualité de navigation requise) conformes aux éléments d'orientation et aux spécifications de la navigation fondée sur les performances (PBN) de l'OACI. [1]

Dans le concept PBN, Les exigences en matière de performances du système RNAV de bord sont définies sous forme de conditions de précision, de continuité, d'intégrité, de disponibilité et de fonctionnalité nécessaires pour les vols proposés dans un espace aérien particulier, elles sont établies dans les spécifications de navigation qui spécifient aussi le choix des capteurs et de l'équipement de navigation utilisables pour répondre à ces exigences, pourtant ces spécifications de navigations sont définies à un niveau de détail suffisant pour faciliter une harmonisation à l'échelle mondiale. [1], document 9613 AN/937, troisième édition 2008, Organisation de l'Aviation Civile Internationale

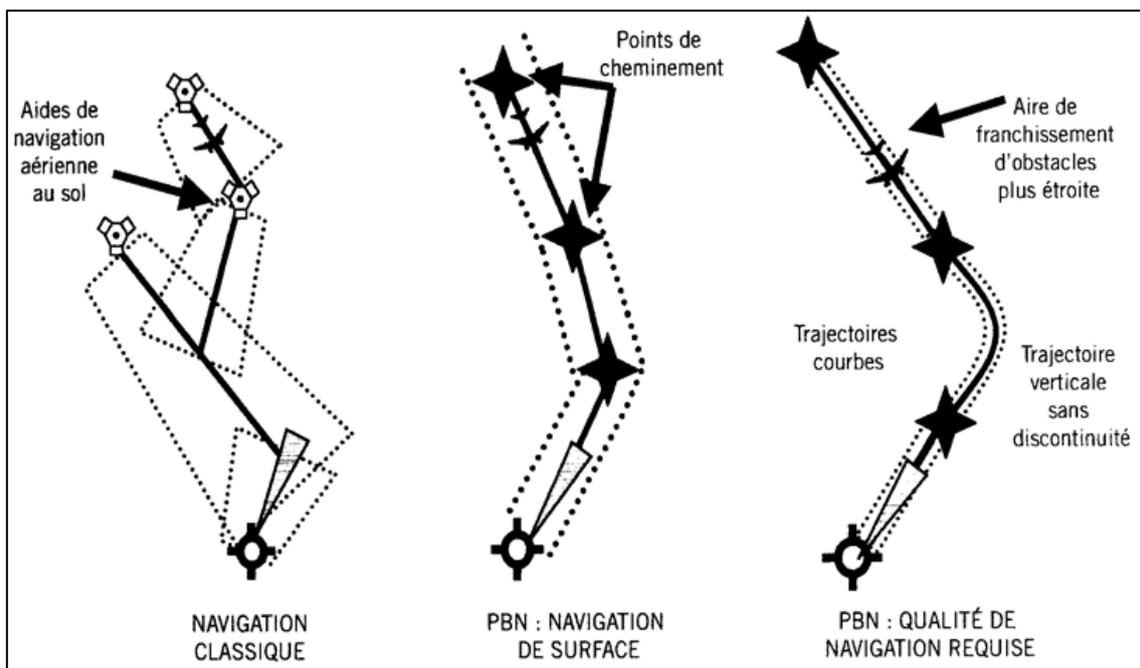


Figure III.1: Evolution de la Navigation [1]

Les exigences de navigation de la PBN sont déterminées sur la base de besoins opérationnels, pour que ces exigences soient satisfaites les exploitants devaient évaluer les

options (technologie, services de la navigation disponibles), vu que les fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP), ont besoin de s'assurer que leur partie du concept d'espace aérien répond aux exigences pertinentes à fin de satisfaire aux besoins opérationnels.

Dans le cadre des travaux futurs de l'OACI, il est envisagé autres moyens plus évalués qui réagissent aux exigences des spécifications de navigation pourront être inclus, à condition que le système RNAV apporte les performances attendues. [1]

La PBN représente un cadre pour la définition d'une spécification de performance de navigation applicable le long d'une route aérienne, durant une procédure ou dans un espace aérien dans lequel un aéronef doit se conformer à des exigences de performances opérationnelles précises. Elle constitue une base pour l'établissement de trajectoires de vol automatique, ainsi que pour la conception d'espaces aériens, de procédures de séparation des aéronefs et de franchissement d'obstacles plus efficaces. La PBN facilite en outre la communication des capacités de performances et d'exploitation nécessaires pour l'utilisation de ces trajectoires et espaces aériens.

Une fois le niveau de performance établi en fonction des besoins opérationnels, les capacités de l'avionique de l'aéronef déterminent si celui-ci peut réaliser les performances spécifiées en sécurité et se conformer aux critères requis pour l'opération. [9]

Il convient de noter qu'un grand nombre des améliorations de navigation offertes par la PBN sont compatibles avec la technologie d'avionique installée à bord des principales flottes commerciales dans le monde, et que les besoins d'adaptation ou d'acquisition requis sont minimes, voire inexistantes, pour les principaux exploitants aériens ou les grands fournisseurs de services de navigation aérienne (ANSP). Les organismes de réglementation et l'industrie ont d'ailleurs convenu dès le départ que le système PBN suivrait précisément ce type de démarche évolutive et pragmatique, plutôt qu'une approche révolutionnaire. [1]

III.2. Manuel de la navigation fondée sur les performances

le Manuel PBN de la navigation fondée sur les performances de l'OACI qui inclue des spécifications de navigation ainsi que l'indication des moyens devant être associés à ces applications : performances requises, fonctionnalités des équipements et infrastructure. Le manuel de l'OACI sur la PBN vise à donner aux États des indications pratiques sur la façon d'établir de nouvelles normes et d'éviter la prolifération mondiale de normes différentes pour la RNAV et la RNP, ce manuel étant subdivisé en deux volumes : [2], [9], [11]

- **le volume 1** : le volume 1 de ce manuel sur la PBN contient des renseignements sur les concepts liés à la PBN et sur les spécifications générales sur sa mise en œuvre, ce manuel est divisé en trois parties :
- **la partie A** fournit une description détaillée du concept PBN, du concept d'espace aérien lié à la PBN.
 - **La partie B** fournit des indications détaillées sur la façon de mettre en œuvre de la PBN et ce selon suivant les trois processus :
 - ✚ **Processus 1** la détermination des exigences.
 - ✚ **Processus 2** Détermination de la spécification de navigation de l'OACI pour la mise en œuvre PBN.
 - ✚ **Processus 3** planification et mise en œuvre.
- **Le volume 2** contient les spécifications de navigation avec les exigences harmonisées relatives à la navigation et aux exploitants, des orientations sur la mise en œuvre et des recommandations pour la formation des pilotes et des contrôleurs pour les différentes catégories de RNP/RNAV.
- **La partie A** : fournit des détails sur l'utilisation et la portée des spécifications de navigation, le suivi de performance à bord et d'alerte et l'évaluation de la sécurité.
 - **La partie B** : fournit les détails sur la mise en œuvre, des opérations ne nécessitant pas le suivi de performance à bord et alerte (spécification RNAV).
 - **La partie C** fournit les détails sur la mise en œuvre, des opérations nécessitant le suivi de performance à bord et alerte (la spécification RNP).

III.3 Définition de la PBN

PBN signifie La navigation fondée sur les performances, autrement elle est définie par l'OACI comme suit;

Navigation de surface fondée sur des exigences en matière de performances, que doivent respecter des aéronefs volant sur une route ATS, selon une procédure d'approche aux instruments ou dans un espace aérien désigné. [1]

III.4 Les principaux avantages de la PBN

La navigation fondée sur les performances offre un certain nombre d'avantages par rapport à la méthode qui consiste à élaborer des critères pour l'espace aérien et les marges de franchissement d'obstacles en spécifiant des capteurs: [1], [6]

- a) réduit la nécessité de maintenir des routes et des procédures à capteurs spécifiés, avec les coûts y afférents.
- b) évite 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) permet une utilisation plus efficace de l'espace aérien (choix de l'emplacement des routes, efficacité énergétique, atténuation du bruit).
- d) indique plus clairement comment les systèmes RNAV sont utilisés.
- e) facilite le processus d'approbation opérationnelle pour les exploitants en permettant d'établir un ensemble limité de spécifications de navigation destinées à une utilisation mondiale.

III.5 Le contexte de la navigation fondée sur les performances(PBN)

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

- 1) l'infrastructure d'aides à la navigation ;
- 2) la spécification de navigation ;

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.

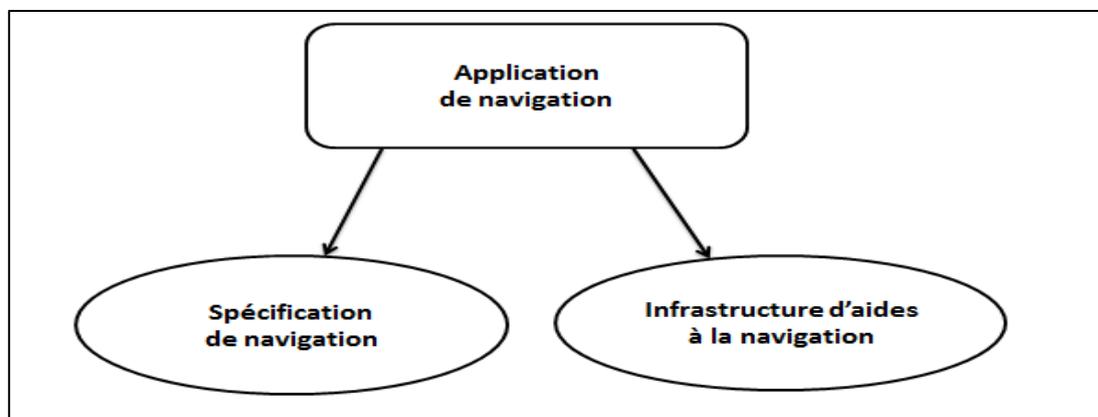


Figure III.5 : Le concept de la PBN [1]

III.5.1 Portée de la navigation fondée sur les performances :

III.5.1.1 Performance latérale:

La PBN est actuellement limitée aux opérations soumises à des conditions de performance latérale linéaire et à des contraintes temporelles pour des raisons liées au concept préalable de qualité de navigation requise (RNP). Les opérations soumises à des conditions de performance latérale angulaire (à savoir les opérations d'approche et d'atterrissage avec guidage vertical pour les niveaux de performance du GNSS APV I et APV II, les opérations d'approche et d'atterrissage de précision ILS/MLS/GLS) ne sont pas prises. [1], [8]

III.5.1.2 Performance verticale

À la différence du réglementaire dans le sens latéral et de la marge de franchissement d'obstacles, il n'y a ni alarme d'erreur de position verticale, ni rapport double entre une exigence de précision du système total à 95 % et la limite de performance pour les systèmes VNAV barométriques. La VNAV barométrique n'est donc pas considérée comme une RNP dans le plan vertical. [1]

III.5.2 Spécification de navigation

C'est l'ensemble de conditions à remplir par un aéronef et un équipage de conduite pour l'exécution de vol en PBN dans un espace aérien défini. Il existe deux types de spécification de navigation:

- a. Une spécification RNP:** contient une obligation de surveillance et alerte autonomes à bord en ce qui concerne les performances, indiquée par le préfixe RNP (RNP4, RNP APCH...etc.)
- b. Une spécification RNAV:** ne contient pas cette obligation de surveillance et alerte autonomes à bord en ce qui concerne les performances, indiquée par le préfixe RNAV (RNAV5, RNAV1). [1]

III.5.2.1 La surveillance et alerte autonomes à bord

La surveillance et alerte à bord en ce qui concerne les performances est la principale fonction qui détermine si le système de navigation satisfait à l'application RNP ; ceci se rapporte aux performances de navigation tant latérale que longitudinale, et permet à l'équipage de conduite d'apercevoir si le système de navigation ne réalise pas les performances de navigation requises pour les opérations. [5], [11]

L'utilisation de systèmes RNP peut offrir des avantages significatifs en termes de sécurité, opérationnels et d'efficacité, vu que ce système RNP assure des améliorations de l'intégrité des opérations.

III.5.2.2 Les exigences fonctionnelles de la navigation

Les spécifications RNAV et RNP comportent des exigences relatives à certaines fonctionnalités de navigation. Ces exigences fonctionnelles peuvent comprendre :

- a) l'indication continue de la position de l'aéronef par rapport à la route, à présenter sur un visuel de navigation situé dans le champ primaire de vision du pilote aux commandes ;
- b) un affichage de distance et de relèvement par rapport au point de cheminement actif (To) ;
- c) un affichage de la vitesse sol ou du temps restant jusqu'au point de cheminement actif (To) ;
- d) une fonction de mémorisation de données de navigation ;
- e) une indication appropriée de panne du système RNAV, y compris les capteurs.

III.5.2.3 Désignation de spécifications RNP ou RNAV

III.5.2.3.1 Opérations océaniques, continentales éloignées, en route et en région terminale

Une spécification RNP est désignée comme RNP X, une spécification RNAV est désignée comme RNAV X. Le terme « X » se rapporte à la précision de navigation latérale en dont il est attendu qu'elle soit réalisée pendant au moins 95 % du temps de vol par la population d'aéronefs évoluant dans l'espace aérien, sur la route ou selon la procédure.

III.5.2.3.2 Approche

Tous les segments d'approches aux instruments sont couverts par les spécifications RNP. Ces spécifications RNP sont désignées par préfixe(RNP) et un suffixe textuel abrégé (RNP APCH ou RNP AR APCH). [2]

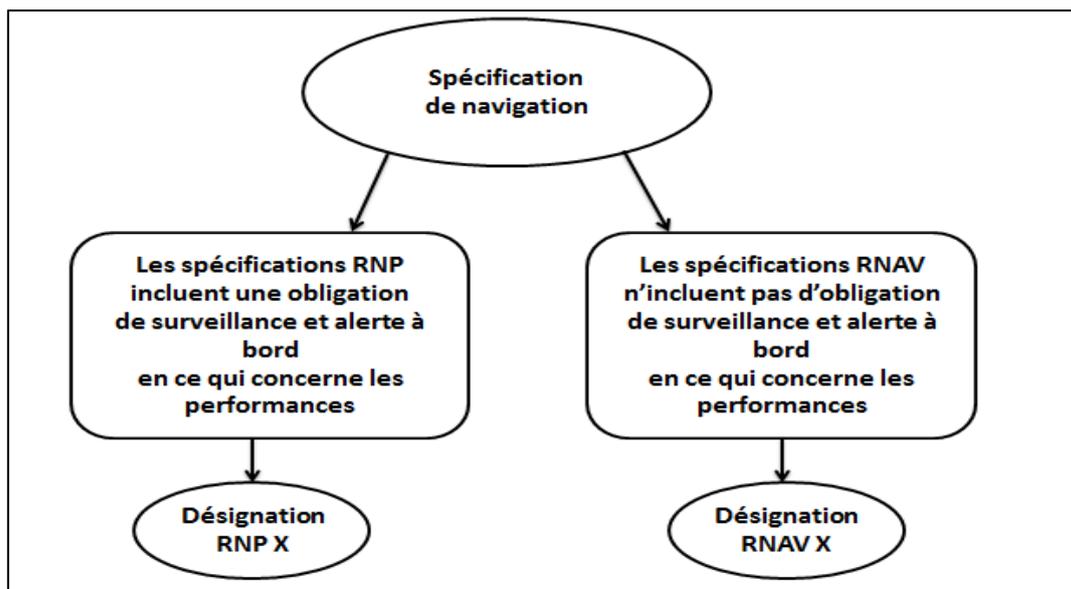


Figure III. 5.2.3 : Désignations de spécifications de navigation, [2]

III.5.2.4 Utilisation des spécifications de navigation

On prévoit que toutes les spécifications de navigation seront éventuellement adoptées mondialement, bien qu'il existe actuellement huit spécifications de navigation dans le manuel de PBN : [2], Quatre spécifications de RNAV et quatre spécifications de RNP

- ✚ **RNAV 10 :** est utilisée pour appuyer les opérations RNAV dans le cadre de la phase de croisière pour permettre des minimums de séparations latérales et longitudinales dans un espace aérien océanique ou éloigné.
- ✚ **RNAV 5 :** utilisée pour appuyer des opérations RNAV dans le cadre de certains segments d'arrivée et de départ, pour permettre des minimums de séparations latérales et longitudinales
- ✚ **RNAV 1 et RNAV 2 :** Les spécifications RNAV 1 et RNAV 2 s'appliquent à toute route à l'intérieur et l'extérieur de l'espace aérien contrôlé, aux départs normalisés aux instruments (SID) et aux routes normalisées pour les arrivées en région terminale (STAR). Elles s'appliquent aux procédures d'approche aux instruments jusqu'au repère d'axe (FAF/FAP). On prévoit que les vols sur routes RNAV 1 et RNAV 2 seront sous contrôle radar avec communications directes contrôleur-pilote (DCPC).
- ✚ **RNP 4 :** La RNP 4 est conçu pour l'espace aérien océanique ou éloigné, où l'infrastructure de NAVAID terrestre n'est pas disponible.

La RNP 4 permet un espacement minimal de 30 NM latéralement et 30 NM longitudinalement dans cet espace et requiert une avionique GNSS.

Pour voler en espace aérien océanique ou éloigné avec l'approbation opérationnelle RNP 4, l'aéronef doit avoir à bord au moins deux LNRS (système de navigation longue portée) indépendants en état de marche comprenant l'intégrité assurée par GNSS de façon que le système ne donne pas d'information trompeuse. Le GNSS peut servir de système de navigation indépendant ou faire partie des capteurs d'un système multi capteurs.

- ✚ **RNP 1 de base :** La spécification RNP 1 de base est conçue pour les SID et STAR aux aéroports disposant d'une surveillance limitée ou nulle à 30 NM ou moins du point de référence d'aérodrome (ARP).

Le GNSS est le système de navigation primaire sous-tendant la RNP 1 de base pourvu qu'il satisfasse à l'une des exigences suivantes :

- l'aéronef est équipé d'un capteur TSO-C129a (Classe B ou C).
 - l'équipement de l'aéronef est conforme à TSO-C145 ou C146.
- ✚ **RNP APCH :** les procédures d'approches (RNP APCH) incluent celles de RNAV existantes, utilisée pour appuyer des approches en RNAV jusqu'à la RNP 0.3, composées de segments rectilignes. Peut imposer des possibilités BARO-VNAV
 - Les procédures d'approche de RNP (RNP APCH) incluent celles de RNAV (GNSS) existantes.
 - Les systèmes suivants satisfont aux exigences de précision, intégrité et continuité de la RNP APCH :
 - systèmes GNSS indépendants (TSO-C129a, TSO C146)
 - capteurs GNSS utilisés dans un système multi capteurs, un FMS par exemple
- ✚ **RNP AR APCH :** ne peuvent être effectuées qu'avec autorisation spéciale. Les exigences qui s'y appliquent sont exceptionnelles du fait de la marge de franchissement d'obstacles réduite et de la fonctionnalité avancée; elles requièrent une formation et un équipement spéciaux. [2]

Tableau III.5.2.4: Tableau des spécifications de navigation existantes et nouvelles

Aire d'application	Précision de navigation (NM)	Spécification de navigation (existante)	Spécification de navigation (nouvelle)	Besoin de suivi des performances d'alerte
Océanique/éloigné	10	RNP 10	RNAV 10 (étiquette RNP 10)	
	4	RNP 4	RNP 4	Oui
Continental en route	5	B-RNAV RNP 5	RNAV 5	Non
Continental en route/ terminal	2	US-RNAV type A	RNAV 2	Non
	2	–	RNP 2	Oui
Terminal	1	US-RNAV type B Et P-RNAV	RNAV 1	Non
	1	–	RNP 1	Oui
Approche	0.3	RNP 0.3	RNP 0.3	Oui
	0.3 - 0.1	RNP/SAAAR	RNP0.3–0.1 (RNP/AR)	Oui

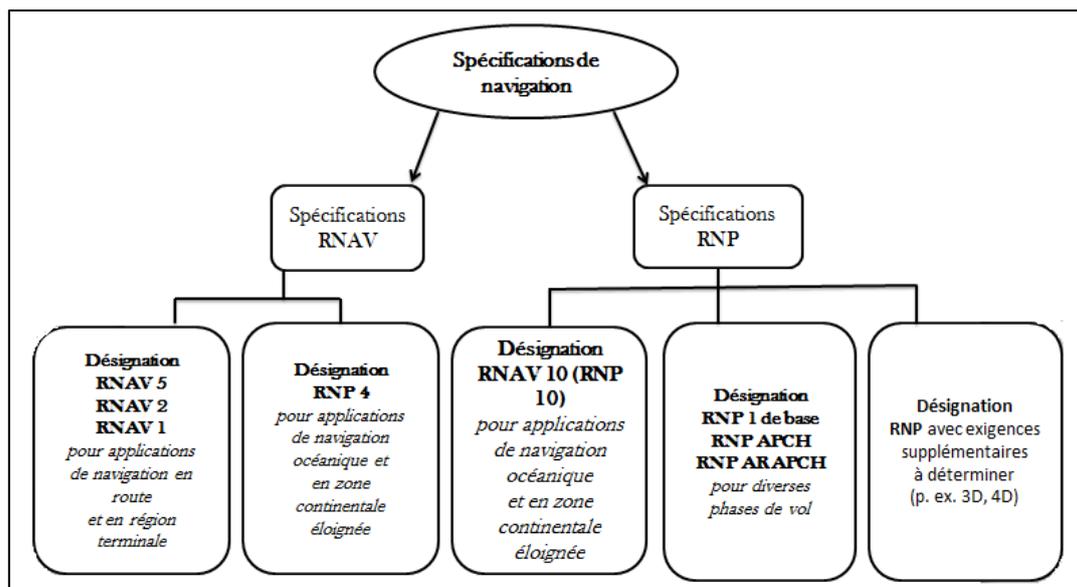


Figure III.5.2: utilisation des spécifications de navigation, [1]

III.5.3 Infrastructure de navigation

On se réfère par « infrastructure de navigation », aux aides de navigation au sol, ou aux aides de navigation spatiales, disponibles pour satisfaire aux exigences de la spécification de navigation.

III.5.4 Application de navigation

C'est 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. Une application RNP s'appuie sur une spécification RNP et une application RNAV s'appuie sur une spécification RNAV. [1]

III.6 La stratégie de transition

III.6.1 La transition à la PBN

Un groupe d'étude de l'OACI détermine qu'un concept de RNP actualisé et harmonisé à l'échelle mondiale serait suffisamment souple pour répondre aux besoins opérationnels actuels et aux besoins futurs...etc. L'avènement des procédures RNAV et RNP a déjà permis des renforcements de capacité et d'autres améliorations importantes.

Le concept PBN qui englobe RNP et navigation de surface (RNAV). De plus en plus, qui est observée comme la solution la plus pratique pour réguler le domaine en expansion des systèmes de navigation. Selon l'approche traditionnelle, chaque nouvelle technologie est associée à un ensemble d'exigences spécifiques au système considéré, qui concernent le

franchissement des obstacles, la séparation des aéronefs, les aspects opérationnels (procédures d'arrivée et de départ, par exemple), l'entraînement opérationnel des équipages de conduite et la formation des contrôleurs aériens. Toutefois, cette approche spécifique au système impose tant à l'OACI qu'aux États. La navigation fondée sur les performances élimine la nécessité d'investir de façon redondante pour élaborer des critères ou pour des modifications opérationnelles et de la formation. Au lieu que les opérations soient édifiées autour d'un système particulier, elles sont définies en fonction des objectifs opérationnels, et c'est ensuite que les systèmes existants sont évalués pour déterminer s'ils permettent d'atteindre ces objectifs. L'avantage de cette approche est de permettre des trajectoires de vol harmonisées et prévisibles, avec pour résultats une utilisation plus efficace des capacités existantes des aéronefs, une sécurité renforcée, une capacité accrue de l'espace aérien, des économies de carburant et la résolution de problèmes de bruit. [2], [6], [29]

Il est envisagé que les exigences des applications de navigations de surface RNAV futures seront précisées selon l'utilisation de spécifications de performance qui consistent à répondre aux besoins fonctionnels et opérationnels. Dans le manuel de PBN où les opérations ont été définies avant les publiées, La transition à la PBN ne sera pas disponible à l'exécution. Cependant, dans le temps où y aura des révisions des besoins fonctionnels ou opérationnels devraient être exercés à fin de l'élaborer ainsi les publier. [1]

III.6.2 La transition aux spécifications RNP

La plupart des systèmes RNAV offrent l'alerte et surveillance à bord en ce qui concerne les performances, si bien que les spécifications disposées pour ces systèmes RNAV amènent à les désigner comme RNP. Autant pour prohiber le risque des dépenses inutiles lorsque les exigences n'obligent pas l'indispensabilité d'utilisation RNP. Les systèmes RNP apportent des améliorations d'intégrité qui amène à l'atténuation l'espacement des routes, certifient une intégrité suffisante qui autorise l'utilisation des systèmes RNP dont offrent des avantages (sécurité, efficacité) dans un certain espace aérien. La transition progressive aux applications RNP se créera une augmentation d'aéronefs équipés de ce système RNP. [1]

III.7 Le concept d'espace aérien

Le concept d'espace aérien donne **le schéma et le cadre envisagé des opérations** à l'intérieur d'un espace aérien. Ce type de concepts est mis au point pour satisfaire des objectifs stratégiques tels que l'amélioration de la **sécurité**, l'accroissement de la **capacité** de trafic aérien, l'atténuation d'impacts **environnementaux**, l'optimisation de l'**efficacité** des

vols et l'assurance de la continuité d'**accès** aux aérodrômes. Ce concept inclut aussi des détails concernant l'organisation pratique de l'espace aérien et ses usagers en se basant sur des hypothèses CNS/ATM particulières telles que la structure des routes ATS, Les minimums de séparation, l'espacement des routes et les marges de franchissement d'obstacles. [1], [13]

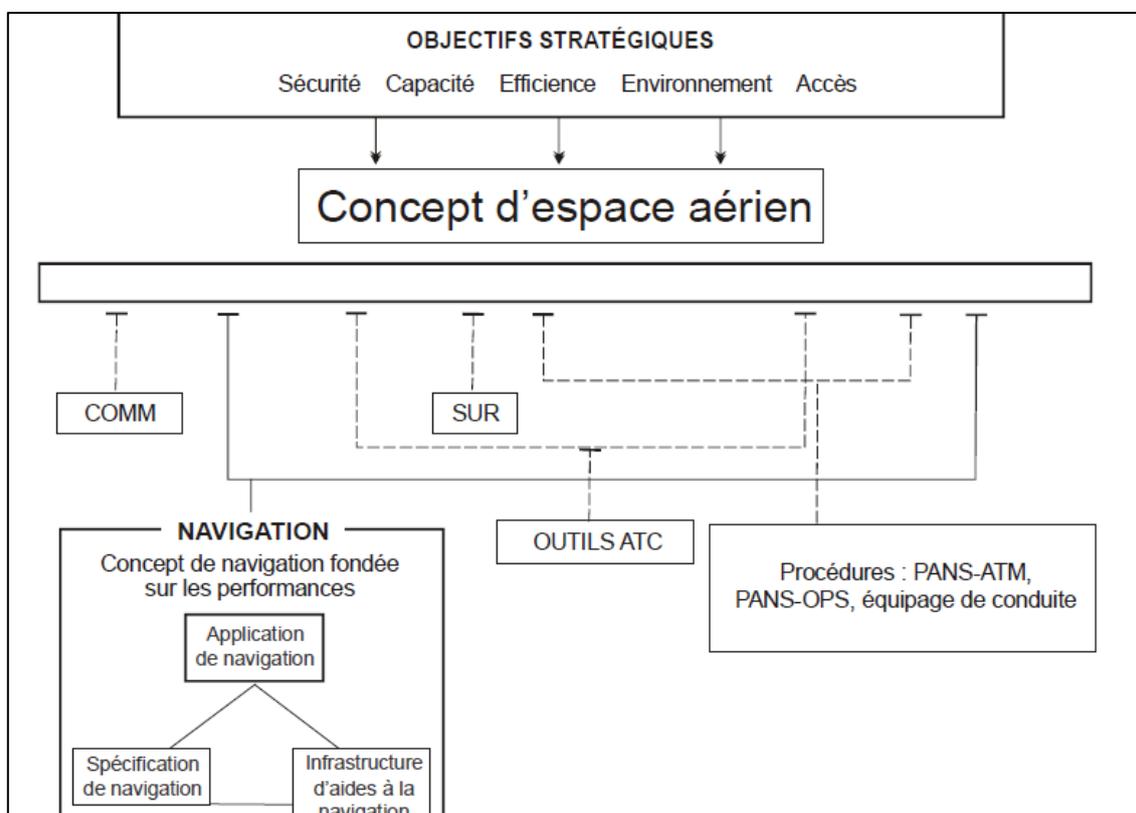


Figure III.7 : relation du concept PBN et concept d'espace aérien, [1]

III.7.1 Concepts d'espace aérien par zone d'opérations

III.7.1.1 Océanique et continental éloigné

Deux applications de navigation RNAV 10 et RNP 4 qui correspondent actuellement au concept d'espace aérien océaniques et continentales éloignées. Elles utilisent le GNSS pour appuyer l'élément **navigation** du concept d'espace aérien. Dans le cas de l'application RNAV 10, aucune forme de service de surveillance ATS n'est nécessaire. Mais dans le cas de l'application RNP 4 utilise un contrat ADS (ADS-C).

III.7.1.2 Continental en route

Actuellement, des applications RNAV continentales correspondent à des concepts d'espace aérien incluant la surveillance radar et des communications directes contrôleur-pilote (CPDLC).

III.7.1.3 Espace aérien de région terminale : arrivée et départ

Les concepts d'espace aérien dans la région terminale incluant les procédures d'arrivées et de départs correspondent des applications RNAV. En région terminale européenne, elles sont connues sous le nom de P- RNAV (RNAV de précision), et aux Etats Unis connues sous le nom US-RNAV de type B (a été alignée avec le concept de PBN et est maintenant appelée RNAV 1). [1]

III.7.3.4 Approche

Les concepts d'espace aérien couvrent tous les segments d'approche aux instruments (initiale, intermédiaire, finale et approche interrompue), nécessitant une précision de navigation 0.3 NM à 0.1 NM ou moins. Trois types d'applications RNP sont caractéristiques de cette phase de vol :

1. Les nouvelles procédures vers des pistes pour lesquelles une procédure aux instruments n'a jamais été appliquée,
2. Les procédures remplaçant des procédures aux instruments existantes basées sur différentes technologies ou leur servant de procédures de secours, et
3. Les procédures développées pour améliorer l'accès aux aéroports dans des environnements exigeants. [1]

Remarque

- ✚ RNP APCH et RNP AR APCH seules les spécifications RNP qui sont couvertes actuellement dans le manuel de la navigation fondée sur les performances.

III.8 Conception des procédures de vol aux instruments

Cette phase concerne la conception de procédures en routes (arrivée, départ et approche) qui doivent être protégées contre les obstacles. Il faut que chaque Etat veille à fin d'assurer :

- ➔ La sécurité par les aéronefs concernés
- ➔ Garantir la qualité du processus utilisé qui est exigé par la réglementation et le suivi du trafic aérien, la validation au sol et en vol.

III.8.1 Conception des procédures conventionnelles (non-RNAV)

Ces procédures conventionnelles sont applicables aux procédures non RNAV qui sont basées sur les aides de radionavigation installées au sol, ce type de procédure a des présentent les inconvénients suivants : [1]

- ✚ Emplacement des moyens radiophares.
- ✚ Les routes sont plus longues.
- ✚ les surfaces de protection d'obstacles sont partiellement étendues qui produisent l'erreur du système de navigation augmente en fonction de la distance l'avion à l'aide de navigation.

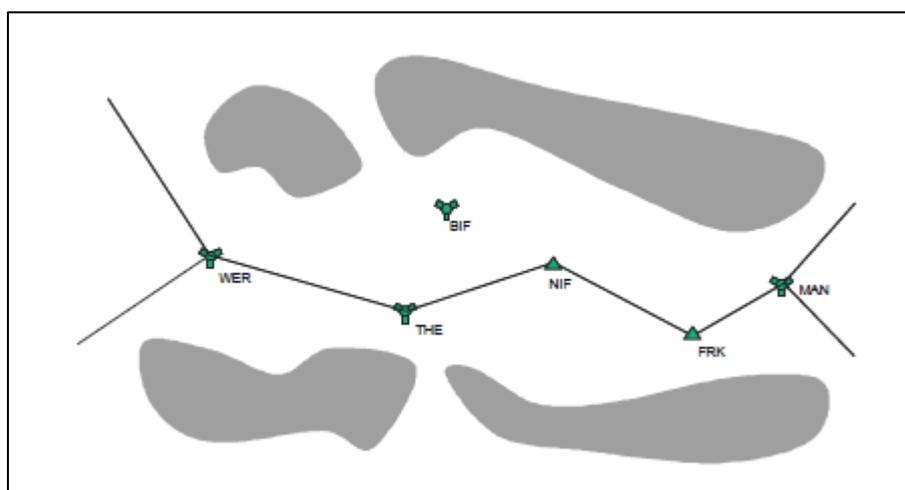


Figure III.8.1: conception des procédures conventionnelles, [1]

III.8.2 Conception des procédures RNAV à capteurs spécifié

RNAV utilise des critères de conception à capteurs spécifiés, ses repères sont définis par une latitude et longitude, qui permet la souplesse dans la conception, en fonction du système des aides de navigation mis en place (DME, VOR ou GNSS). Des routes moins dépendantes. Les options supplémentaires inclus la possibilité de mettre les routes en mémoire dans une base de données de navigation embarquée aboutissait à un suivi plus cohérent de la trajectoire nominale. [1]

Toutefois, la RNAV avait un certains nombres des problèmes tel que;

- ✚ Des variations considérables dans les performances et la trajectoire de vol.
- ✚ Impossibilité de prévoir le comportement des calculateurs de navigation dans toutes les situations.

- ✚ L'équipement RNAV de bord, son fonctionnement et ses configurations allaient du simple au complexe.

Ces inconvénients résultaient 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.

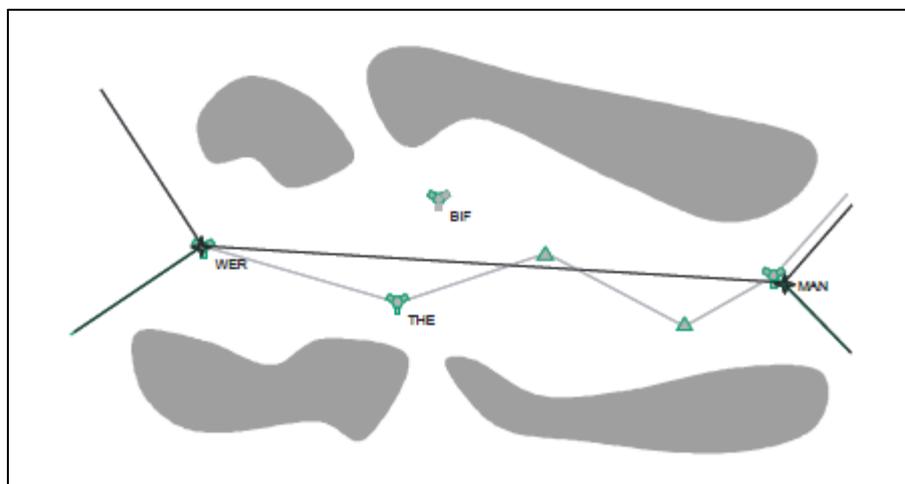


Figure III.8.2: conception des procédures de RNAV, [1]

III.8.3 Conception des procédures RNP (pré-PBN)

Les procédures RNP sont devenues applicables en 1998, qui ont été le prédécesseur de l'actuel concept PBN, dont la performance pour les opérations sur la route est définie, au lieu de voir clairement un système requis de radionavigation. Cependant, en raison de la description insuffisante des exigences de la qualité de navigation et des besoins opérationnels, il n'a pu être perçu de différence entre RNAV et RNP. En outre, l'inclusion des éléments du vol conventionnel tels que des procédures de survol, la variabilité des trajectoires, et l'ajout des zones tampon ne donnent aucun avantage significatif réalisé dans les conceptions. [2]

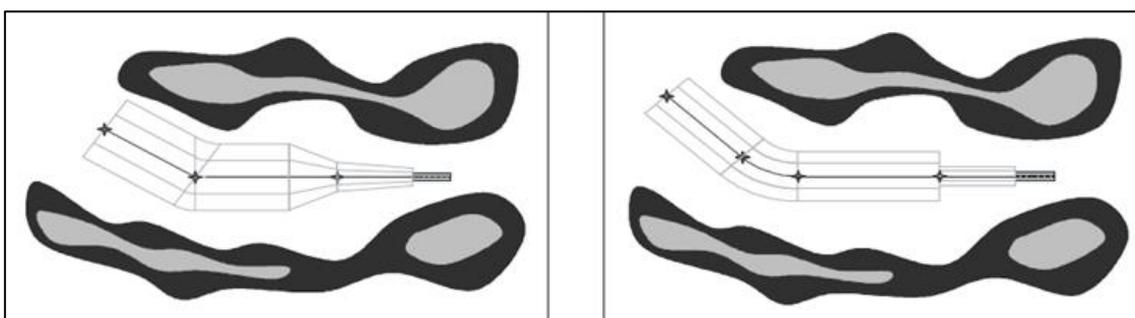


Figure III.8.3 : conception de procédure RNP APCH (à gauche) et de Procédure RNP AR APCH (à droite), [1]

III.8.4 Conception des procédures PBN

La navigation de surface à l'aide de la PBN est une opération basée sur la performance dans laquelle les caractéristiques de performances de navigation de l'avion sont bien spécifiées et les problèmes des critères RNAV et RNP peuvent être résolus. [1]

Le principal changement pour les concepteurs c'est que la conception ne sera pas basée sur un capteur spécifié mais selon une spécification de navigation (RNAV1). Le choix approprié de la spécification de navigation est fondé sur les exigences d'espace aérien, les infrastructures de navigation disponibles, ainsi que l'équipage et la capacité opérationnelle des avions. Si l'exigence de l'espace aérien est RNAV2 ou RNAV1, l'infrastructure de navigation disponible devrait être basée sur le GNSS ou DME/DME.

Chapitre IV

Procédures d'approche aux instruments PBN

CHAPITRE IV. PROCÉDURES D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS PBN

IV.1 Introduction

La conception d'une procédure d'approche aux instruments est en général dictée par la topographie autour de l'aérodrome, le type d'exploitation envisagé et les aéronefs appelés à utiliser cette procédure.

Une procédure d'approche aux instruments est une suite de manœuvres prédéterminées, effectués par l'aéronef en vue de l'atterrissage, en utilisant uniquement les instruments de vol, toute en assurant une marge acceptable de franchissement d'obstacles, depuis l'arrivée jusqu'en un point où l'atterrissage est possible ou si non jusqu'en un point où les critères de franchissement d'obstacle en route ou en Attente deviennent applicables. Elle peut comporter cinq segments différents, à savoir les segments d'arrivée, d'approche initiale, d'approche intermédiaire, d'approche finale et d'approche interrompue. Les segments d'approche commencent et se terminent à des repères désignés. Cependant, dans certains cas des segments peuvent commencer en des points spécifiés s'il n'y a pas de repères disponibles. [1], [2], [16], [29]

IV.2 Concepts RNAV :

IV.2.1 Définition

La RNAV est une méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue dans les limites de la couverture d'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. [3]

IV.2.2 Valeurs tampons

Les tolérances d'écart latéral RNAV et RNP sont constituées de la NSE et de la FTE. Elles sont traitées comme si elles étaient gaussiennes et déterminées par la RSS 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, Cela dit 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 (3σ). [3]

IV.2.3 Aire de franchissement d'obstacles

IV.2.3.1 Demi-largeur d'aire

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

$$\frac{1}{2} A/W = 1,5 * XTT + BV \dots \dots (5), [3]$$

Où : XTT est la valeur de la tolérance d'écart latéral de 2σ

BV la valeur tampon.

IV.2.3.2 Fusion des aires aux interfaces entre phases de vol

Dans le cas des arrivées et des approches au point où la phase de vol ou la tolérance XTT change, on définit la largeur de l'aire en utilisant la valeur tampon de la phase précédente et la valeur XTT de la phase suivante.

Lorsque la largeur de l'aire du segment suivant est inférieure à la largeur de l'aire du segment précédent, on réalise la fusion en traçant une droite faisant un angle de 30° par rapport à la trajectoire nominale et ancrée sur la largeur de l'aire au point de changement (p. ex. IF, FAF).

Lorsque la largeur de l'aire du segment suivant est supérieure à la largeur de l'aire du segment précédent, on réalise la fusion en évasant de 15° l'aire du segment précédent à la limite amont du point où la phase de vol ou la tolérance XTT change.

IV.2.3.3 Aires secondaires

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

IV.2.3.4 Repère

Chaque repère sera déterminé comme point de cheminement.

IV.2.3.4.1 Repères de paliers de descente

Un repère de palier de descente permet une descente additionnelle à l'intérieur d'un segment par l'identification d'un point auquel un obstacle déterminant a été survolé en sécurité.

Il est préférable de ne définir qu'un seul repère de palier de descente dans le segment d'approche finale, sauf dans le cas où le repère peut être identifié par radar ou DME, dans ce cas il ne devrait pas être spécifié plus de deux repères de palier de descente. [3], [5], [8], [20]

IV.2.3.4.2 Repères supplémentaires à l'intérieur d'un segment rectiligne

Afin de permettre l'application de contraintes spécifiques (p. ex. restriction de vitesse, changement d'altitude ou de point de compte rendu pour les besoins ATC) certains points de cheminement qui ne sont ni des points de virage ni des points servant d'IAF, d'IF, de FAF ou de MAPt peuvent être ajoutés à l'intérieur d'un segment rectiligne. Cela dit, il est indispensable de limiter le nombre de points de cheminement, pour diverses raisons (p. ex. facilité d'exécution, charge de travail du pilote, taille de la base de données de navigation).

IV.3 RNAV avec GNSS de base

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

1. RNAV 5
2. RNAV 2
3. RNAV 1
4. RNP 4
5. RNP 1 de base
6. RNP APCH.

IV.3.1 XTT, ATT et Demi-largeur d'aire

IV.3.1.1 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 :

Tableau. IV. 3.1.1 les valeurs de la TSE latérale, [3]

Les spécifications de navigation	L'erreur du système total latérale (TSE) et l'erreur longitudinale pendant au moins
	95 % du temps de vol total
RNP 4	$\leq \pm 7,4 \text{ Km (4 NM)}$
RNP 1 de base	$\leq \pm 1,9 \text{ Km (1 NM)}$
RNP APCH	$\leq \pm 1,9 \text{ Km (1 NM)}$

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

$$XTT = TSE$$

$$ATT = 0,8 * TSE$$

IV.3.1.2 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 racine carrée de la somme des carrés standard de la TSE ($TSE = NSE + FTE + ST$, où ST est égal à 0,25 NM).

IV.3.1.3 Demi-largeur d'aire

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

$$\frac{1}{2} A/W = XTT * 1,5 + BV \dots (5), [3]$$

Où : 1,5 XTT correspond à une valeur de TSE latérale de 3σ

BV = valeur tampon

IV.4 RNAV DME/DME

IV.4.1 Précision d'utilisation de système RNAV DME/DME

La précision d'utilisation de système (DTT) de systèmes embarqués de réception est définie comme suit :

$$2\sigma = \frac{\sqrt{(\sigma_{1,air}^2 + \sigma_{1,sys}^2) + (\sigma_{2,air}^2 + \sigma_{2,sys}^2)}}{\sin\alpha} \dots\dots\dots (6), [3]$$

Où : $\sigma_{sys} = 0,05$ NM et $30 \leq \alpha \leq 150$.

Lorsque plus de deux stations DME peuvent être utilisées tout au long de la procédure (c.-à-d. au moins deux paires de DME disponibles en tout point de la trajectoire), les valeurs de ATT, de XTT et de la demi-largeur d'aire ($\frac{1}{2}$ A/W) sont calculées pour $\alpha = 90^\circ$, dans les autres cas on utilise une valeur de 30° pour α .

IV.4.2 Tolérance de calcul de système

La tolérance de calcul de système (ST) est de ± 463 m (0,25 NM).

IV.4.3 XTT, ATT et Demi-largeur d'aire

IV.4.3.1 XTT et ATT

La tolérance d'écart latéral et la tolérance d'écart longitudinal de tout repère défini par des points de cheminement de la façon suivante :

$$XTT = \sqrt{DTT^2 + ST^2 + FTE^2} \dots\dots\dots (7), [3]$$

$$ATT = \sqrt{DTT^2 + ST^2} \dots\dots\dots (8), [3]$$

IV.4.3.2 Demi-largeur d'aire

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

$$\frac{1}{2} A/W = 1,5 * XTT + BV \dots\dots\dots (5), [3]$$

Où : BV = valeur tampon

IV.4.4 Couverture de l'aide de navigation

Il n'est pas possible de savoir quelles installations DME le système embarqué utilisera pour une actualisation de position, il conviendrait d'effectuer une vérification de viabilité théorique de la route envisagée pour s'assurer que la couverture DME appropriée est disponible en tout point sur la base d'au moins deux installations sélectionnées.

Lorsqu'une couverture DME/DME interrompue ne peut pas être réalisée, il faut en tenir compte au stade de la conception en utilisant un segment à l'estime.

IV.5 RNAV VOR/DME

IV.5.1 Installations de référence

Il ne soit pas possible de savoir quelle installation VOR/DME le système embarqué utilisera pour une actualisation de position, il convient de vérifier qu'une couverture VOR/DME appropriée est disponible d'au moins une installation de référence située à moins de 60 NM, ou 75 NM. Le concepteur devrait choisir l'installation VOR/DME qui assure une géométrie optimale pour la solution de guidage sur trajectoire à chaque point de cheminement, pour calculer les valeurs XTT, ATT et ½ A/W applicables.

IV.5.2 précision d'utilisation de système RNAV VOR/DME

IV.5.2.1 Précision

Les performances opérationnelles de l'équipement de navigation de surface seront telles que les tolérances qui déterminent la précision d'utilisation du système restent dans les limites des valeurs de facteurs de précision de navigation. [3]

IV.5.2.2 Facteurs de précision de navigation

Les facteurs dont dépend la précision de navigation en RNAV VOR/DME sont les suivants :

- tolérance de la station au sol ;
- tolérance du système récepteur embarqué ;
- tolérance technique de vol ;
- tolérance de calcul du système ;
- distance par rapport à l'installation de référence. [1]

IV.5.2.3 Précisions d'utilisation de système

La précision d'utilisation de système du VOR est égale à la précision d'utilisation de système VOR d'une installation ne procurant pas la trajectoire, qui est égale à $\pm 4,5^\circ$.

La précision d'utilisation de système du DME est égale à la précision d'utilisation de système DME (DTT) d'une installation ne procurant pas de guidage sur trajectoire, qui est égale à

$$2\sigma = 2\sqrt{(\sigma^2_{1, air} + \sigma^2_{1, sis})} \dots \dots (9), [3]$$

IV.5.2.4 Tolérance de calcul de système

La tolérance de calcul de système (ST) est de 463 m (0,25 NM).

IV.5.2.5 XTT, ATT et demi-largeur d'aire

IV.5.2.5.1 XTT et ATT

La tolérance d'écart latéral (XTT) et la tolérance d'écart longitudinal (ATT) de tout repère sont définies comme suit :

$$XTT = \sqrt{VT^2 + DT^2 + ST^2 + FTT^2} \dots\dots\dots (7), [3]$$

$$ATT = \sqrt{AVT^2 + ADT^2 + ST^2} \dots\dots\dots (8), [3]$$

IV.5.2.5.2 Demi-largeur d'aire

La demi-largeur d'aire ($\frac{1}{2}$ A/W) à un point de cheminement se détermine à l'aide de l'équation suivante : $(\frac{1}{2} A/W) = 1,5 \times XTT + BV \dots\dots\dots (5), [1]$

IV.5.2.5.3 Variation d'ATT et XTT selon la trajectoire

ATT et XTT varient selon la trajectoire. Ainsi, lorsqu'un virage est spécifié à un repère, ATT et XTT sont différents avant et après le virage en raison de la géométrie particulière du repère.

IV.6 Critères généraux pour les récepteurs GNSS SBAS

IV.6.1 Tolérances de système

IV.6.1.1 Tolérance de système de navigation

Les valeurs des éléments spatiaux (y compris élément de contrôle) et les tolérances de système embarqué (y compris la tolérance de calcul du système) sont prises en compte dans les limites d'alarme de contrôle d'intégrité pour systèmes GNSS SBAS. [1]

IV.6.1.2 Tolérance technique de vol (FTT)

La FTT varie selon le type d'indicateur de position prévu utilisé dans les instruments du poste de pilotage.

- **Mode terminal et classique (NPA) :**

Pour la phase de vol appuyée par le mode terminal et NPA, la contribution de la FTT à la tolérance d'écart latéral est définie par les valeurs de FTE de la RNP 1 de base et de la RNP APCH.

- **Mode d'approche de précision (PA) :**

Le récepteur SBAS fonctionne en mode PA durant la phase d'approche finale APV I et APV II est fourni un affichage angulaire latéral et vertical.

IV.6.1.3 ATT, XTT et demi-largeur d'aire

- **Mode terminal et NPA :**

XTT, ATT et la demi-largeur d'aire sont calculées compte tenu des valeurs appropriées de RNP 1 de base et de RNP APCH.

- **Mode d'approche de précision (PA) :**

Les surfaces OAS APV de SBAS découlent des surfaces OAS d'ILS Cat I sur la base d'une différence entre les tolérances verticales d'approche finale APV et ILS Cat I, égale à la différence entre les valeurs de VAL APV et ILS Cat I.

IV.6.2 Aire de franchissement d'obstacles

- **Mode terminal et NPA :**

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

$$\frac{1}{2} A/W = 1,5 * XTT + BV \dots (5), [3]$$

Où : XTT est la valeur de la tolérance d'écart latéral de 2σ et BV est la valeur tampon.

- **Mode d'approche de précision (PA) :**

La méthode de calcul de l'OCA/H fait participer une série de surfaces d'évaluation d'obstacles (OAS APV SBAS). S'il n'y a pas pénétration des OAS APV SBAS, l'OCA/H est définie par la marge de catégorie d'aéronefs. Par contre, s'il y a pénétration des OAS APV SBAS, la marge de catégorie d'aéronefs est ajoutée à l'obstacle le plus élevé dans l'approche.

IV.7 Longueur minimale d'un segment limité par deux points de cheminement

Une distance minimale entre points de cheminements successifs doit être prise en compte pour empêcher que des points de cheminement soient placés si près l'un de l'autre que les systèmes RNAV soient forcés de les esquiver, on distingue deux types de point de cheminement:

1. point de cheminement par le travers ;
2. point de cheminement à survoler.

Dans le cas d'un segment limité par deux points de cheminement, quatre séquences sont possibles :

- a) deux points de cheminement par le travers ;
- b) point de cheminement par le travers, puis point de cheminement à survoler ;
- c) deux points de cheminement à survoler ;
- d) point de cheminement à survoler, puis point de cheminement par le travers.

IV.7.1 Détermination de la longueur minimale du segment RNAV

Pour chaque point de cheminement, une distance minimale de stabilisation est déterminée. Cette dernière est la distance entre le point de cheminement et le point où la trajectoire rejoint tangentiellement la trajectoire nominale, dans le cas de points de cheminement successifs, la distance minimale entre ces points est la somme des deux distances minimales de stabilisation.

IV.7.2 Choix de l'angle d'inclinaison latérale

Pour les phases d'approche, l'angle d'inclinaison latérale est de 25° (ou 3°/s) sauf dans la phase d'approche interrompue où un angle d'inclinaison de 15° est présumé. [1]

IV.7.3 Premier point de cheminement DER

La position du premier point de cheminement doit ménager une distance minimale de 3,5 km (1,9 NM) entre la DER et le premier point de virage. [1], [6]

IV.7.4 Distance minimale de stabilisation

IV.7.4.1 Point de cheminement à survoler

- **Composantes du virage au point de survol**

Un virage au point de survol se subdivise entre les composantes ci-après, aux fins de calcul de la distance minimale de stabilisation : [16]

- a) une entrée en virage initiale au point de survol ;
- b) puis un parcours rectiligne d'interception du parcours suivant, à 30° ;
- c) une sortie de virage sur le nouveau cap ;
- d) un délai de 10 secondes pour le temps d'établissement de l'inclinaison latérale.

- **Modèle du virage au point de survol**

Pour la construction d'un modèle de la procédure de virage au point de survol, sa longueur est divisée en cinq segments, L1 à L5. La longueur totale de la procédure est la somme des cinq segments. [1], [3], [6]

- **Angle d'inclinaison latérale dans le virage au point de survol**

Dans le cas de changements de direction de 50° ou plus, la distance minimale de stabilisation se détermine sur la base d'un angle d'inclinaison latérale égal à 15° , 20° ou 25° selon les phases de vol pour le premier virage (r1) et égal à 15° pour le deuxième virage (r2).

Dans le cas de changements de direction de moins de 50° , la distance minimale de stabilisation est égale à la valeur calculée pour un changement de direction de 50° .

IV.7.4.2 Point de cheminement par le travers

- **Modèle du virage au point de cheminement par le travers**

Le modèle pour le calcul de la distance minimale de stabilisation pour le point de cheminement par le travers est conçu d'une manière analogue à celle du point de cheminement à survoler. La longueur totale du segment est la somme de L1 et L2, où :
L1 est la distance entre le point de cheminement et le début du virage.

L2 est un délai de 5 secondes pour le temps d'établissement de l'inclinaison latérale.

- **Angle d'inclinaison latérale dans le virage au point de cheminement par le travers**

Dans le cas de changements de direction de 50° ou plus, la distance minimale de stabilisation se détermine sur la base d'un angle d'inclinaison latérale égal à 15° , 20° ou 25° selon la phase de vol. Dans le cas de changements de direction de moins de 50° , la distance minimale de stabilisation est égale à la valeur calculée pour un changement de direction de 50° .

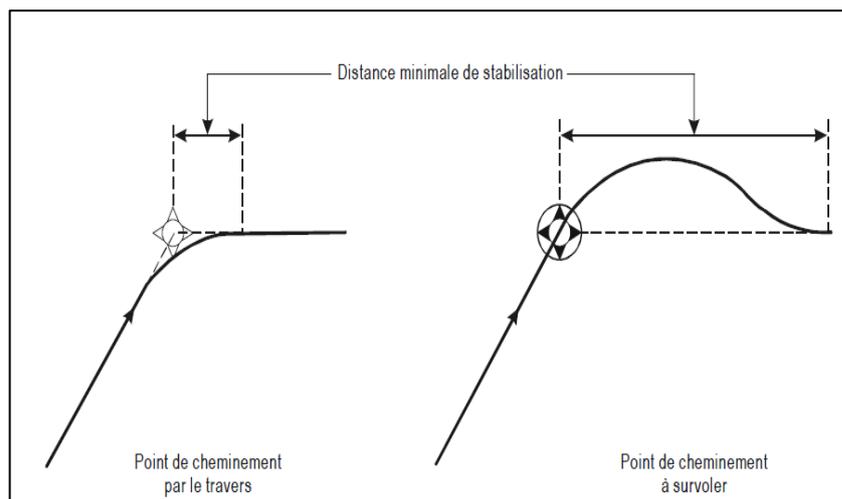


Figure IV.7.4 : détermination de la distance minimale de stabilisation, [3]

IV.7.5 Détermination de la longueur minimale d'un segment RNAV limité par au moins un point de cheminement qui n'est pas un point de cheminement avec virage

Afin de permettre l'application de contraintes spécifiques, certains points de cheminement qui ne sont pas des points de cheminement avec virage peuvent être ajoutés à l'intérieur d'un segment rectiligne. En ce qui concerne les points de cheminement avec virage, ils seront situés à une distance qui ne sera pas inférieure à la distance minimale D jusqu'au point de cheminement.

IV.8 Protection des virages et évaluation des obstacles

IV.8.1 La Vitesse

La vitesse maximale et la vitesse minimale définies pour la phase de vol considérée seront prises en compte dans toutes les constructions de virages en RNAV et en RNP.

IV.8.2 Méthodes de construction d'un virage

Différentes méthodes de protection des virages seront employées selon le type de virage, l'angle de virage et le segment de vol. [3]

a. Virage à un point de virage (TP)

Un virage à un point de virage peut être défini soit par un point de cheminement par le travers, soit par un point de cheminement à survoler. Pour chaque type de point de cheminement, deux méthodes différentes de construction de virage seront employées, selon l'angle de virage et le segment de vol :

- ✓ La méthode de spirale de vent/cercles limitatifs sera utilisée pour :

- les virages de plus de 30° à un IAF ou un IF
- les virages de plus de 10° au FAF
- les virages à l'intérieur d'un segment d'approche interrompue ou de départ.
- ✓ La méthode d'arcs circulaires sera utilisée pour :
 - les virages de 30° et moins à un IAF ou un IF
 - les virages de 10° et moins au FAF. [1], [3]

b. Virage à une altitude/hauteur (virage TA/H)

Pour le virage TA/H, la méthode de spirales de vent/cercles limitatifs sera utilisée.

c. Virage suivant un rayon jusqu'à un repère (virage RF) :

Les virages RF s'appliquent aux procédures RNAV et RNP et se construisent par une méthode différente de celle qui s'applique aux virages par le travers, avec survol ou TA/H.

IV.8.2.1 Méthode d'arcs circulaires

La méthode d'arcs circulaires ne s'applique que dans les segments de vol où des points de cheminement à survoler sont déconseillés (segment d'approche initiale, IF et FAF), cette méthode ne sera normalement appliquée qu'aux virages par le travers. Toutefois, lorsqu'un virage avec survol est prévu dans un segment d'approche initiale, cette méthode de construction peut aussi être appliquée en raison du faible angle de virage. [3]

IV.8.2.1.1 Protection de la limite extérieure de virage

Les bords extérieurs des aires primaires et secondaires du parcours précédent et du parcours suivant sont reliés par des arcs circulaires. Les points à joindre sont situés sur des perpendiculaires aux parcours tracés du point de cheminement jusqu'aux bords extérieurs. Chaque arc circulaire est centré sur le point où la bissectrice perpendiculaire à la ligne droite joignant les deux points coupe la perpendiculaire au parcours précédent. [5]

IV.8.2.1.2 Protection de la limite intérieure de virage

La limite intérieure de virage est définie par une ligne joignant les aires primaires et secondaires avant et après le point de cheminement.

IV.8.2.2 Méthode de spirale de vent/cercles limitatifs

IV.8.2.2.1 Protection de la limite extérieure de virage

✚ Aire primaire :

Il y a deux cas pour relier l'aire primaire résultant de la spirale de vent avec l'aire primaire du parcours suivant :

- Si l'aire primaire résultant de la spirale de vent se situe à l'intérieur de l'aire primaire du parcours suivant, ces aires seront jointes par une ligne à 15° de la trajectoire nominale du parcours suivant tracée tangentiellement à la spirale de vent.
- si l'aire primaire résultante se trouve à l'extérieur de l'aire primaire du parcours suivant, ces aires seront jointes par une ligne à 30° de la trajectoire nominale du parcours suivant tracée tangentiellement à la spirale de vent.

✚ Aire secondaire

L'aire secondaire s'appliquera à tous les virages, à condition que l'aire secondaire existe au point de virage. La largeur de l'aire secondaire est constante durant le virage, qui est égale à la largeur d'aire de l'aire secondaire au point de virage aval.

✚ Aire de protection convergente :

Si l'aire de protection converge vers un point de cheminement et si le point de virage aval se situe après le point de cheminement, l'aire de protection conservera la valeur de la largeur d'aire au point de cheminement, jusqu'au point de virage aval.

IV.8.2.2.2 Détermination des points de virage amont et aval

L'emplacement des points de virage amont et aval sera défini selon l'application de virage et type de point de cheminement. [3]

IV.8.2.3 Méthode de virage RF

Un virage suivant un rayon jusqu'à un repère est une trajectoire circulaire de rayon constant définie par :

- a. Le point de tangence à la fin du virage ;
- b. le centre du virage ;
- c. le rayon de virage ;
- d. la valeur de XTT ;
- e. une valeur tampon (BV) dans les cas où la BV est définie pour les applications

RNAV et RNP. [3], [5]

IV.9 Construction de procédures RNAV avec configuration en T ou en Y

Une procédure d'approche classique RNAV ou une procédure APV avec configuration en T ou en Y est basée sur un segment final aligné sur la piste, précédé d'un segment intermédiaire et de segments initiaux, disposés de part et d'autre le long de la trajectoire d'approche finale pour former un T ou un Y.

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 associée à un IAF. [3], [5]

IV.9.1 Segment d'approche initiale

❖ Alignement

Les IAF décalés sont placés de telle manière qu'un changement de trajectoire de 70° à 90° soit requis à l'IF. La région d'interception pour les trajectoires en rapprochement vers l'IAF décalé couvre 180° de part et d'autre des IAF, ce qui permet une entrée directe lorsque le changement de cap à l'IF est de 70° ou plus. L'IAF central est normalement aligné sur le segment intermédiaire. [3]

❖ Longueur

La longueur optimale de ce segment est de 9,3 km (5,0 NM) et la longueur minimale ne sera pas inférieure à la distance requise pour la vitesse la plus élevée d'approche initiale de la catégorie d'aéronefs les plus rapides à l'intention desquels l'approche est conçue. Cette distance est la somme des distances minimales de stabilisation requises à l'IAF et à l'IF.

❖ Pente de descente

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.

IV.9.2 Segment d'approche intermédiaire

❖ Alignement

Le segment d'approche intermédiaire devrait être aligné sur le segment d'approche finale, si c'est possible.

❖ **Longueur**

Le segment intermédiaire se compose de deux éléments : un élément en virage par le travers de l'IF, suivi d'un élément rectiligne immédiatement avant le FAF. La longueur de l'élément en virage correspond à la distance minimale de stabilisation pour l'angle de virage à l'IF et la longueur de l'élément rectiligne est variable, mais elle ne sera pas inférieure à 3,7 km (2,0 NM) pour permettre à l'aéronef de se stabiliser avant le FAF.

❖ **Pente de descente**

Lorsqu'une descente est requise, la pente de descente sera calculée en fonction de la distance de trajectoire la plus courte possible pour la catégorie d'aéronefs les plus rapides, et non en fonction de la longueur du segment.

IV.9.3 Segment d'approche finale

❖ **Alignement**

L'alignement optimal de ce segment est l'axe de piste.

❖ **Longueur**

La longueur optimale du segment d'approche finale est de 9,3 km (5,0 NM).

❖ **Pente de descente**

- **Pente/angles de descente minimal/optimal**

La pente de descente minimale/optimale est de 5,2 % pour le segment d'approche finale d'une approche classique avec FAF (3° pour approche de précision ou approche avec guidage vertical).

- **Pentes/angles de descente maximale**

Les pentes/angles de descente maximale sont les suivants :

1. pour une approche classiques avec FAF :

6,5 % pour une approche classique d'aéronefs des catégories A et B.

6,1 % pour les aéronefs des catégories C, D et E.

2. 3,5° pour une approche avec guidage vertical

3. pour les approches de précision :

3,5° pour une approche de précision de catégorie I ;

3° pour les approches de précision de catégories II et III.

IV.9.4 Segment d'approche interrompue

❖ Point d'approche interrompue

Le point d'approche interrompue sera défini par un point de cheminement à survoler. [1], [3]

❖ 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.

Pour assurer le franchissement des obstacles dans l'aire d'approche interrompue, le MAPt peut être placé plus près du FAF.

IV.10 Altitude d'arrivée en région terminale (TAA)

En région terminale (TAA) des altitudes d'arrivée devraient être établies pour toute procédure RNAV basée sur la configuration en T ou en Y. On peut établir une altitude minimale de secteur (MSA) au lieu de TAA dans le cas d'une procédure RNAV d'approche aux instruments.

Les points de référence de TAA sont le repère d'approche initiale et/ou le repère d'approche intermédiaire.

IV.10.1 Construction

La configuration normale comporte en trois aires de TAA :

- L'aire d'entrée directe ;
- L'aire de base gauche et
- L'aire de base droite.

Les limites latérales de TAA sont définies par le prolongement des segments initiaux de base gauche et droite. Les limites extérieures sont définies par des arcs de 46 km (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.

IV.10.2 Zone tampon

Chaque aire de TAA est terminée 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 calculé 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), et la valeur obtenue étant arrondie au multiple de 50 m ou de 100 ft le plus proche. [3]

IV.10.3 Arcs de palier de descente de TAA et sous-secteurs

Il peut être établi une limite circulaire ou « arc de palier de descente » divisant en deux aires l'altitude d'arrivée en région terminale (TAA), l'altitude la moins élevée se trouvant dans l'aire intérieure pour éviter des pentes de descente excessives. [3], [18]

L'aire de TAA d'entrée directe peut être divisée radialement en sous-secteurs mais pour Les aires de base gauche et droite de TAA ne peuvent avoir que des arcs de palier de descente et ne seront pas subdivisées en sous-secteurs radiaux.

IV.11 Application du bloc de données FAS pour le SBAS et le GBAS

IV.11.1 Définition du bloc de données FAS

C'est l'ensemble de paramètres servant à identifier une seule approche de précision ou APV et à définir la trajectoire d'approche correspondante. [3]

IV.11.2 Champs de données non FAS requis

Les hauteurs ortho métriques du LTP et du FPAP ne sont pas incluses dans le bloc de données FAS mais sont nécessaires pour la construction de la procédure et la cartographie.

IV.11.3 Spécifications de qualité

Les spécifications de qualité suivantes s'appliquent aux principaux éléments de données FAS:

Tableau IV.11.3 : Les Spécifications de qualité

Élément	Précision	Résolution	Intégrité
FPAP (latitude et longitude)	0,3 m (1 ft)	0,0005" (0,01")	10^{-8}
LTP/FTP (latitude et longitude)	0,3 m (1 ft)	0,0005" (0,01")	10^{-8}
LTP/FTP (hauteur ellipsoïdale)	0,25 m	0,1 m	10^{-8}
TCH d'approche	0,5 m	0,1 m	10^{-8}
Angle d'alignement de descente	0,5 m	0,01°	N/D
Largeur de l'alignement	N/D	0,25 m	10^{-8}
Décalage de longueur delta	N/D	8 m	N/D

IV.11.4 Méthode de détermination du FPAP

Il y a deux cas possibles pour l'emplacement du FPAP :

1. Il n'y a pas d'ILS pour l'approche

Le FPAP est situé à l'extrémité arrêt de la piste (à l'opposé du LTP/FTP), le GARP se trouve à une distance de 305 m du FPAP le long de la ligne géodésique du LTP/FTP au FPAP, et le décalage de longueur Δ est égal à zéro.

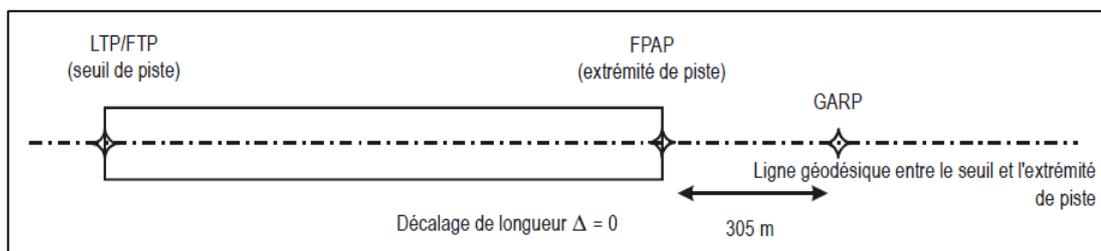


Figure IV.11.4.1 : Emplacement du FPAP (pas d'ILS pour l'approche), [3]

2. Il y a un ILS pour l'approche

Le GARP se trouve à la position du radiophare d'alignement de piste et le FPAP ne sera pas placé avant l'extrémité arrêt de la piste, il est d'abord nécessaire de déterminer la distance entre le radiophare d'alignement de piste et l'extrémité de la piste.

- a. Si cette distance est inférieure à 305 m, le FPAP est alors placé à l'extrémité de la piste (à l'opposé du LTP/FTP), le décalage de longueur Δ est égal à zéro et le GARP ne peut pas coïncider avec le radiophare d'alignement de piste.

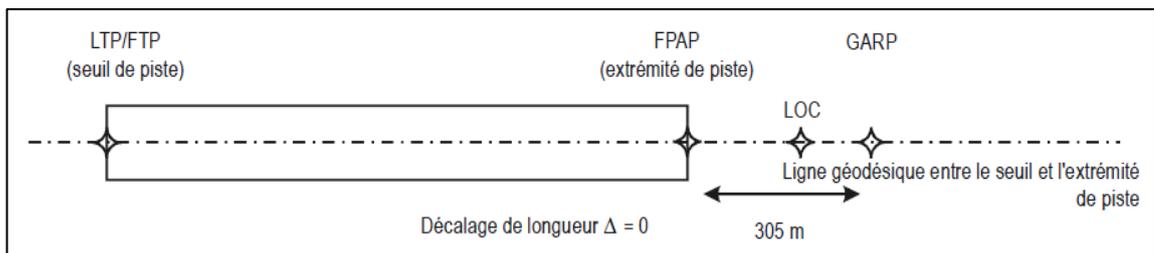


Figure IV.11.4.2.a : Emplacement du FPAP (il y a un ILS pour l'approche et le LOC est à 305 m maximum de l'extrémité de la piste), [3]

- b. Si la distance est strictement supérieure à 305 m, le GARP correspond avec le radiophare d'alignement de piste et le FPAP se détermine par calcul de l'intersection entre la ligne définie par le LTP/FTP et le GARP, et une distance de 305 m depuis le GARP. Le décalage de longueur Δ se calcule alors comme étant la distance entre le FPAP et l'extrémité de la piste.

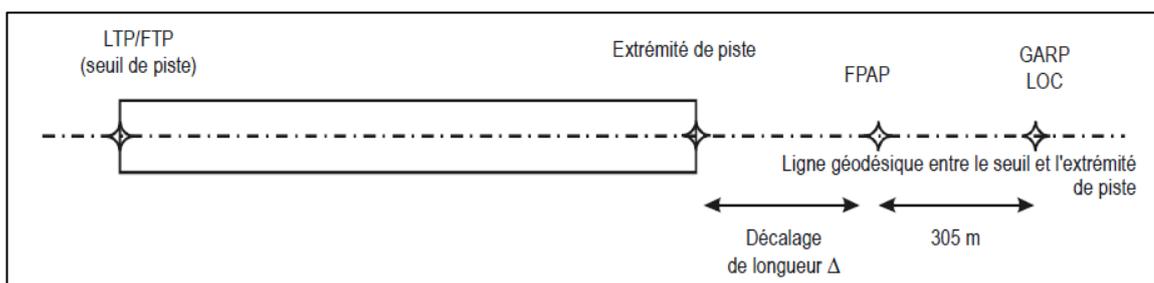


Figure IV.11.4.2.b : Emplacement du FPAP (il y a un ILS et le LOC est à plus de 305 m de l'extrémité de la piste), [3]

IV.12 Procédures d'arrivée et d'approche

IV.12.1 Routes d'arrivée

IV.12.1.1 Segment d'approche initiale

Segments rectilignes

❖ Alignement de l'approche initiale

Dans le cas des procédures d'approche classique, l'angle d'interception entre une trajectoire d'approche initiale et une autre trajectoire initiale ne dépassera pas 120° et entre une trajectoire d'approche initiale et la trajectoire intermédiaire ne dépassera pas 90° .

Dans les procédures d'approche avec guidage vertical et les procédures d'approche de précision, l'angle d'interception entre la trajectoire d'approche initiale et la trajectoire intermédiaire ne dépassera pas 90° .

❖ Longueur de l'aire d'approche initiale

Dans le cas du GNSS de base, la longueur optimale du segment d'approche initiale est de 9 km (5 NM). Toutefois, si le segment initial est précédé d'une route d'arrivée, la longueur minimale est de 11,1 km (6,0 NM) afin de permettre l'insertion.

❖ Largeur de l'aire d'approche initiale

La largeur totale d'aire est le résultat de l'assemblage des différentes largeurs d'aires aux repères pertinents.

Procédures d'inversion

Les procédures RNAV devraient être conçues afin d'éviter la nécessité de procédures d'inversion. Toutefois, un circuit en hippodrome sera établi dans le cas où une procédure nécessite une inversion de trajectoire.

IV.12.1.2 Segment d'approche intermédiaire

Alignement de l'approche intermédiaire

Le segment d'approche intermédiaire devrait être aligné sur le segment d'approche finale dans les procédures d'approche classique et dans les procédures d'approche avec guidage vertical et les procédures d'approche de précision, le segment d'approche intermédiaire sera aligné sur le segment d'approche finale. [3]

Longueur de l'approche intermédiaire

Le segment d'approche intermédiaire peut comporter en deux composantes :

- a. un composant virage;

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

La longueur de la composante rectiligne est variable mais ne sera pas inférieure à 3,70 km (2,00 NM) et la longueur du composant virage est la distance minimale de stabilisation pour l'angle de virage à l'IF.

Largeur de l'aire d'approche intermédiaire

La largeur totale de l'aire résulte de la jonction des largeurs d'aires à l'IF et au FAF.

IV.12.1.3 Approche interrompue avec virage

Pour les procédures d'approche interrompue avec récepteurs GNSS ne procurant pas un guidage continu de trajectoire après le MAPt, il ne faudrait utiliser qu'un parcours DF dans le dessin du premier segment de l'approche interrompue.

IV.12.1.4 Fin du segment d'approche interrompue

Un point de cheminement définissant la fin du segment d'approche interrompue sera situé au point ou après le point où l'aéronef en montée à la pente minimale prescrite pour chaque segment, atteint l'altitude minimale pour la phase en route ou l'attente. [1], [3]

IV.13 Procédures d'approche classique

IV.13.1 Segment d'approche finale

Alignement de l'approche finale

La trajectoire d'approche finale devrait être alignée sur l'axe de la piste.

Longueur de l'approche finale

La longueur optimale est de 9,3 km (5,0 NM), mais elle ne devrait pas normalement dépasser 18,5 km (10,0 NM). La longueur minimale du segment final et la distance entre le FAF et le seuil ne seront pas inférieures à 5,6 km (3,0 NM). [3]

Marge de franchissement d'obstacles

La marge minimale de franchissement d'obstacles dans l'aire primaire est de 75 m (246 ft). [3], [9]

IV.13.2 Segment d'approche interrompue initiale et intermédiaire

Emplacement du MAPt

Pour une approche alignée sur la piste, le point d'approche interrompue sera situé au seuil ou avant le seuil. Si le segment final n'est pas aligné sur l'axe de la piste, l'emplacement optimal est l'intersection de la trajectoire d'approche finale et du

prolongement de l'axe de piste. Au besoin, le MAPt peut être éloigné du seuil vers le FAF, à condition que l'OCA/H ne soit pas inférieure à l'altitude/hauteur au MAPt sur une pente de descente nominale de 5,2 % (3°) ou la pente de descente promulguée si celle-ci est plus forte.

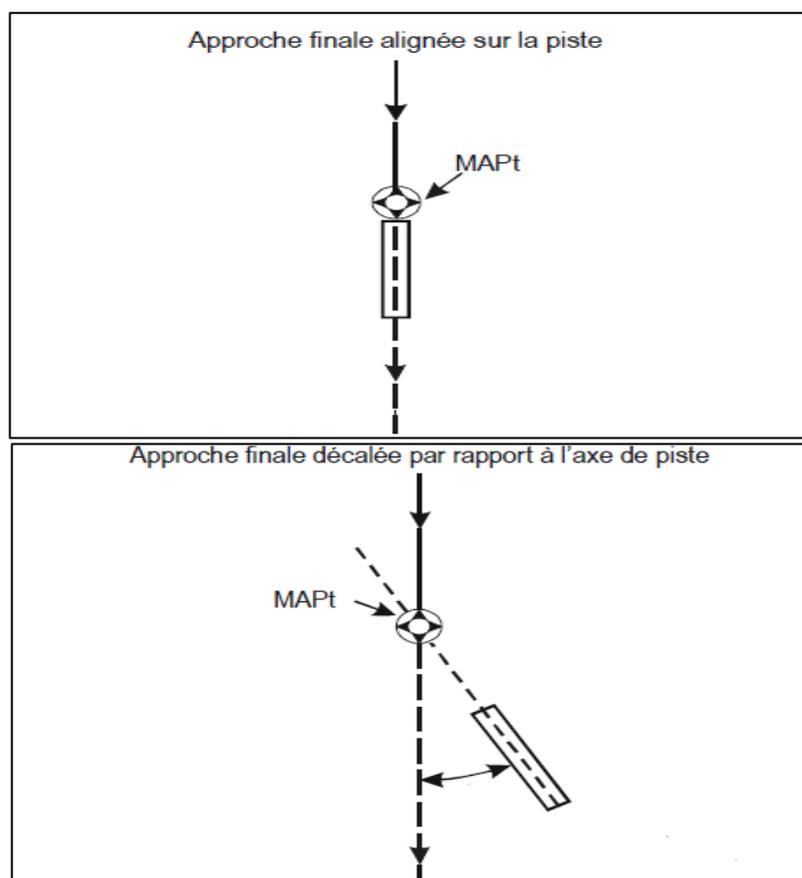


Figure IV.13.2 : Emplacement du MAPt, [3]

✚ Largeur de l'aire d'approche interrompue

Le point d'approche interrompue (MAPt) le plus en aval est déterminé par la valeur de l'ATT au MAPt.

IV.14 APV/navigation verticale barométrique (BARO-VNAV)

Les procédures d'approche Baro-VNAV sont considérées comme des procédures aux instruments servant à maintenir des approches et atterrissages avec guidage vertical (APV). Elles utilisent une DA/H et non une MDA/H, sans que soit identifié ni FAF ni point d'approche interrompue (MAPt). Elles utilisent des surfaces d'évaluation d'obstacles similaires à celles de l'ILS mais fondées sur le système de guidage latéral particulier.

Les procédures Baro-VNAV sont utilisées en combinaison avec des procédures LNAV seulement. [4]

Les procédures Baro-VNAV se construisent en trois étapes :

- a. détermination du VPA et de la surface d'approche finale (FAS) ;
- b. construction des OAS APV ;
- c. calcul de l'OCA/H en fonction des obstacles traversant les OAS APV.

IV.14.1 Définition

Le système de navigation verticale barométrique (Baro-VNAV) est un système de navigation qui présente au pilote un guidage vertical par référence à un angle de trajectoire verticale (VPA) spécifié, nominalement 3°. Le guidage vertical est déterminé par ordinateur en fonction de l'altitude barométrique ; il est spécifié sous forme d'angle de trajectoire verticale à partir de la hauteur du point de repère (RDH). [3]

IV.14.2 Segment APV

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

Les OAS APV commencent au point d'approche finale (FAP), qui se trouve à l'intersection de la trajectoire verticale et de la hauteur minimale spécifiée pour le segment précédent et prennent fin au MAHF ou au MATF.

IV.14.2.1 Définition des OAS

Les OAS servent à déterminer les obstacles à prendre en compte. Elles se composent des surfaces suivantes :

- a) surface d'approche finale (FAS) ;
- b) surface d'un plan horizontal ;
- c) surfaces d'approche interrompue intermédiaire et finale (Z_i et Z_f respectivement).

À chaque surface correspondent des surfaces latérales. [3], [6], [8]

IV.14.2.2 Surface d'approche finale (FAS)

La surface d'approche finale a son origine au niveau du seuil à une distance avant le seuil correspondant au point où la trajectoire verticale atteint une hauteur de MOC_{app} au-dessus du seuil, plus une distance longitudinale de 444 m (ATT).

Les limites latérales de la surface d'approche finale correspondent aux bords de l'aire primaire LNAV. Les bords intérieurs des surfaces latérales associées sont définis par les bords de l'aire primaire LNAV à la hauteur de la FAS et par les bords extérieurs des aires secondaires LNAV à la valeur de MOC_{app} au-dessus de la hauteur de la FAS.

IV.14.2.3 Plan horizontal

Le plan horizontal est défini par une surface au niveau du seuil limitée par l'aire primaire LNAV entre l'origine de la FAS et l'origine de la surface d'approche interrompue. [3]

IV.14.2.4 Surface d'approche interrompue intermédiaire

La surface d'approche interrompue intermédiaire (Z_i) a son origine au niveau du seuil à une distance X_{Z_i} par rapport au seuil. Elle prend fin au premier point où une MOC de 50 m est obtenue et maintenue. [3], [10]

IV.14.2.5 Surface d'approche interrompue finale

La surface d'approche interrompue finale (Z_f) commence au premier point où une MOC de 50 m peut être obtenue et maintenue, à partir de ce point elle est définie par une surface qui a son origine au niveau du seuil à une distance X_{Z_f} par rapport au seuil et se termine à la fin du segment APV. [5]

IV.15 Procédures APV I/II — SBAS

- **Altitude/hauteur de franchissement d'obstacles (OCA/H)**

L'OCA/H assure le franchissement des obstacles depuis le début de l'approche finale jusqu'à la fin du segment intermédiaire d'approche interrompue.

IV.15.1 Segment d'approche initiale

Dans le cas des procédures d'approche classique l'angle d'interception entre une trajectoire d'approche initiale et une autre trajectoire initiale ne dépassera pas 120° . Les virages de plus de 90° devraient être ménagés par plus d'un point de cheminement ou par l'emploi d'un parcours RF.

IV.15.2 Segment d'approche intermédiaire

- ❖ **Alignement**

Le segment d'approche intermédiaire d'une procédure APV sera aligné sur le segment d'approche finale.

❖ Largeur d'aire

La largeur de l'aire secondaire diminue jusqu'à zéro à la jonction avec les surfaces d'approche finale. [3]

IV.15.3 Segment APV

Le segment APV d'une approche APV I ou APV II SBAS sera aligné sur l'axe de la piste et comprendra les segments d'approche finale, d'approche interrompue initiale et d'approche interrompue intermédiaire.

Le segment APV commence au point d'approche finale (l'intersection de la trajectoire verticale nominale et de l'altitude minimale spécifiée pour le segment précédent) et se termine au point où commence la phase finale de l'approche interrompue ou au point où la surface Z de montée en approche interrompue atteint une demi-largeur de 1,76 km (0,95 NM). [3], [4], [7], [12]

IV.15.4 Segment d'approche interrompue

- **Approche interrompue en ligne droite**

L'altitude/hauteur des obstacles dans cette aire d'approche interrompue finale sera inférieure à :

$$(OCA/HAPV - HL) + d_o \operatorname{tg} Z$$

Où : OCA/HAPV et HL se rapportent à la même catégorie d'aéronefs

d_o se mesure à partir du SOC parallèlement à la trajectoire d'approche interrompue en ligne droite

Z est l'angle entre la surface d'approche interrompue et le plan horizontal.

- **Approche interrompue avec virage**

Pour les procédures APV SBAS le virage d'approche interrompue sera prescrit à un TP désigné. Des virages à une altitude/hauteur désignée ne peuvent pas être mis en œuvre à cause des actuelles possibilités des récepteurs SBAS.

IV.16 procédures d'approche de précision — GBAS

IV.16.1 Construction de la procédure

Depuis la phase en route jusqu'au segment d'approche finale GBAS et dans la phase finale d'approche interrompue la procédure est conforme aux critères généraux.

IV.16.2 Altitude/hauteur de franchissement d'obstacles (OCA/H)

Les critères GBAS permettent de calculer une OCA/H pour chaque catégorie d'aéronefs. L'OCA/H assure le franchissement des obstacles depuis le début de l'approche finale jusqu'à la fin du segment intermédiaire d'approche interrompue.

IV.16.3 Segment d'approche initiale

❖ Alignement

L'angle entre la trajectoire d'approche initiale et la trajectoire intermédiaire ne devrait pas dépasser 90°. Si l'angle dépasse 70°, une radiale, un relèvement, un vecteur radar ou des informations DME ou RNAV procurant au moins 4 km (2 NM) d'anticipation seront identifiés en vue de faciliter le virage vers la trajectoire intermédiaire.

IV.16.4 Segment d'approche intermédiaire

❖ Alignement

Le segment d'approche intermédiaire d'une procédure GBAS sera aligné sur l'axe d'approche finale.

❖ Longueur

La longueur optimale du segment d'approche intermédiaire est de 9 km (5 NM), il permettra d'intercepter l'alignement d'approche finale et l'alignement de descente.

La longueur de ce segment devrait être suffisante pour permettre aux aéronefs de se stabiliser et de s'établir sur le parcours d'approche finale avant d'intercepter l'alignement de descente, compte tenu de l'angle d'interception de l'alignement d'approche finale. [5]

❖ Largeur

La largeur totale au début du segment d'approche intermédiaire est définie par la largeur totale du segment d'approche initiale. Elle se diminue uniformément pour correspondre à la distance horizontale entre les surfaces X d'OAS au FAP. [3]

IV.16.5 Segment de précision

Le segment de précision pour GBAS est aligné sur le parcours d'approche finale et contient la descente finale avant l'atterrissage ainsi que les phases initiale et intermédiaire d'approche interrompue.

• L'origine de segment de précision

Il commence au point d'approche finale, c'est-à-dire à l'intersection de l'alignement de descente nominal et de l'altitude minimale spécifiée pour le segment précédent. Le FAP ne devrait pas être situé à plus de 18,5 km (10,0 NM) avant le seuil.

- **Vérification de l'alignement de descente**

Un repère au FAP est nécessaire pour permettre de comparer l'alignement de descente indiqué et les indications de l'altimètre de bord.

- **Repère de descente**

Il sera placé au début du segment d'approche finale pour devenir le point d'approche finale reliant harmonieusement la MOC du segment précédent avec les surfaces de précision. La tolérance du repère de descente n'a pas besoin d'être prise en compte en raison de la précision.

- **Approche interrompue**

L'approche interrompue sera amorcée à une hauteur non inférieure à l'intersection de l'alignement de descente nominal et de l'altitude/hauteur de décision (DA/H)

- **Fin du segment**

Le segment de précision se termine au point où commence la phase finale de l'approche interrompue ou au point où la surface Z de montée en approche interrompue (qui commence à 900 m au-delà du seuil) atteint une hauteur de 300 m (1 000 ft) au-dessus du seuil si ce deuxième point est plus bas.

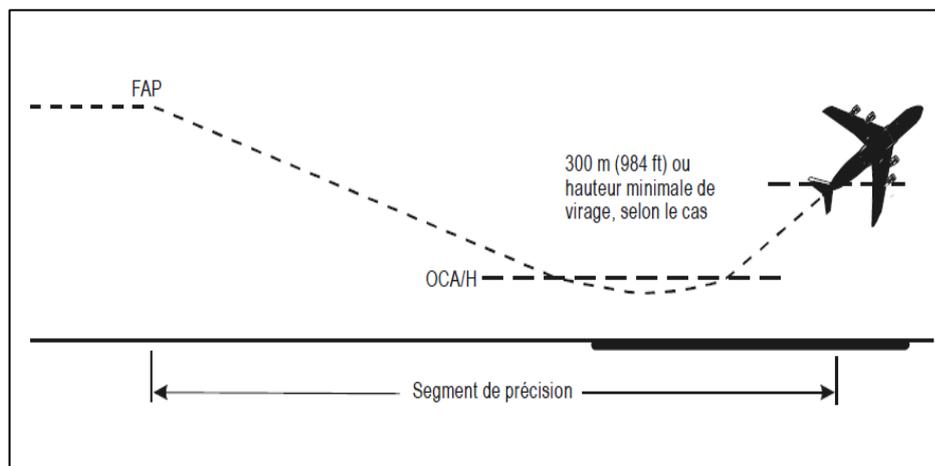


Figure IV.16.5 : segment de précision, [3]

IV.17 Procédures d'attente

IV.17.1 Types de procédures d'attente en RNAV

On distingue deux types de procédures d'attente en RNAV : [3]

1. attente en RNAV avec un seul point de cheminement :

a) pour opérations exigeant des systèmes RNAV avec fonctionnalité d'attente ;

b) pour opérations n'exigeant pas de systèmes RNAV avec fonctionnalité d'attente ;

2. attente dans une aire RNAV.

IV.17.2 Procédures d'entrée

IV.17.2.1 Attente en RNAV avec un point de cheminement

Les procédures d'entrée dans une attente en RNAV avec un point de cheminement seront les mêmes que celles qui sont utilisées pour l'attente conventionnelle. [3], [5]

IV.17.2.2 Attente dans une aire

Toute procédure d'entrée qui est contenue à l'intérieur de l'aire donnée est admissible.

IV.17.3 Tolérance de repère

La tolérance de repère est la plus élevée des tolérances de repère des capteurs individuels permis dans l'application de la spécification de navigation. [3]

IV.17.4 Construction d'aires d'attente

IV.17.4.1 Construction d'aires d'attente pour RNP

- **Paramètres qui définissent le circuit maximal d'attente en RNP**

Le circuit maximal d'attente en RNP est défini par :

- a) un point de cheminement d'attente en latitude et longitude WGS-84 ;
 - b) une altitude minimale et une altitude maximale ;
 - c) une vitesse indiquée maximale en attente ;
 - d) une trajectoire de rapprochement vers le repère d'attente ;
 - e) la longueur (d1) de la trajectoire de rapprochement ;
 - f) le diamètre de virage (d2) ;
 - g) la valeur de RNP (d3) ;
 - h) la distance (d4) à utiliser pour tracer la limite de protection pour entrées de secteur
- 4.

- **Franchissement d'obstacles**

- **Aire d'attente en RNP**

L'aire d'attente inclut l'aire d'attente de base en RNP et la protection additionnelle pour entrées de secteur 4. La protection d'aire d'attente comprend deux parties : aire primaire et zone tampon.

- Aire primaire

Une valeur (d3) égale à la RNP s'applique autour de la trajectoire maximale sur les segments rectilignes.

- Zone tampon

Elle s'applique à l'extérieur de l'aire primaire. La largeur de la zone tampon est la plus grande des valeurs suivantes :

XTT + 3,70 km (2,00 NM)

9,26 km (5,00 NM).

IV.17.5 promulgation de procédures d'attente en RNAV

IV.17.5.1 Attente en RNAV pour systèmes RNAV avec fonctionnalité d'attente

Dans ce type d'attente, le parcours d'éloignement est défini par sa longueur. La longueur du parcours d'éloignement sera indiquée sur la carte d'approche, en kilomètres (milles marins).

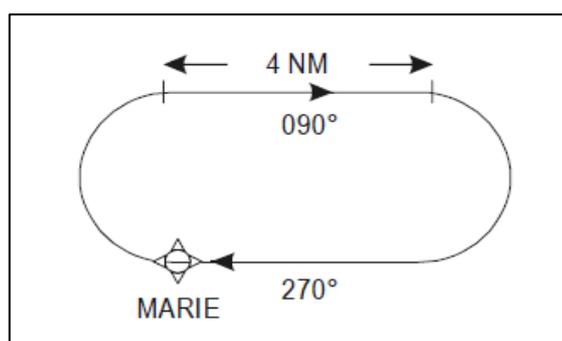


Figure IV.17.5.1 : Attente en RNAV pour systèmes RNAV avec fonctionnalité d'attente, [3]

IV.17.5.2 Attente en RNAV pour tous les systèmes RNAV

Dans une attente exécutée manuellement le parcours d'éloignement est défini soit par un minutage, soit par une distance à partir du point de cheminement d'attente.

Lorsque les deux types de circuit d'attente en RNAV (celui à exécuter manuellement et celui avec fonctionnalité d'attente) sont possibles avec le même point de cheminement, la longueur du parcours d'éloignement et le minutage seront publiés. [3], [4]

Partie pratique

Chapitre V
APV/navigation verticale
barométrique
(BARO-VNAV)

CHAPITRE V. APV/NAVIGATION VERTICALE BAROMETRIQUE (BARO-VNAV)

V.1 Introduction

V.1.1 Contexte général

Cette spécification de navigation concerne les systèmes qui se fondent sur l'utilisation de l'altitude barométrique et de renseignements RNAV pour définir les trajectoires de vol dans le plan vertical, Le système de navigation verticale barométrique (Baro-VNAV) est un système de navigation qui présente au pilote un guidage vertical par référence à un angle de trajectoire verticale (VPA) spécifié, nominalelement 3°.Le segment d'approche finale de procédures de vol aux instruments VNAV est exécuté en utilisant le guidage vertical vers un alignement de descente calculé par le système RNAV de bord.

L'alignement de descente est contenu dans la spécification de la procédure aux instruments dans la base de données de navigation du système RNAV. Pour les autres phases du vol, la VNAV barométrique fournit des renseignements sur la trajectoire verticale qui peut être définie par des angles verticaux ou des altitudes à des repères dans la procédure. [2]

V.1.2 Objet de (BARO-VNAV)

Cette spécification est destinée à faciliter l'approbation opérationnelle pour les systèmes VNAV barométriques existants qui ont démontré leurs possibilités et obtenu l'approbation réglementaire pour leur utilisation. Une approbation opérationnelle fondée sur cette norme permet à un exploitant d'exécuter mondialement des opérations VNAV barométriques. Cependant Cette spécification donne des critères de navigabilité et opérationnels pour l'approbation d'un système RNAV auquel l'altimétrie barométrique sert de base pour sa fonctionnalité de navigation verticale. [2]

V.2 Généralités

V.2.1 Définition

Le système de navigation verticale barométrique est un système de navigation qui présente au pilote un guidage vertical par référence à un angle de trajectoire verticale (VPA) spécifié, nominalelement 3°. Le guidage vertical est déterminé par ordinateur en

Chapitre V

fonction de l'altitude barométrique ; il est spécifié sous forme d'angle de trajectoire verticale à partir de la hauteur du point de repère (RDH). [2], [4], [11]

Les procédures d'approche Baro-VNAV sont considérées comme des procédures aux instruments servant à appuyer des approches et atterrissages avec guidage vertical (APV).

Elles utilisent une DA/H et non une MDA/H. Elles emploient des surfaces d'évaluation d'obstacles semblables à celles de l'ILS mais fondées sur le système de guidage latéral particulier. Lors de cette procédure VNAV le FAP et MAPT ne font pas partir Les procédures Baro-VNAV se construisent en trois étapes :

- a) détermination du VPA et de la surface d'approche finale (FAS)
- b) construction des OAS APV
- c) calcul de l'OCA/H en fonction des obstacles traversant les OAS APV

V.3. Application de la VNAV barométrique

La VNAV barométrique est destinée à être employée là où un guidage vertical et des renseignements sont fournis à l'équipage de conduite sur des procédures d'approche aux instruments contenant une trajectoire de vol dans le plan vertical définie par un angle de trajectoire vertical. La VNAV barométrique peut être définie aussi par des contraintes d'altitude mais seulement pour des phases du vol autres que l'approche. [2],[5], [8]

V.4. Infrastructure d'aides à la navigation

La conception de la procédure ne comporte pas d'exigences particulières en matière d'infrastructure. Ces critères sont basés sur l'utilisation de l'altimétrie barométrique par un système RNAV de bord dont les possibilités de performances correspondent à l'opération requise.

V.5. Spécification de navigation

V.5.1 Contexte général

Cette section recense les besoins opérationnels pour la VNAV en liaison avec les opérations RNP APCH. Elle suppose acquise l'approbation de navigabilité de l'aéronef et des systèmes. Cela signifie que les fondements ont déjà été établis et approuvés pour la fonction et les performances VNAV, sur la base des niveaux d'analyse, des tests et des démonstrations appropriés. La satisfaction des besoins opérationnels ici énoncés devrait

être visée par des règlements opérationnels nationaux et pourra, dans certains cas, exiger une approbation opérationnelle spécifique. [2], [6]

V.5.2 Conditions à remplir par le système de bord

Les opérations d'approche VNAV barométrique sont basées sur l'utilisation d'équipement RNAV qui détermine automatiquement la position de l'aéronef dans le plan vertical en utilisant les données d'un équipement qui peut inclure; calculateur de données aérodynamiques, système de données aérodynamiques, systèmes intégrés avec certification de type et altimètre barométrique, ainsi que ce système de navigation verticale (VNAV) barométrique doit être performants. [2]

V.5.3 Continuité des fonctions

Les opérations fondées sur l'utilisation de moyens VNAV barométriques, au moins un système RNAV est requis.

V.5.3.1 Fonctions de navigation verticale

V.5.3.1.1 Définition de trajectoire

Les exigences pour la définition de la trajectoire dans le plan vertical sont régies par les deux exigences générales pour les opérations : admission des performances de l'aéronef, et reproductibilité et prévisibilité dans la définition de la trajectoire. Cette relation opérationnelle conduit aux spécifications des sections qui suivent, qui sont basées sur les phases du vol et les opérations aériennes spécifiques. [6]

Le système de navigation doit être capable de définir une trajectoire verticale par un angle de trajectoire de vol vers un repère. Il doit aussi être capable de spécifier une trajectoire dans le plan vertical entre des contraintes d'altitude à deux repères figurant dans le plan de vol.

V.5.4 Contraintes dans le plan vertical

Les altitudes et/ou vitesses associées aux procédures publiées doivent être extraites automatiquement de la base de données de navigation lors de la sélection de la procédure d'approche.

V.5.5 Construction de la trajectoire

Le système doit être capable de construire une trajectoire pour assurer le guidage depuis la position actuelle jusqu'à un repère avec contraintes dans le plan vertical.

V.6. Conditions normales

Le VPA optimal promulgué sera de 3° ; il ne sera pas inférieur à 3° , ni supérieur à $3,5^\circ$.

La hauteur du point de repère (RDH) sera de 15 m (50 ft), Détermination de la température minimale à promulguer.

Toutes les hauteurs des obstacles sont par rapport à l'altitude topographique du seuil.

L'utilisation de procédures Baro-VNAV élaborées présuppose qu'une limite inférieure est appliquée à l'OCA/H, à savoir :

- a) 75 m à condition que la surface intérieure d'approche, la surface intérieure de transition et les surfaces d'atterrissage interrompu aient fait l'objet d'une évaluation d'obstacles et ne soient pas traversées
- b) 90 m dans tous les autres cas. [2], [5], [11], [27]

V.7. Segment APV

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

V.7.1 OAS APV:

Les OAS APV commencent au point d'approche finale (FAP), qui se trouve à l'intersection de la trajectoire verticale et de la hauteur minimale spécifiée pour le segment précédent. Normalement, le FAP ne devrait pas être situé à plus de 19 km (10 NM) avant le seuil. Les OAS APV prennent fin au MAHF ou au MATF, selon ce qui se présente en premier lieu. Le FAF et le MAPt LNAV sont principalement utilisés pour définir la géométrie des aires et des surfaces. Une fois la procédure construite, le FAF et le MAPt de la procédure LNAV associée servent uniquement au codage de la base de données et à la définition de toute procédure LNAV sous-jacente (RNP APCH). [2]

V.7.2 Rapport entre les OAS APV et les critères LNAV:

Les bords supérieurs/extérieurs des surfaces latérales OAS APV sont basés sur les bords extérieurs des aires secondaires LNAV. Les bords inférieurs/intérieurs des surfaces latérales OAS APV sont basés sur les bords de l'aire primaire LNAV. Les bords extérieurs des surfaces latérales se présentent comme suit :

Chapitre V

- valeur de MOC_{app} au-dessus du bord intérieur des surfaces latérales liées à la FAS.
- 30 m au-dessus du bord intérieur des surfaces latérales liées aux surfaces d'approche interrompue intermédiaire.
- 50 m au-dessus des bords intérieurs liés à la surface d'approche interrompue finale.

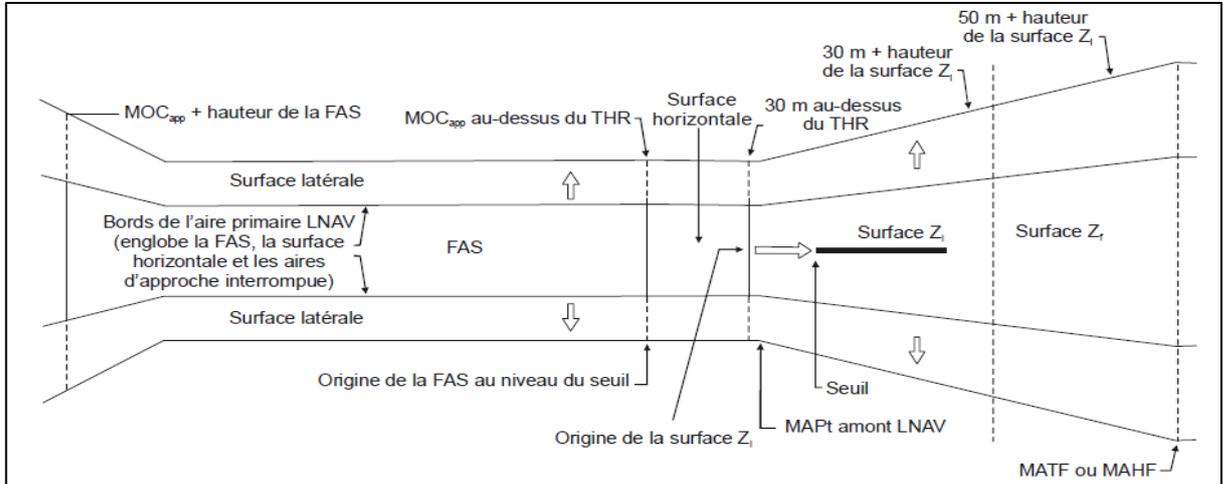


Figure V.7.2.1: Aire APV Baro-RNAV — Surfaces OAS APV vues en plan, [3]

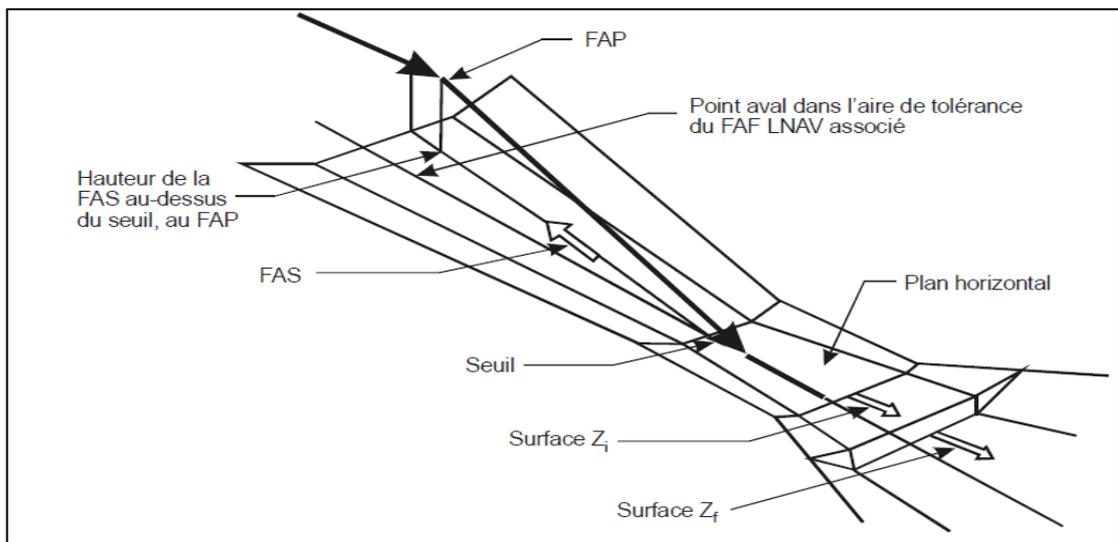


Figure V.7.2.2: Représentation des OAS APV [3]

V.7.3 Définition des OAS

Les OAS servent à déterminer les obstacles à prendre en compte. Elles se composent de des surfaces suivantes :

- surface d'approche finale (FAS) plus les surfaces latérales
- surface d'un plan horizontal plus les surfaces latérales
- surfaces d'approche interrompue intermédiaire et finale (Z_i et Z_f respectivement) plus les surfaces latérales. [2]

V.7.3.1 Surface d'approche finale (FAS)

La surface d'approche finale a son origine au niveau du seuil à une distance avant le seuil correspondant au point où la trajectoire verticale atteint une hauteur de MOC_{app} au-dessus du seuil, plus une distance longitudinale de 444 m (ATT). Elle s'étend jusqu'au FAP nominal + ATT, selon un angle défini ci-dessous.

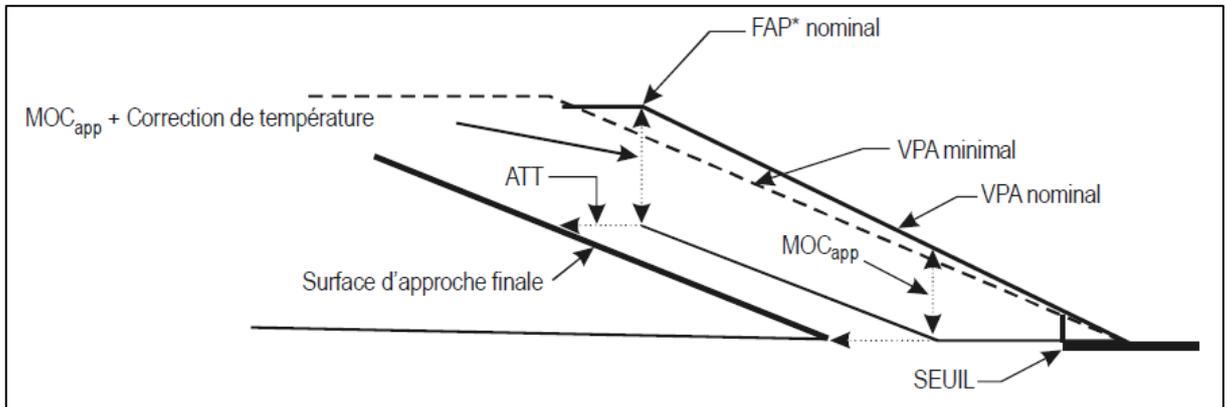


Figure V.7.3.1: Surface d'approche finale VNAV et VPA minimal, [3]

Les limites latérales de la surface d'approche finale correspondent aux bords de l'aire primaire LNAV. Les bords intérieurs des surfaces latérales associées sont définis par les bords de l'aire primaire LNAV à la hauteur de la FAS et par les bords extérieurs des aires secondaires LNAV à la valeur de MOC_{app} au-dessus de la hauteur de la FAS.

A. Détermination de la température minimale à promulguer

Déterminer la température minimale probable (la correction température est donnée dans l'annexe C) et arrondir au multiple de 5 °C immédiatement inférieur. Ensuite :

- calculer la FAS pour cette température et, si elle est inférieure à 2,5°, augmenter le VPA promulgué pour faire en sorte que la FAS à la température minimale soit égale ou supérieure à 2,5° ;
- vérifier la longueur du segment précédent pour s'assurer qu'elle répond aux conditions pertinentes relatives à la distance minimale avant l'interception de la trajectoire verticale.

- **Remarque :** Il n'y a pas de restrictions de température minimale applicables aux aéronefs dotés de systèmes de gestion de vol comportant une compensation approuvée de température en approche finale, à condition que la température minimale ne soit pas inférieure à celle pour laquelle l'équipement est certifié.

B. Calcul de l'angle et de l'origine de la surface d'approche finale

L'angle de la surface d'approche finale (FAS) peut se déterminer de la façon suivante:

$$\text{tg } \alpha_{\text{FAS}} = \frac{(\text{hauteur au FAP} - \text{correction température} - \text{MOCapp}) \times \text{tg VPA}}{(\text{hauteur au FAP} - \text{MOCapp})} \dots\dots\dots (10), [3]$$

→ L'origine de la surface d'approche finale au niveau du seuil peut se déterminer de la façon suivante :

$$X_{\text{FAS}} = \frac{\text{MOCapp} - \text{RDH}}{\text{tg VPA}} + \text{ATT} \dots\dots\dots (11), [3]$$

→ La hauteur de la surface d'approche finale (h_{FAS}) à une distance x par rapport au seuil peut se déterminer de la façon suivante :

$$h_{\text{FAS}} = (X - X_{\text{FAS}}) \times \text{tg } \alpha_{\text{FAS}} \dots\dots\dots (12), [3]$$

Afin de protéger les aéronefs utilisant une indication de pente de descente angulaire qui exécutent des opérations APV/Baro-VNAV, on procédera à une évaluation supplémentaire des obstacles dans les cas où la longueur du segment d'approche finale est supérieure à 9,26 km (5 NM).

C. Évaluation d'obstacles.

La surface d'évaluation supplémentaire est issue de l'application de la surface W. Lorsque la longueur du segment d'approche finale est supérieure à 9,26 km (5 NM), après le point où le plan W croise la surface d'approche finale, le plan W devient la surface d'évaluation d'obstacles dans l'aire primaire jusqu'au FAP. [2], [8]

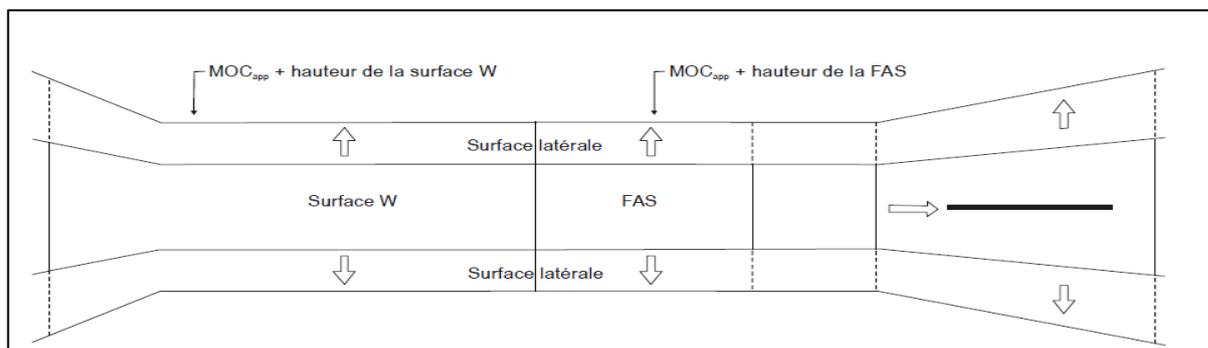


Figure V.7.3.C.1: Vue en plan de la surface d'évaluation d'obstacles destinée à protéger les aéronefs utilisant une indication de pente de descente angulaire, [2]

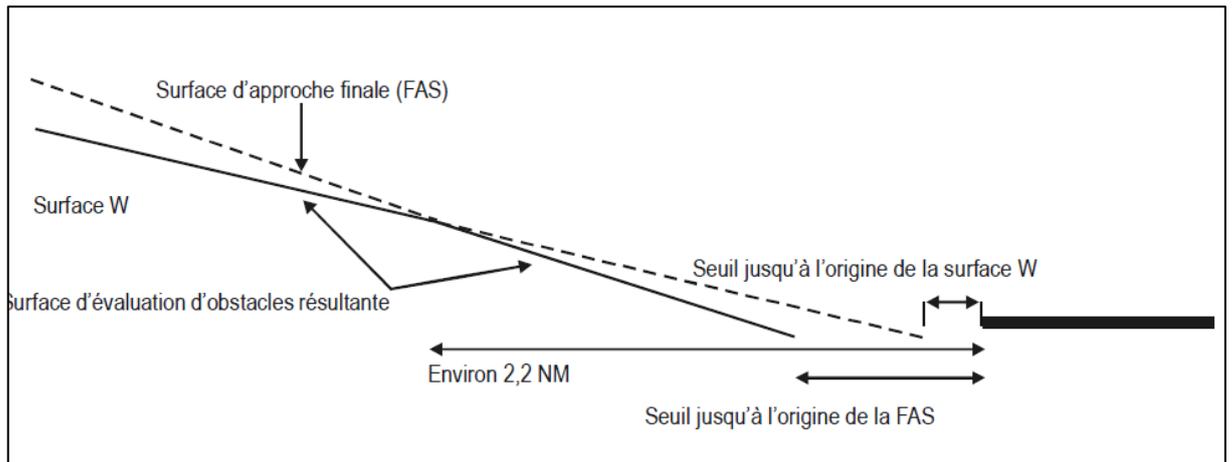


Figure V.7.3.C.2. Vue en profil de la surface d'évaluation d'obstacles destinée à protéger les aéronefs utilisant une indication de pente de descente angulaire, [2]

V.7.3.2 Plan horizontal.

Le plan horizontal est défini par une surface au niveau du seuil limitée par l'aire primaire LNAV entre l'origine de la FAS et l'origine de la surface d'approche interrompue. Les bords inférieurs/intérieurs des surfaces latérales sont définis par les bords de l'aire primaire LNAV au niveau du seuil. Les bords supérieurs/extérieurs des surfaces latérales associées sont définis par les bords extérieurs des aires secondaires LNAV à la valeur de MOC_{app} au-dessus du seuil à l'origine de la FAS, et par les bords extérieurs de l'aire LNAV à 30 m au-dessus du seuil à l'origine de la surface intermédiaire d'approche interrompue, à une distance Z_i par rapport au seuil (positive avant, négative après).

V.7.3.3 Surfaces d'approche interrompue (Z_i)

V.7.3.3.1 Surface d'approche interrompue intermédiaire

La surface d'approche interrompue intermédiaire (Z_i) a son origine au niveau du seuil à une distance X_{Z_i} par rapport au seuil. Elle prend fin au premier point où une MOC de 50 m est obtenue et maintenue. Elle a une pente nominale de 2,5 %. Latéralement, elle est limitée par l'aire primaire LNAV. [2], [5]

Les bords inférieurs/intérieurs des surfaces latérales associées sont définis par les bords de l'aire primaire d'approche interrompue LNAV au niveau du seuil et par les bords extérieurs des aires secondaires LNAV à 30 m au-dessus de la surface d'approche interrompue intermédiaire (Z_i).

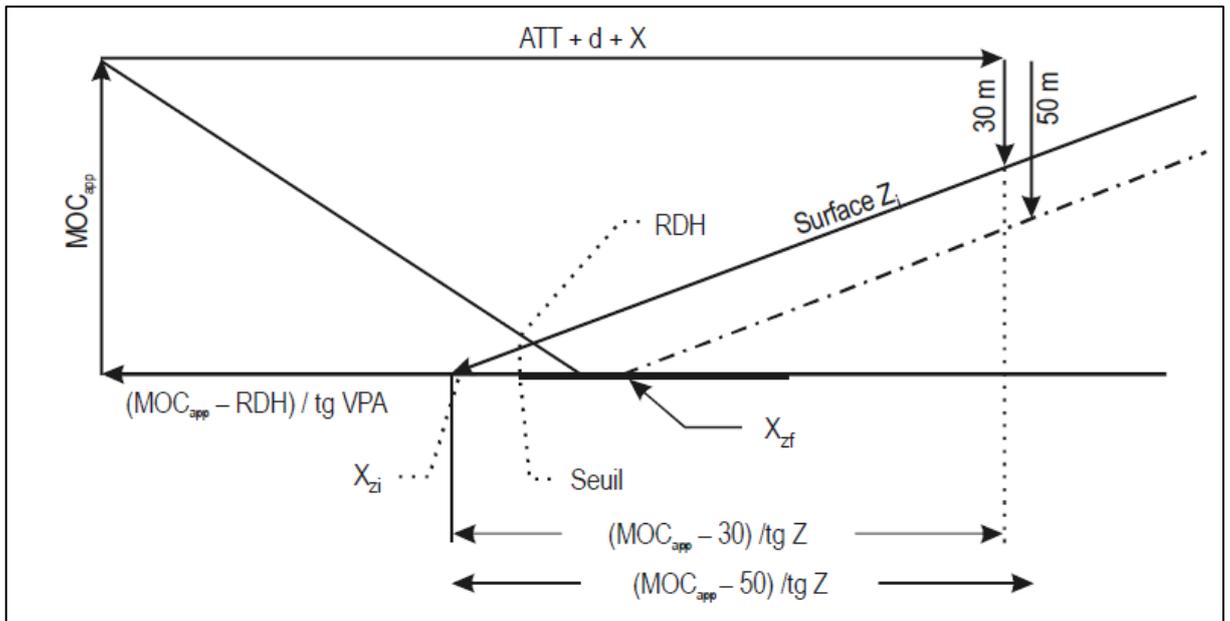


Figure V.7.3.3. Calcul de X_Z , [2]

- Calcul de la distance du début de la surface d'approche interrompue intermédiaire (X_{Zi}). [2]

$$X_{Zi} = (MOC_{app} - RDH) / \text{tg VPA} - \text{ATT} - d - X + (MOC_{app} - 30) / \text{tg Z} \dots (13), [3]$$

où : X_{Zi} = origine de la surface d'approche interrompue intermédiaire

MOC_{app} = MOC pour l'approche

RDH = hauteur du point de repère de la trajectoire verticale

ATT = tolérance d'écart longitudinal

tg Z = pente de la surface d'approche interrompue (2,5 % ; autres valeurs possibles : 3, 4 et 5 %).

V.7.3.3.2 Surface d'approche interrompue finale

La surface d'approche interrompue finale (Z_f) commence au premier point où une MOC de 50 m peut être obtenue et maintenue. À partir de ce point, elle est définie par une surface qui a son origine au niveau du seuil à une distance X_{Zf} par rapport au seuil. Elle se termine à la fin du segment APV, elle a une pente nominale de 2,5 %. S'il est démontré que l'aéronef peut monter selon une pente d'approche interrompue supérieure à la pente nominale de 2,5 %, la surface Z et les surfaces latérales correspondantes ainsi que la surface d'approche interrompue intermédiaire peuvent être ajustées pour des pentes de 3, 4 et 5 %.

Latéralement, la surface d'approche interrompue finale est limitée par l'aire primaire LNAV. Les bords inférieurs/intérieurs des surfaces latérales associées sont définis par les

bords de l'aire primaire d'approche interrompue LNAV et par les bords extérieurs des aires secondaires LNAV à 50 m au-dessus de la surface d'approche interrompue finale (Z_f).

- Calcul du début de la surface d'approche interrompue finale (X_{Zf}).

$$X_{Zf} = (\text{MOC}_{\text{app}} - \text{RDH}) / \text{tg VPA} - \text{ATT} - d - X + (\text{MOC}_{\text{app}} - 50) / \text{tg Z} \dots (14), [3]$$

Fin du segment APV prend fin au MAPt si un virage est spécifié au MAPt, au MATF ou au MAHF, selon ce qui se présente en premier lieu. [2], [4], [6]

V.7.4 Détermination de l'OCH pour les obstacles à l'approche et à l'approche interrompue

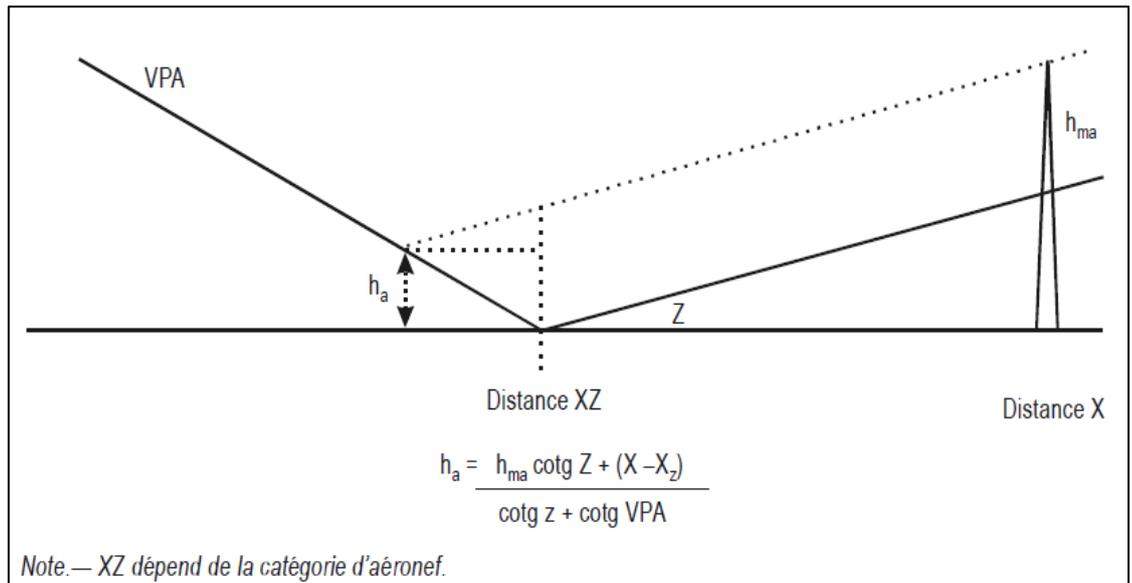
V.7.4.1 Marge minimale de franchissement d'obstacles (MOC)

- a) Dans l'aire d'approche finale, la MOC (MOC_{app}) est de 75 m.
- b) Dans l'aire d'approche interrompue, la MOC (MOC_{ma}) est de 30 m pour l'approche interrompue intermédiaire et de 50 m pour l'approche interrompue finale. Cette marge est prise en compte dans la construction des surfaces Z_i et Z_f , qui commencent à X_{Z_i} et X_{Z_f} .

V.7.5 Obstacles à l'approche et à l'approche interrompue.

Les obstacles à prendre en compte sont ceux qui traversent les OAS APV. Ils se divisent en obstacles à l'approche (APP) et à l'approche interrompue (API) sont indiqués comme suit:

- La méthode la plus simple est selon la distance : les obstacles à l'approche sont situés entre le FAP et X_{Z_i} , et les obstacles à l'approche interrompue sont situés après X_{Z_i} . Toutefois, dans certains cas il peut en résulter une pénalisation excessive dans le cas de certains obstacles à l'approche interrompue.
- Si l'autorité compétente le souhaite, les obstacles à l'approche interrompue peuvent être définis comme étant ceux qui dépassent un plan parallèle au plan de la trajectoire verticale et ayant son origine en X_{Z_i} , c'est-à-dire les obstacles d'une hauteur supérieure à $[(X_{Z_i} + x) \text{tg VPA}]$.



FigureV.7.5: Calcul de h_a à partir de h_{ma} , [2]

V.7.6 Calcul de l'OCA/H dans le segment APV

Le calcul de l'OCA/H fait intervenir un ensemble de surfaces d'évaluation d'obstacles (OAS APV). S'il n'y a pas d'obstacle traversant les OAS APV, l'OCA/H est définie par la limite inférieure de 75 m ou de 90 m. Dans le cas contraire, la MOC app (ajustée pour tenir compte des pénétrations dans les surfaces latérales, le cas échéant) est ajoutée à la hauteur de l'obstacle à l'approche le plus élevé, ou à la hauteur ajustée de l'obstacle à l'approche interrompue qui pénètre le plus si cette dernière hauteur est supérieure. La valeur ainsi obtenue devient l'OCA/H.

- Déterminer d'abord la hauteur de l'obstacle à l'approche le plus élevé qui traverse la FAS ou le plan horizontal. Ensuite, ramener les hauteurs de tous les obstacles en approche interrompue aux hauteurs d'obstacles en approche équivalents, au moyen de la formule suivante :

$$h_a = \frac{h_{ma} \cotg Z + (X - X_z)}{\cotg Z + \cotg VPA} \dots\dots (15), [3]$$

où :

h_a = hauteur de l'obstacle en approche équivalent

h_{ma} = hauteur de l'obstacle en approche interrompue

$\cotg Z$ = cotangente de l'angle de la surface Z

$\cotg VPA$ = cotangente du VPA

Chapitre V

XZ = origine de la surface d'approche interrompue intermédiaire (Z_i) ou de la surface d'approche interrompue finale (Z_f), selon ce qui convient, par rapport au seuil (positive avant, négative après)

X = distance entre l'obstacle et le seuil (positive avant, négative après).

- Déterminer l'**OCH** pour le segment d'approche finale et les segments initial et intermédiaire d'approche interrompue en ajoutant la MOC app à la hauteur de l'obstacle le plus élevé en approche (réel ou équivalent).

$$\text{OCH} = h_a + \text{MOC app} \dots (16), [3]$$

- Approche interrompue finale : Recalculer h_a pour les obstacles traversant la surface d'approche interrompue finale (Z_f) et déterminer l'OCH pour ces obstacles. Si l'OCH est supérieure à la valeur déjà calculée, ajuster l'emplacement du repère de virage ou d'attente, ou porter l'OCH à la nouvelle valeur. [2], [3]

Chapitre VI

Étude d'une procédure d'approche
aux instruments APV/navigation
verticale barométrique

(BARO-VNAV) pour le QFU 23 de la
piste de l'aéroport d'Alger/Houari
Boumediene

Chapitre VI. Étude d'une procédure d'approche aux instruments APV/navigation verticale barométrique (BARO-VNAV) pour le QFU 23 de la piste de l'aéroport d'Alger/HOUARI Boumediene

VI.1. Généralité sur l'aéroport d'Alger HOUARI Boumediene

L'aérodrome international d'Alger HOUARI Boumediene de classe A est situé dans la plaine côtière de la baie d'Alger bordée au Sud par le massif montagneux du Tell.

La côte méditerranéenne est à 5 Km au Nord du terrain et les premiers contreforts montagneux à 8 Km au Sud (Meftah).

Il s'agit du plus important de tous les aéroports algériens. Sa capacité actuelle est d'environ 12 millions de passagers par an pour un flux réel de plus ou moins 4 millions.

→ Présentation de l'aérodrome d'Alger HOUARI Boumediene

L'aérodrome d'Alger est composé comme tous les autres aérodromes de :

- ❖ L'aire de manœuvre qui comprend :
 - La ou les pistes
 - Les voies de relation
- ❖ L'aire de trafic destinée à recevoir les aéronefs pendant les opérations d'escales et qui comprend :
 - Les voies de desserte
 - Les aires de stationnements
- ❖ Les installations d'aides à la navigation qui comprend :
 - Le balisage
 - Les instruments de radionavigation

→ Généralité sur les pistes d'Alger HOUARI Boumediene:

L'aérodrome d'Alger HOUARI Boumediene est constitué de deux pistes convergentes de même longueur et d'une largeur déférente, en générale une est principale(QFU23) et l'autre secondaire(QFU27).

Les caractéristiques physiques de deux pistes sont représentés dans le tableau suivant :

Chapitre VI

**Tableau VI.1.a : Les caractéristiques physiques de deux pistes d'Alger HOUARI
Boumediene**

Numéro de Piste	Les relèvements		Dimension des RWY(m)	Résistance PCN et revêtement des RWY et SWY	Coordonnées du seuil	Altitude du seuil et altitude de point le plus élevé de la TDZ de la piste de précision	
	VRAI	MAG				THR(m)	TDZ(m)
1	2		3	4	5	6	
05	053°	053°	3500x60	75 F/D/W/T Béton bitumineux	364136.43N 0031310.22 ^E	22	
23	233°	233°			364247.75N 0031507.09E	25	
09	092°	092°	3500x45	78 F/D/W/T Asphalte	364131.42N 0031014.88E	17	
27	272°	272°			364127.99N 0031239.02E	20	

→ **Type des pistes** : ce sont des pistes aux instruments :

Une piste avec approche de précision (piste 09), catégorie II: c'est une piste desservie par un ILS et destinée à l'approche avec une hauteur de décision inférieure à 60m(200ft) mais aussi au moins égale à 30m(100ft), et une portée visuelle de piste au moins égale à 350m.

Une piste d'approche de précision (piste 23), catégorie III :

C'est une piste aux instruments desservie par un ILS jusqu' à la surface de la piste et le long de cette surface, est destinée à être utilisée sans hauteur de décision ni limites de portée visuelle de piste mais elle n'est jamais utilisée par mesure de sécurité le pilote doit toujours terminer la procédure visuellement (en courte finale). En générale c'est la piste principale la plus fréquente.

→ Présentation de la piste :

Enplacement de seuil :

Le seuil est défini comme étant le début de la partie de la piste utilisable pour l'atterrissage, sur l'aéroport d'Alger les seuils des pistes sont définis juste au début de la piste utilisable à l'atterrissage. Il convient de prévoir une distance supplémentaire correspondante à l'aire de sécurité d'extrémité de piste selon les besoins, qui sont :

- **Prolongement d'arrêt(SWY):** c'est une partie de terrain coaxial à la piste, adjacente à l'une de ses extrémité, de meme largeur que cele-ci, pour l'aéroport d'Alger les distances d'accélérations ; arret sont tous nul sauf celle de la piste numéro 27 est déclarée de 310m.
- **Prolongement dégagé(CWY):** c'est une partie de terrain, éventuellement de plan d'eau, coaxial à la piste, adjacente à l'une de ses extrémité, et dans le cas de l'aérodrome d'Alger les prolongement dégagés sont tous nul.

Tableau VI.1.b : Les distances declarées pour les pistes d'Alger HOUARI Boumediene

Désination de la piste	TORA(m)	TODA(m)	ASDA(m)	LDA(m)	observation
1	2	3	4	5	6
05	3500	3500	3500	3500	
23	3500	3500	3500	3500	
09	3500	3500	3500	3500	
27	3500	3500	3810	3500	

Chaque piste peut être utilisée pour un décollage ou un atterrissage comme à l'aéroport d'Alger HOUARI Boumediene il y a deux pistes ,on combine entre les deux , c'est-à-dire la principale est utilisée pour les décollages alors que la secondaire est utilisée pour les atterrissages.

Exemple : lorsque le QFU 23 est utilisé pour les atterrissages ,le QFU 27 est utilisé pour les décollages.

Chapitre VI

Tableau VI.1.c : : les deux scénario de pistes d'Alger HOUARI Boumediene

piste	décollage	atterrissage	
09/27		09	Scénario 1
05/23	05		
09/27	27		Scénario 2
05/23		23	

Remarque : on ne peut jamais cominer entre deux atterrissages pour les QFU 23 et 27 à la fois, car les procédures d'approche ne le permettent pas dans le cas d'une remise des gaz à l'extrémité de la piste 23.

▪ **les instruments de radionavigation :**

Les aides de radionavigation qui sont sur l'aérodrome et au voisinage de l'aérodrome d'Alger HOUARI Boumediene et qui servent pour le guidage des avions au décollage et lors de l'atterrissage sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

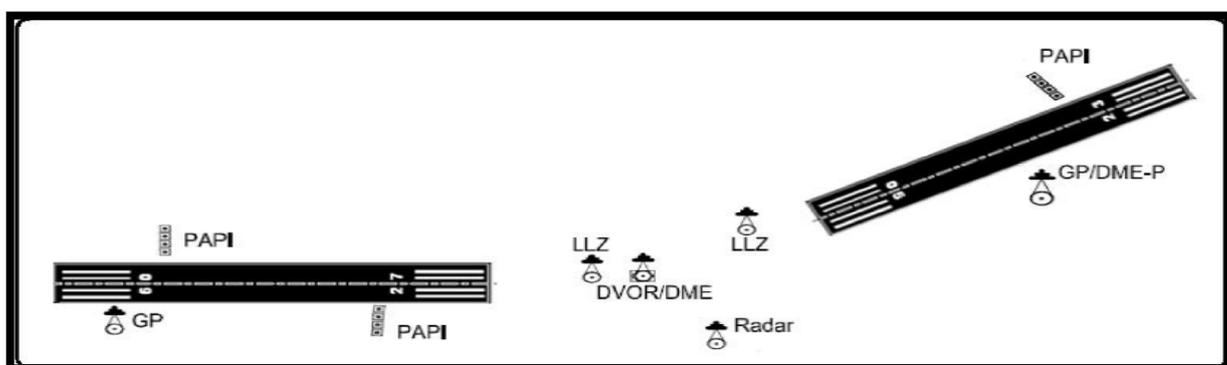


Figure VI.1 : Les moyens d'aide à la navigation et à l'atterrissage qui sont sur l'A/D d'Alger HOUARI Boumediene

Chapitre VI

Tableau VI.1.d :Les aides de radionavigation et d'atterrissage qui sont sur l'aérodrome
d'Alger HOUARI Boumediene

Type d'aide CAT d'ILS/MLS pour VOR/ILS/MLS	identification	fréquences	Heures de fonctionnement	Coordonnées de l'emplacement de l'antenne d'émission
1	2	3	4	5
DVOR/DME (0w 2005)	ALR	112.5MHZ (CH 72X)	H 24	364127.59N 0031255.73 ^E
DVOR/DME (0w 2005)	ZEM	116.6MHZ (CH 113X)	H 24	364742N 0033415 ^E
DVOR (0w 2005)	SDM	113.9MHZ	H 24	363750N 0025827 ^E
NDB	SMR	370KHZ	H 24	364134.39N 0030523.54 ^E
NDB	MAR	416KHZ	H 24	364105.15N 0024655.78 ^E
NDB	ZEM	359KHZ	H 24	364746.22N 0033418.46 ^E
LL723/ILSCA TID	AG	110.3MHZ	H 24	364131.96N 0031303.06 ^E
GP 23		335MHZ	H 24	364236.54N 0031457.00 ^E
DME-P	AG	CH 40X	H 24	364236.5N 0031457.00 ^E
L1209/ILS CAT II	HB	108.5MHZ	H 24	364127.78N 0031247.89 ^E
GP 09		329.9MHZ	H 24	364127.40N 0031027.40 ^E
OM 23	2traits/sec	75MHZ	H 24	364505.98N 0031851.56 ^E
OM 09	2traits/sec	75MHZ	H 24	364138N 0030524 ^E
MM 23	1point/trait	75MHZ	H 24	364309N 0031541 ^E
L	OA	342KHZ	H 24	364651N 0032144 ^E

VI.2. Étude du Segment APV Baro-VNAV

Début : **FAP** (intersection altitude intermédiaire et VPA)

Fin : **TP** ou **MAHF**

Longueur max : FAP à moins de 10 NM du seuil de piste

VPA compris entre 3° et 3,5°

Alignement avec l'axe de piste

Compose de 3 surfaces :

- Surface d'approche finale (**FAS**) + surfaces latérales
- Surface d'un **plan horizontal** + surfaces latérales
- Surface d'approche interrompue (**Z**) + surfaces latérales

→ **Les données :**

La piste 05 23

Longueur= 3500 m

Coordonnées du seuil (364247.75N 0031507.09E)

Attitude du seuil QFU 23= 25m

Attitude d'aérodrome=25m

Orientation de piste= MAG 233° (VRAI 233°)

Les catégories aéronefs : Cat D

RDH= 15 m (50ft)

VPA =3°

Moyen radionavigation

DVOR/DME identification ALR, fréquence 112.5 MHZ (CH 72 X),
coordonnées (364127.59N 0031255.73E)

VI.2.1. Approche interrompue

Le point d'approche interrompue MAPT sera situé au seuil de piste.

❖ Phase intermédiaire de l'API

- Détermination de la surface d'approche interrompue intermédiaire Zi

L'équation de la surface Zi sera :

$$Z = - (X - X_{zi}) \cdot \text{tg} (Z) \dots \dots (14), [3]$$

X_{zi} : origine de la surface Zi

tg(Z) : pente de la surface de la surface d'approche interrompue (2.5% avec max 5%)

$$X_{Zi} = [(MFO_{app} - RDH)/tg VPA] - ATT - d - X + [(MFO_{app} - 30)/tg Z] \dots (10), [3]$$

d : délai de réaction du pilote : 3s à TAS + 10 Kt à l'altitude de l'aérodrome

X : tolérance de transition : 15s à TAS + 10 Kt à l'altitude de l'aérodrome

d : 3s à TAS + 10 Kt

$$d = T * V \dots (15), [3]$$

Dans notre cas on utilise la catégorie d'aéronef **D**:

Vitesse : 345 KM/H (185 Kt Voir l'annexe tableau des vitesses)

Donc : $V = 185 + 10 = 195$ Kt

$$V = (195 * 1852)/3600 \implies V = 100,316 \text{ m/s}$$

$$d = 100,316 * 3 \implies d = 300,950 \text{ m}$$

X : 15 s à TAS + 10 Kt

$$X = 100,316 * 15 \implies X = 1504,75 \text{ m}$$

$$X_{Zi} = [(50 - 15)/\tan 3^\circ] - 444 - 300,950 - 1504,75 + [(50 - 30)/0,025] \dots (10), [3]$$

$$X_{Zi} = -781,761 \text{ m} = -781,761/25000 = -0,0312 * 100 \text{ m}$$

$$X_{Zi} = -3,127 \text{ cm}$$

❖ Phase finale de l'API

Origine de la surface **Zf**: X_{Zf}

$$X_{Zf} = [(MOC_{app} - RDH)/tg VPA] - ATT - d - X + [(MOC_{app} - 50) / tg Z] \dots (11), [3]$$

$$X_{Zf} = [(50 - 15) / \tan 3^\circ] - 444 - 300,950 - 1504,75 + [(50 - 50) / 0,025]$$

$$X_{Zf} = -1581,860 \text{ m} = -1581,860/25000$$

$$X_{Zf} = -0,063 \text{ m} = -0,063 * 100$$

$$X_{Zf} = -6,3 \text{ cm}$$

La distance entre MAPT et MATF = 14.7NM = 27224,4 m = 108,9 cm (à V= 265 Kt, cap= 112°)

Où : MATF repère du virage en approche interrompue

VI.2.2. Approche finale

➤ **Paramètres nécessaires pour définir la FAS**

La FAS dépend de :

- a. VPA
- b. Correction de température
- c. MFO
- d. ATT : 0.24 NM = 444 m

Equation de la FAS :

$$Z = (X - X_{FAS}) \cdot \text{tg}(\alpha_{FAS}) \dots \dots (16), [3]$$

Ou :

X_{FAS} : origine de la surface

α_{FAS} : angle de la FAS

X_{FAS} = distance correspondante au point où la trajectoire atteint la MFO d'approche + ATT

L'origine de la surface d'approche finale au niveau du seuil peut se déterminer de la façon suivante :

$$X_{FAS} = [(MFO_{APP} - RDH) / \text{tg VPA}] + ATT \dots \dots (8), [3]$$

$$X_{FAS} = [(50 - 15) / \text{tg } 3^\circ] + 444$$

$$X_{FAS} = 1111,839 \text{ m}$$

$$X_{FAS} = 1111,839 / 25000$$

$$X_{FAS} = 0,044 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad X_{FAS} = 0,044 * 100 = 4,4 \text{ cm}$$

Demi largeur MAPT (1/2W) = 0,95 NM

$$= 0,95 * 1852 = 1759,4 \text{ m} = 1759,4 / 25000 = 0,070 * 100$$

$$\Rightarrow 1/2W_{MAPT} = 7 \text{ cm}$$

$$\text{tg}(\alpha_{FAS}) = [(HFAP - MFO_{app} - T_{corr}) \cdot \text{tg VPA}] / (HFAP - MFO_{app}) \dots \dots (7), [3]$$

On suppose qu'on est dans les bonnes conditions météorologique alors $T_{corr} = 0^\circ \text{c}$

Donc : $\text{tg}(\alpha_{FAS}) = \text{tg VPA}$

$$\Rightarrow \alpha_{FAS} = VPA \quad \text{alors ; } \alpha_{FAS} = 3^\circ$$

On suppose que la distance entre le FAP et le seuil du piste est de $10NM = 18520m$

$$\Rightarrow 18520/25000 = 0,740 * 100$$

$$\Rightarrow 74 \text{ cm}$$

Demi largeur de **FAP** = $1,45NM = 1,45 * 1852$

$$= 2685,4 \text{ m} = 10,74 \text{ cm}$$

VI.2.3. Détermination du plan horizontal

Le plan horizontal **H** est compris entre X_{FAS} et X_{zi}

➤ Après la détermination de ces surfaces d'évaluation d'obstacles on passe à la deuxième étape qui est :

1. Positionner tous les obstacles situés dans les surfaces OAS (**FAS**, plan horizontal **H** et plan **Z**).
2. Déterminer leurs coordonnées géographiques sur les cartes topographiques
3. Voir tous les obstacles qui percent les plans (**FAS**, plan horizontal **H** et plan **Z**)
4. Déterminer les obstacles qui font partir de l'approche finale et puis ceux qui font partir de l'**API**.
5. Calculer **OCH** des obstacles qui percent dans l'approche finale et ceux de l'**API** il faut premièrement calculer la hauteur équivalente des obstacles qui percent dans l'**API**.

- Selon notre carte topographique on détermine l'échelle suivante ;

$$5' \text{ } 37\text{cm} \iff (\text{latitude}) \text{ et } 5' \iff 29.5\text{cm} (\text{longitude})$$

Alors on utilise le tableau suivant pour représenter les obstacles qui sont illustrés dans l'AIP comme suit:

VI.3. Obstacles d'aérodrome illustrés dans l'AIP pour l'aéroport HOUARI Boumediene

On représente les obstacles ci-dessous sur notre planche selon leurs coordonnées géographiques.

Chapitre VI

Tableau VI.3.a. Obstacles d'aérodrome illustrés dans l'AIP pour l'aéroport
d'Alger Houari Boumediene

Aires d'approche et de décollage				
PISTE ou Aire concernée	Type d'obstacles			Coordonnées
	Hauteur Marquage et balisage lumineux			
	Type d'obstacle	Hauteur	Marquage et balisage lumineux	
a	b			c
RWY 09	Château d'eau	31.84 M ALT:60.64 M	Balisé jour et nuit	QDR 87.15° et à 2746M du THR 27
RWY 09	Bâtiment	18 M ALT: 28 M	Non balisé	364135.8N 0030932.5E
RWY 23	Antenne LLZ	1.10 M ALT: 26.10 M	Balisé jour et nuit	364131.96N 0031303.06E

Chapitre VI

Tableau VI.3.b. Obstacles d'aérodrome illustrés dans l'AIP pour l'aéroport d'Alger Houari Boumediene

Aires de manœuvres à vue et aérodrome				Observations
2				3
Type d'obstacles Hauteur Marquage et balisage lumineux			Coordonnées	
Type d'obstacle	Hauteur	Marque et balisage lumineux		
A			b	
TWR	45 M	Balisée jour et nuit	364200N 0031255E	
Antenne GP	13.65 M ALT : 38.65 M	Balisé jour et nuit	364127.4N 0031027.4E	
Antenne radar SMR	25 M ALT : 52 M	Balisé jour et nuit	364037N 0031050E	
Antenne radar PSR/SSR	ALT : 49 M	Balisé jour et nuit	364037N 0031050E	

- **Pour le château d'eau**

QDR = 87.15° et à 2746 m du THR27

- **Pour le bâtiment**

5' \Rightarrow 37cm (latitude)

36°41'35.8"

01'35.8"

01.6'

5' \Rightarrow 37cm

01.6' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 11.8 cm**

5' \Rightarrow 29.5cm (longitude)

003°09'32.5"

04'32.5"

04'.54

5' \Rightarrow 29.5cm

04'.54 \Rightarrow ?(x)

\Rightarrow **X = 26.8 cm**

- **Pour l'antenne LLZ**

05' \Rightarrow 37cm (latitude)

36°41'31.96"

00°01'31.96"

01.53'

05' \Rightarrow 37cm

01.53' \Rightarrow ?(x)

\Rightarrow **X = 11.30 cm**

5' \Rightarrow 29.5cm (longitude)

003°13'03.06"

13.051'

5' \Rightarrow 29.5cm

03.051' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 18 cm**

- **Pour le TWR**

05' \Rightarrow 37cm (latitude)

36°42'00"

05' \Rightarrow 37cm

02' \Rightarrow ?(x)

\Rightarrow **X = 14.8 cm**

05' \Rightarrow 29.5cm (longitude)

003°12'55"

02.9'

0 5' \Rightarrow 29.5cm

02.9' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 17.11 cm**

- **Pour l'antenne GP**

05' \Rightarrow 37cm (latitude)

36°41'27.4"

01'27.4"

1.45'

05' \Rightarrow 37cm

1.45' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 10.7 cm**

05' \Rightarrow 29.5cm (longitude)

003°10'27.4"

00'27.4"/60

00.45'

05' \Rightarrow 29.5cm

00.45' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 2.65 cm**

• **Pour l'antenne radar SMR**

5' \Rightarrow 37cm (latitude)

36°41'19.1"

00°01'19.1" \Rightarrow 1.31'

5' \Rightarrow 37cm

1.31' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 9.7 cm**

5' \Rightarrow 29.5cm (longitude)

003°13'04"

00°03'04" \Rightarrow 3.06'

5' \Rightarrow 29.5cm

3.06' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 18.1 cm**

• **Pour l'antenne radar PSR/SSR**

5' \Rightarrow 37cm (latitude)

36°40'37"

0.61'

5' \Rightarrow 37cm

0.61' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 4.5 cm**

5' \Rightarrow 29.5cm (longitude)

003°10'50"

0.83'

5' \Rightarrow 29.5cm

0.83' \Rightarrow ? (x)

\Rightarrow **X = 4.8 cm**

A partir des obstacles qu'on a identifiés sous les surfaces OAS on cherche les obstacles qui percent les surfaces OAS :

VI.4. Quelques obstacles situés sur la carte topographique de l'aéroport d'Alger

Houari Boumediene

Tableau.VI.4. Quelques obstacles situés sur la carte topographique de l'aéroport d'Alger

Houari Boumediene

	Numéro d'obstacle	x (cm)	H _{ob} (m)	Hauteur du Plan (m)	pénètre
FAS	O ₁	2.8	29	51.63	
	O ₂	1	19	28	
	O ₃	27.3	63	372.68	
Plan horizontal	O ₄	-6	34	15	\
	O ₅	-5	34	15	\
	O ₆	-1.8	23	15	\
	O ₇	-0.5	28	15	\
API	O ₈	-1.7	24	25.6	
	O ₉	-18.6	42	131.25	
	O ₁₀	-29.9	28	201.8	
	O ₁₁	-23.9	45	164.37	

- Selon les résultats qu'on a obtenu ci-dessus on distingue que les obstacles situés dans la **FAS** ne percent pas le plan et de même pour ceux qui sont situés dans l'**API** par contre les obstacles qui se trouvent dans le plan horizontal percent ce plan horizontal

- Calculer l'**OCH** de l'obstacle le plus pénalisant dans le plan horizontal (**O₇**) qui fait partir de l'approche interrompue comme suit :

- **Obstacle 4 (O₄)**, fait partir de l'approche finale

$$OCH_{O4} = H_{O4} + MFO_{app}$$

$$\Rightarrow OCH_{O4} = 34 + 75 = 109 \text{ m}$$

$$\Rightarrow OCH_{O4} = 109 \text{ m}$$

- **Obstacle 6 (O₆)**, fait partir de l'approche finale

$$OCH_{O6} = H_{O6} + MFO_{app}$$

$$\Rightarrow OCH_{O6} = 23 + 75 = 98 \text{ m}$$

$$\Rightarrow OCH_{O6} = 98 \text{ m}$$

- **Obstacle 7 (O₇)**, fait partir de l'approche interrompue **API** on doit déterminer son hauteur équivalente (ha) selon la formule suivante :

$$ha = \frac{hma \cotgZ + (x - Xzi)}{\cotgZ + \cotgVPA} \dots\dots\dots(17), [3]$$

$$\Rightarrow ha = \frac{28 \cdot 40 + (-0.5 \cdot 250 + 0.031)}{40 + 19.08}$$

$$\Rightarrow ha = 16.84$$

$$OCH_{O7} = ha + MFO_{app} \dots\dots(18), [3]$$

$$\Rightarrow OCH_{O7} = 16.84 + 30 = 46.84 \text{ m}$$

$$\Rightarrow OCH_{O7} = 46.84 \text{ m}$$

- **Obstacle 8 (O₈)**, fait partir de l'approche finale

$$OCH_{O8} = H_{O8} + MFO_{app}$$

$$\Rightarrow OCH_{O8} = 24 + 75 = 99 \text{ m}$$

$$\Rightarrow OCH_{O8} = 99 \text{ m}$$

Alors à partir de résultats qu'on a obtenus ci-dessus on choisit l'OCH le plus élevé

$$\Rightarrow OCH = 109 \text{ m}$$

➔ Alors on choisit l'OCH le plus élevé : **OCH = 109 m**

❖ **La comparaison des résultats**

La comparaison de l'OCH qu'on a trouvé selon les résultats précédents avec celui publié dans la carte de procédures de précision DVOR/DME/ILS pour le QFU 23 Alger (voir annexe D, figure 1);

→ l'OCH = 109 m

→ L'OCH = 60 m

Alors on distingue que l'OCH publiée dans la carte de procédures de précision DVOR/DME/ILS est plus précis qui est de 60 m.

La comparaison de l'OCH qu'on a trouvé selon les résultats précédents avec celui publié dans la carte de procédures DVOR/DME pour le QFU 23 Alger (voir annexe D, figure 2);

→ l'OCH = 109 m

→ L'OCH = 120 m

Alors on distingue que l'OCH qu'on a trouvé dans les calculs précédents est plus précis qui est de 109 m.

- ❖ Après toute cette étude de la procédure APV BARO-VNAV, pour le QFU 23 de l'aérodrome d'Alger HOUARI Boumediene on a trouvé l'OCH = 109 m, Selon tous les calculs qu'on a fait pour avoir les surfaces d'OAS et obtenir le segment APV, on a pu de tracer ces surfaces manuel pour déterminer à la fin la valeur de l'OCH indiquée ci-dessus, aussi on les a tracé par un logiciel AutoCAD (voir les deux résultats sur les planches illustré après les annexes.)

Conclusion générale

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans le but de valoriser l'importance de la mise en œuvre de la navigation basée sur les performances pour l'aéroport d'Alger Houari Boumediene, on s'est basé sur les deux axes principaux;

Etudier d'abord en détail le concept de navigation fondée sur la performance qui spécifie les exigences en matière de performance du système RNAV de bord qui sont définies sous forme de conditions de précision, d'intégrité, de disponibilité, de continuité et de fonctionnalité nécessaire pour les vols envisagés dans le contexte d'un espace aérien particulier, elle assurera aux équipages de conduite une grande souplesse tout en augmentant la sécurité et l'efficacité.

Le deuxième c'est la réalisation d'une procédure d'approche aux instruments ce qu'on appelle une approche verticale APV/navigation verticale barométrique (BARO-VNAV) pour le QFU 23 de la piste de l'aéroport d'Alger/Houari Boumediene, pour laquelle on a tracé les surfaces de protection PBN avec une température moyenne ISA = 15°C, et on a montré dans quelle mesure une procédure basée PBN est plus intéressante par rapport à une procédure classique. Mais malgré l'absence d'outil informatique, cette étude reste réaliste selon les résultats obtenus.

La présentation de nos résultats obtenus déjà manuel sous forme numériques est logique, mais reste le problème de disponibilité de cet outil informatique, ainsi que le manque de précision liée à la carte topographique qui constitue la base de tous les calculs menés. Le temps considérable que demande l'évaluation d'obstacles pour concevoir les surfaces est faramineux.

Finalement, ce type de procédure d'approche APV qu'on a réalisé pour le QFU 23 de la piste de l'aéroport d'Alger/Houari Boumediene permettra ;

- De réduire la congestion à l'aéroport et dans l'espace aérien.
- À économiser le carburant.
- Atténuation de bruit des aéronefs aux alentours de l'aéroport Houari Boumediene.

Annexes

ANNEXE A

Définitions

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.

Altitude/hauteur de franchissement d'obstacles (OCA/H) : Altitude (OCA) ou hauteur (OCH) la plus basse au-dessus 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.

- **Note :** L'application de navigation est l'un des éléments, à côté des procédures de communication, de surveillance et d'ATM, qui répondent aux objectifs stratégiques dans un concept d'espace aérien défini.

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.

Bloc de données de segment d'approche finale (FAS) : L'ensemble de paramètres servant à identifier une seule approche de précision ou APV et à définir la trajectoire d'approche correspondante.

Concept d'espace aérien : Un concept d'espace aérien donne le schéma et le cadre envisagé des opérations à l'intérieur d'un espace aérien. Des concepts d'espace aérien sont mis au point pour satisfaire des objectifs stratégiques explicites tels que l'amélioration de la sécurité, l'accroissement de la capacité de trafic aérien, l'atténuation d'impacts environnementaux, etc. Les concepts d'espace aérien peuvent inclure des détails concernant l'organisation pratique de l'espace aérien et ses usagers, sur la base d'hypothèses CNS/ATM particulières, p. ex. structure des routes ATS, minimums de séparation, espacement des routes et marges de franchissement d'obstacles.

Contrôle autonome de l'intégrité par le récepteur (RAIM). Forme d'ABAS dans laquelle le processeur d'un récepteur GNSS détermine l'intégrité des signaux de navigation du GNSS en utilisant seulement les signaux du GPS ou les signaux du GPS renforcés avec l'altitude (baro-aiding). Cette détermination est réalisée en vérifiant la concordance entre des mesures redondantes de pseudo-distance. Pour que le récepteur accomplisse la fonction RAIM, il est nécessaire qu'au moins un satellite supplémentaire soit disponible, avec la géométrie correcte, en plus de ce qu'exige l'estimation de position.

Départ normalisé aux instruments (SID). Route désignée de départ, suivie conformément aux règles de vol aux instruments (IFR), reliant l'aérodrome ou une piste

Annexe A

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.

Hauteur du point de repère (RDH) : Hauteur de l'alignement de descente prolongé ou d'une trajectoire verticale nominale au seuil de la piste.

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 de la spécification de navigation.

Navigation de surface (RNAV) : Méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue dans les limites de la couverture d'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.

- **Note :** La navigation de surface englobe la navigation fondée sur les performances ainsi que d'autres opérations RNAV qui ne répond pas à la définition de la navigation fondée sur les performances.

Navigation fondée sur les performances (PBN) : Navigation de surface fondée sur des exigences en matière de performances que doivent respecter des aéronefs volant sur une route ATS, selon une procédure d'approche aux instruments ou dans un espace aérien désigné.

Opérations RNAV : Opérations aériennes utilisant la 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 ce manuel.

Opérations RNP : Opérations aériennes utilisant un système fondé sur la RNP (qualité de navigation requise) pour des applications de navigation RNP.

Performance d'alignement de piste avec guidage vertical (LPV) : Étiquette désignant des lignes de minimums correspondant à des performances APV-I ou APV-II sur les cartes d'approche.

Point d'alignement de trajectoire de vol (FPAP) : Point situé dans le même plan latéral que le LTP ou le FTP et utilisé pour définir l'alignement du segment d'approche finale. Dans le cas des approches alignées sur l'axe de la piste, le FPAP est situé à l'extrémité d'arrêt de la piste ou au-delà. L'emplacement de ce point est défini par l'écart longitudinal delta par rapport au seuil opposé de la piste.

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.

Annexe A

Point de cheminement : Emplacement géographique spécifié utilisé pour définir une route à navigation de surface ou la trajectoire d'un aéronef utilisant la navigation de surface. Les points de cheminement sont désignés comme suit :

- ✓ **Point de cheminement par le travers** : Point de cheminement qui nécessite une anticipation du virage de manière à intercepter le segment suivant d'une route ou d'une procédure ; ou
- ✓ **Point de cheminement à survoler** : Point de cheminement auquel on amorce un virage pour rejoindre le segment suivant d'une route ou d'une procédure.

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 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. Les procédures d'approche aux instruments sont classées comme suit :

- ✓ **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.

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

Repère d'attente en approche interrompue (MAHF) : Repère utilisé en applications RNAV pour marquer la fin du segment d'approche interrompue et le point central d'attente en approche interrompue.

Repère de virage en approche interrompue (MATF) : Repère, différent du MAPt, qui marque un virage dans le segment d'approche interrompue.

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

Annexe A

Spécification de navigation : 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. Il y a deux types de spécification de navigation :

- ✓ **Spécification RNAV :** Spécification de navigation fondée sur la navigation de surface, qui ne prévoit pas d'obligation de surveillance et alerte en ce qui concerne les performances et qui est désignée par le préfixe RNAV, p. ex. RNAV 5, RNAV 1.
- ✓ **Spécification RNP :** Spécification de navigation fondée sur la navigation de surface, qui prévoit une obligation de surveillance et alerte en ce qui concerne les performances et qui est désignée par le préfixe RNP, p. ex. RNP 4, RNP APCH.

Surface d'évaluation d'obstacles (OAS) : Surface définie en vue de déterminer les obstacles dont il faut tenir compte dans le calcul de l'altitude/hauteur de franchissement d'obstacles pour une procédure APV donnée ou une procédure d'approche de précision donnée.

Système de renforcement embarqué (ABAS) : Système qui renforce l'information provenant des autres éléments du GNSS par les données disponibles à bord de l'aéronef et/ou qui l'intègre à ces données.

Système de renforcement au sol (GBAS) : Système de renforcement dans lequel l'utilisateur reçoit l'information de renforcement directement d'un émetteur au sol.

Système de renforcement satellitaire (SBAS) : Système de renforcement à couverture étendue dans lequel l'utilisateur reçoit l'information de renforcement directement d'un émetteur basé sur satellite.

Système mondial de navigation par satellite (GNSS) : Système de détermination de la position et du temps, qui se compose d'une ou de plusieurs constellations de satellites, de récepteurs placés à bord des aéronefs et d'un contrôle de l'intégrité, renforcé selon les besoins pour obtenir la qualité de navigation requise dans la phase d'exploitation considérée.

Annexe B

ANNEXE B

**Tableau B.1 Vitesses (VI) pour les calculs de procédures ; en Kilomètres à l'heure
(Km/h)**

Catégorie d'aéronefs	Vat	Fourchette de vitesses d'approche initiale	Fourchette de vitesses d'approche finale	Vitesse maximales pour manœuvres à vue (approche indirecte)	Vitesse maximales pour approche interrompue	
					intermédiaire	finale
A	< 169	165/280(205*)	130/185	185	185	205
B	169/223	220/335(260*)	155/240	250	240	280
C	224/260	295/445	215/295	335	295	445
D	261/306	345/465	240/345	380	345	490
E	307/390	345/467	285/425	445	425	510
H	S/0	130/220**	110/165***	S/0	165	165
CATH(Pins)***	S/0	130/220	110/165	S/0	130 ou 165	130ou 165

Tableau B.2 Vitesses (VI) pour les calculs de procédures ; en nœuds (Kt)

Catégorie d'aéronefs	Vat	Fourchette de vitesses d'approche initiale	Fourchette de vitesses d'approche finale	Vitesse maximales pour manœuvres à vue (approche indirecte)	Vitesse maximales pour approche interrompue	
					intermédiaire	finale
A	< 91	90/150(110*)	70/100	100	100	110
B	91/120	120/180(140*)	85/130	135	130	150
C	121/140	160/240	115/160	180	160	240
D	141/165	185/250	130/185	205	185	265
E	166/210	185/250	155/230	240	230	275
H	S/0	70/120**	60/90***	S/0	90	90
CATH(Pins)***	S/0	70/120	60/90	S/0	70 ou 90	70 ou 90

Annexe B

**Tableau B.3 Distance minimal de stabilisation entre points de cheminement à survoler
(unités non SI, inclinaison latérale 15°)**

Changement de cap* (degrés)	< ou =		Vitesse vraie (kt)												
	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	240	260	280	300	340
50	2,1	2,4	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	5,2	5,7	6,7	7,8	9,0	10,2	13,0
55	2,3	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	5,1	5,6	6,1	7,2	8,4	9,7	11,1	14,1
60	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,6	7,8	9,1	10,4	11,9	15,2
65	2,6	3,0	3,4	3,8	4,3	4,8	5,3	5,9	6,4	7,0	8,3	9,7	11,2	12,8	16,3
70	2,8	3,2	3,6	4,1	4,6	5,1	5,7	6,2	6,9	7,5	8,9	10,3	11,9	13,6	17,4
75	2,9	3,4	3,8	4,3	4,8	5,4	6,0	6,6	7,3	7,9	9,4	11,0	12,7	14,5	18,5
80	3,1	3,5	4,0	4,6	5,1	5,7	6,3	7,0	7,7	8,4	9,9	11,6	13,4	15,3	19,5
85	3,2	3,7	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,3	8,0	8,8	10,4	12,2	14,1	16,1	20,5
90	3,4	3,9	4,4	5,0	5,6	6,3	6,9	7,7	8,4	9,2	10,9	12,7	14,7	16,8	21,5
95	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,5	7,2	8,0	8,8	9,6	11,4	13,3	15,3	17,5	22,4
100	3,6	4,2	4,8	5,4	6,1	6,8	7,5	8,3	9,1	10,0	11,8	13,8	15,9	18,2	23,3
105	3,7	4,3	4,9	5,6	6,3	7,0	7,8	8,6	9,4	10,3	12,2	14,3	16,5	18,9	24,1
110	3,9	4,4	5,1	5,7	6,4	7,2	8,0	8,8	9,7	10,6	12,6	14,7	17,0	19,4	24,8
115	4,0	4,6	5,2	5,9	6,6	7,4	8,2	9,1	10,0	10,9	12,9	15,1	17,4	20,0	25,5
120	4,0	4,7	5,3	6,0	6,8	7,5	8,4	9,3	10,2	11,1	13,2	15,4	17,8	20,4	26,1

ANNEXE C

CORRECTION EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

1.1 Nécessité de correction température

Les altitudes/hauteurs minimales de sécurités calculées doivent être ajustées lorsque la température ambiante à la surface est très inférieure à celle qui est prédite par l'atmosphère type.

1.2 Tables de corrections

Pour le calcul de l'angle de la FAS, il convient d'utiliser la correction par température froide indiquée dans les Tableaux C.1 et C.2. Les corrections ont été calculées pour un aérodrome situé au niveau de la mer ; elles sont donc conservatrices pour les aérodromes situés à plus haute altitude.

1.3 Calcul des corrections

Dans le calcul des corrections pour des altitudes d'aérodromes ou des sources de calage altimétrique au-dessus du niveau de la mer, ou pour des valeurs qui ne figurent pas dans les tableaux, utiliser l'équation 24 de la publication Engineering Science Data Unit Publication, Performance Volume 2, numéro 770221. Elle présuppose une atmosphère non type.

$$\Delta h_{\text{CORRECTION}} = \Delta h_{\text{PAvion}} - \Delta h_{\text{GAvion}} = (-\Delta T_{\text{type}}/L_o) \ln [1 + L_o \Delta h_{\text{PAvion}} / (T_o + L_o \cdot h_{\text{PAérodrome}})]$$

où : Δh_{PAvion} = hauteur de l'aéronef au-dessus de l'aérodrome (pression)

Δh_{GAvion} = hauteur de l'aéronef au-dessus de l'aérodrome (géopotentielle)

ΔT_{type} = écart de température par rapport à la température de l'atmosphère type internationale (ISA)

L_o = gradient vertical de température type avec altitude-pression dans la première couche de l'ISA (du niveau de la mer à la tropopause)

T_o = température type au niveau de la mer

Remarque : La hauteur géopotentielle inclut une correction qui tient compte de la variation de g (valeur moyenne : 9,8067 m/s²) en fonction de la hauteur. Cependant, l'effet est négligeable aux altitudes minimales prises en compte pour le franchissement des obstacles. La différence entre la hauteur géométrique et la hauteur géopotentielle varie depuis zéro au niveau moyen de la mer jusqu'à -59 ft à 36 000 ft.

Annexe C

- L'équation ci-dessus ne peut pas être résolue directement en termes de Δh_G Avion ; elle doit être résolue par itération. Un programme simple d'informatique ou de chiffrier permet d'obtenir la solution.

Hypothèse relative aux gradients verticaux de température

L'équation ci-dessus présuppose un gradient vertical de température « hors norme » constant. Le gradient vertical réel peut varier considérablement par rapport à la norme présupposée, selon la latitude et la période de l'année. Cependant, les corrections obtenues par la méthode de calcul sont valables jusqu'à 11 000 m (36 000 ft).

Tableau C.1. Correction température à utiliser dans le calcul de l'angle de la FAS (m)

Remarque : T = température de l'aérodrome (°C) et H = hauteur du FAP au-dessus du seuil (m).

<i>T °C \ H</i>	<i>300</i>	<i>450</i>	<i>600</i>	<i>750</i>	<i>900</i>	<i>1 200</i>	<i>1 300</i>	<i>1 400</i>	<i>1 500</i>
0	17	25	33	42	50	67	73	78	84
-10	29	43	58	72	87	116	126	136	146
-20	42	63	84	105	126	169	183	198	212
-30	56	84	112	141	169	226	246	265	285
-40	77	107	143	179	216	289	314	339	364
-50	88	132	176	222	267	358	388	419	450

Annexe C

Tableau C.2. Correction température à utiliser dans le calcul de l'angle de la FAS (ft)

<i>T °C \ H</i>	<i>1 000</i>	<i>1 500</i>	<i>2 000</i>	<i>2 500</i>	<i>3 000</i>	<i>3 500</i>	<i>4 000</i>	<i>4 500</i>	<i>5 000</i>
0	55	83	111	139	167	195	223	251	280
-10	96	144	192	240	289	337	387	436	485
-20	139	201	279	350	421	492	563	635	708
-30	186	280	374	469	564	659	755	852	949
-40	237	357	477	580	719	842	965	1 088	1 212
-50	293	441	590	739	890	1 041	1 193	1 347	1 500

Remarque : T= température de l'aérodrome (°C) et H = hauteur du FAP au-dessus du seuil (ft).

Annexe D

ANNEXE D

LES CARTES D'APPROCHE AUX INSTRUMENTS POUR L'AERODROME D'ALGER HOUARI BOUMEDIENE PUBLIEES DANS L'AIP

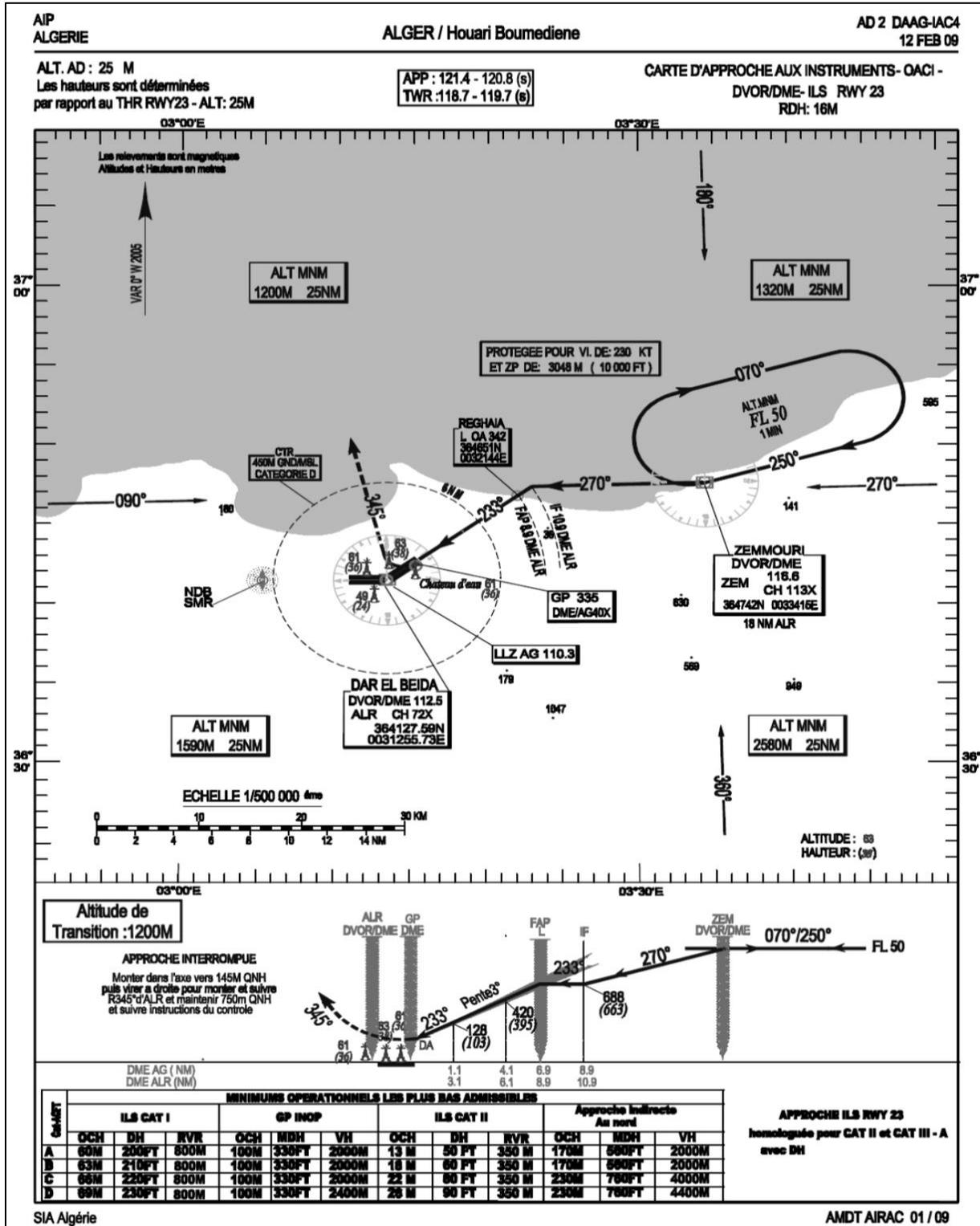


Figure.D.1: la carte d'approche aux instruments OACI- DVOR/DME-ILS RWY 23 de l'aéroport Houari Boumediene

Annexe D

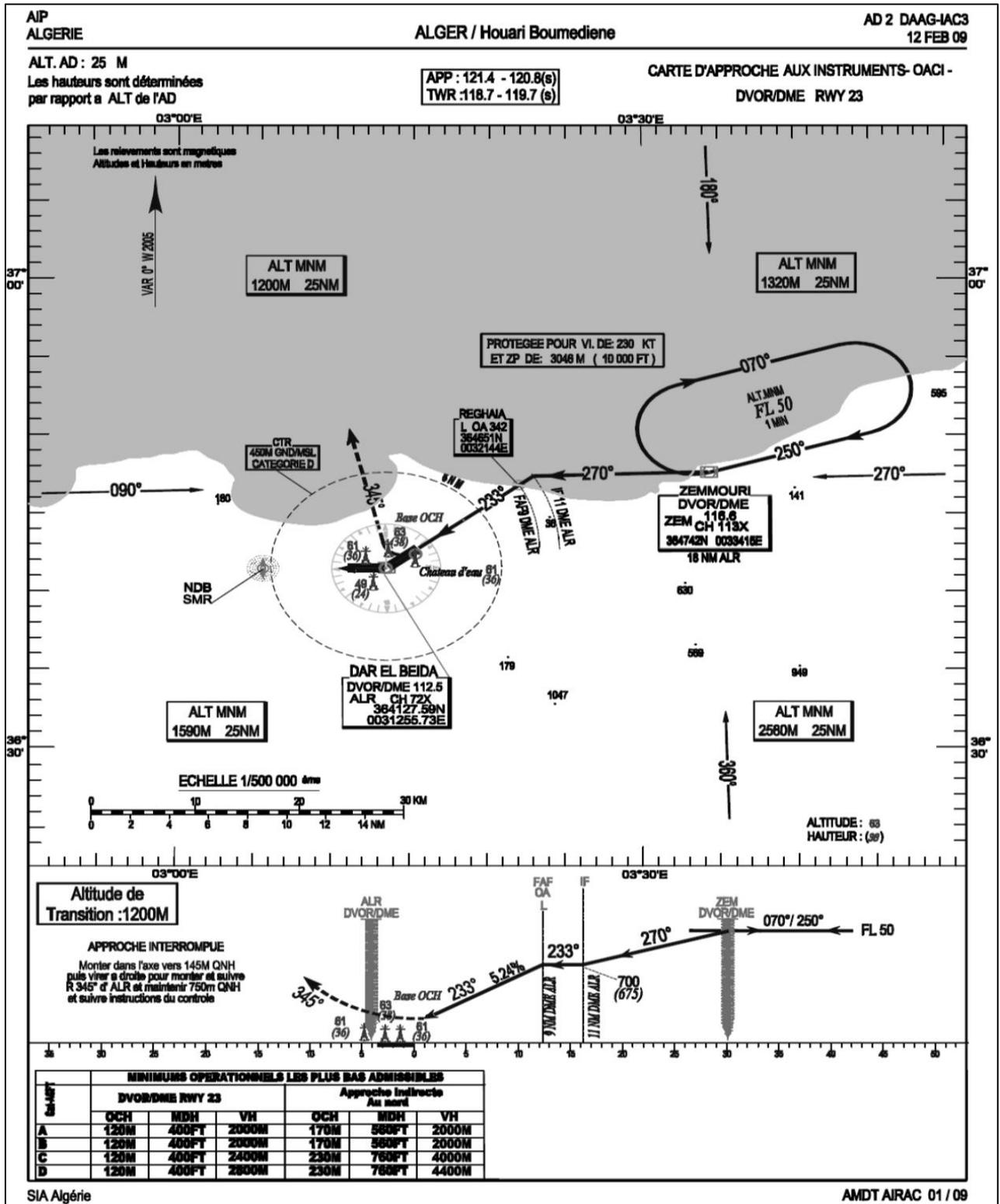


Figure.D.2: la carte d'approche aux instruments OACI- DVOR/DME RWY 23 de l'aéroport Houari Boumediene

Abréviations

Abréviations

ABREVIATIONS

	Anglais	français
A		
ABAS	Aircraft-Based Augmentation System	Système de renforcement embarqué
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance-Contrat	Surveillance dépendante automatique — contrat
ADS-D	Automatic Dependent Surveillance- diffusion	Surveillance dépendante automatique — diffusion
ANSP	Air Navigation Services Provider	Fournisseur de services de navigation aérienne
APCH	Approach	Approche
API	Missed approach	Approche interrompue
APV	Approach Procedure with Vertical Guidance	Procédure d'approche avec guidage vertical
AR	Authorization Required	Autorisation Requise
ATC	Air Traffic Control	Contrôle de la circulation aérienne
ATM	Air Traffic Navigation	Gestion du trafic aérien
ATS	Air Traffic Service	Service(s) de la Circulation Aérienne
ATT	Along-track tolerance	Tolérance d'écart longitudinal
B		
Baro	Barometri	Barométrie
B- RNAV	Based- Area Navigation	RNAV de base
BV	Buffer value	Valeur tampon
C		
CEAC (ECAC)	European Civil Aviation Conference	Conférence européenne de l'aviation civile
CNS	Communications, Navigation, Surveillance	communication, navigation et surveillance
CPDLC	Communication Pilot of Data Link Controller	les systèmes de communications contrôleur-pilote par liaison de données
D		
DA/H	Decision altitude/height	Altitude/hauteur de décision
DCPC	Direct Communication Pilot-Controller	communications directes contrôleur-pilote

Abréviations

DER	Departure end of the runway	Extrémité départ de la piste
DF	Direction finding	Radiogoniométrie
DME	Distance Measuring Equipment	Dispositif de mesure de distance
DTT	System use accuracy	Précision d'utilisation du système
F		
FAF	Final approach fix	Repère d'approche finale
FAP	Final approach point	Point d'approche finale
FANS	Future Air Navigation System	comité spécial des futurs systèmes de navigation aérienne
FAS	Final approach segment	Segment d'approche finale
FIR	Flight Information Region	région d'information de vol
FMS	Flight Management System	Système de gestion de vol
G		
GARP	GBAS azimuth reference point	Point de référence en azimut du GBAS
GBAS	Ground-based Augmentation System	Système de renforcement au sol
GLS	GNSS Landing System	Système d'atterrissage GNSS
GNSS	Global Navigation Satellite System	Système mondial de navigation par satellite
GPS	Global Positioning System	Global Positioning System
I		
IAF	Initial approach fix	Repère d'approche initial
ICAO	International Civil Aviation Organisation	Organisation Aviation Civile Internationale
IF	Intermediate approach fix	Repère intermédiaire
IFR	Instrument Flight Rules	Règle de vol aux instruments
ILS	Instruments landing system	Système d'atterrissage aux instruments
IMAL	Integrity Monitoring Alarm limit	Limite d'alerte du moniteur d'intégrité
INS	Inertial Navigation System	Système de navigation par inertie
IRS	Inertial Reference System	Système à référence inertielle
IRU	inertial reference unit	Centrale inertielle
L		
LME(MEL)	Minimum equipment list	Liste minimale d'équipements
LNAV	Lateral navigation	Navigation latérale
LNRS	Long-Range Navigation Systems	Système de navigation à Longue distance

Abréviations

LTP	Landing threshold point	Point de seuil d'atterrissage
M		
MAHF	Missed approach holding fix	Repère d'attente en approche interrompue
MAPT	Missed approach point	Point d'approche interrompue
MATF	Missed approach turning fix	Repère de virage en approche interrompue
MCDU	Multifunction control and display unit	Module de commande et d'affichage multifonctions
MDA/H	Minimum descent altitude/height	Altitude/hauteur minimale de descente
MLS	Microwave landing system	Système d'atterrissage hyperfréquences
MNPS	Minimum navigation performance specification	Spécifications de performances minimales de navigation
MOC (MFO)	Minimum obstacle clearance	Marge minimale de franchissement d'obstacles
N		
NAA		Autorité nationale en matière de navigabilité
NAVAID	navigational aid	Aide à la Navigation
NPA	Non-precision approach	Procédure d'approche classique
NSE	Navigation system error	Erreur du système de navigation
O		
OAS	Obstacle assessment surface	Surface d'évaluation d'obstacles
OCA/H	Obstacle clearance altitude/height	Altitude/hauteur de franchissement d'obstacles
P		
PA	precision approach	Procédure d'approche de précision
PBN	Performance based navigation	la navigation fondée sur les performances
PDE	Path definition error	Erreur de définition de trajectoire
R		
RDH	Reference datum height (for APV and PA)	Hauteur du point de repère (pour APV et PA)
RF	Radius to fix	rayon jusqu'à un repère
RNAV	Area Navigation	Navigation de surface
RNPC	required navigation performance capability	Capacité de qualité de navigation requise

Abréviations

RNP	Required Navigation Performance	Qualité de Navigation Requise
RSS	root sum square	Racine carrée de la somme des carrés
S		
SAAAS	Special Aircraft and Aircrew Authorization Required	autorisation spéciale requise pour aéronefs et équipages de conduite
SBAS	Satellite-based augmentation system	Système de renforcement satellitaire
SID	Standard instrument departure	Départ normalisé aux instruments
SIS	Signal in space	Signal électromagnétique
STAR	Standard arrival	Arrivée normalisée aux instruments
ST	System computation tolerance	Tolérances de calcul de système
T		
TAA	terminal arrival area	Altitude d'arrivée en région terminale
TA/H	Turn at an altitude/height	Virage à une altitude/hauteur
TO	Take Off	Atterrissage
TP	Turning point	Point de virage
TSO	Technical Standard Order	Technical Standard Order
V		
VHF	Very High Frequency	Très haute fréquence
VNAV	Vertical Navigation	Navigation verticale
VOR	VHF Omni-directional Range	Radiophare omnidirectionnel très haute fréquence (VHF)
VPA	Vertical path angle	Angle de trajectoire verticale
X		
XTT	Cross-track tolerance	Tolérance d'écart latéral

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

Auteur	Titre	L'année
OACI	[1] Document 9368 AN/911 Instrument Flight Procedures Construction Manuel	Edition 2. 2002
OACI	[2] Document 9613 AN/937 Manuel de la navigation fondée sur les performances (PBN)	Edition 3. 2008
OACI	[3] Document 8168 AN/611 Exploitation technique des aéronefs Volume II Construction des procédures de vol à vue et de vol aux instruments	Edition 5. 2006
OACI	[4] Document 9613 AN/937 Manuel sur la qualité de navigation requis (RNP)	Edition 2. 1999
FAA	[5] Conception d'exploitation mise en œuvre de PBN au Canada Conception des services CNS,	Novembre 2009
FAA	[6] Flight Procedures and Airspace 10/22/2009 FAA flight management system (FMS) instrument procedures development	December 31, 1998
FAA	[7] terminal arrival area (TAA) design criteria	7/14/00
FAA	[8] civil utilization of area navigation (RNAV) departure procedures	11/6/06
FAA	[9] The United States Standard for Area Navigation (RNAV)	12/07/07
DGAC	[10] Guide des opérations RNP APCH appelées communément RNAV(GNSS)	juin 2011
FAA	[11] Evolution for area navigation (RNAV) and required navigation performance (RNP) capabilities 2006.2007	July 2006
OACI	[12] un tournant décisif vers la navigation fondée sur les performances	2006

IATA	[13] General Guidelines for Obtaining Airworthiness and Operational Approvals for PBN Navigation Specifications	Version 1. 8/8/08
OACI	[14] Performance-Based Navigation (PBN)	July 2003
EUROCONTROL	[15] Airspace Concept Handbook for the Implementation of Performance Based Navigation (PBN)	April 2010
FAA	[16] Procédures RNAV (Navigation de Surface)	April 2010
DGAC	[17] mémento à l'usage des utilisateurs des procédures de vol aux instruments – mup getting to grips with RNP AR AIRBUS Required Navigation Performance with Authorization Required 8ème édition	30 juin 2012
EUROCONTROL	[18] navigation application & navaid infrastructure strategy for the ECAC area up to 2020	edition 2, 15 may 2008
EUROCONTROL	[19] transition plan for the implementation of the navigation strategy in ECAC 2000-2015+	Edition 3, 24/05/2000
EUROCONTROL	[20] area navigation equipment operational requirements and functional requirements	edition 2.2 December 1998
OACI	[21] Global PBN Implémentation – Update	2010

OACI	[22] Conception Procédures aux instruments, Critères APV Baro-VNAV	2007
OACI	[23] Cadre de performance pour la planification et la mise en œuvre de la navigation aérienne dans la Région AFI	28/02/2012
OACI	[24] navigation de surface en route (RNAV5) (anciennement B-RNAV)	édition 2. 11/3/2011
EUROCONTROL	[25] Guidance Material for the Design of Terminal Procedures for Area Navigation (DME/DME, B-GNSS, Baro-VNAV & RNP-RNAV)	Edition 3. March 2003
EUROCONTRL	[26] équipement de navigation de surface; besoins opérationnels et fonctionnels	1998

Les sites internet

[27] [Http://www.quovadisway.com/](http://www.quovadisway.com/)

[28] [Http://www.fsims.faa.gov](http://www.fsims.faa.gov)

[29] www2.icao.int/en/pbn