

CHAPITRE 3

LA NAVIGATION DE SURFACE

3.1. Introduction

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

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

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

3.2. Historique

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

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

En 1989, le bureau de l'OACI publiait la troisième édition des éléments indicatifs sur l'application de la RNAV dans la région Europe [3].

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

Il y a lieu de noter qu'en Europe, des travaux de planification ARN menés sous l'égide de l'OACI ont débouché dès 1993 sur la mise en place des premiers éléments d'un nouveau réseau européen de routes principales adapté aux principaux courants de trafic au-dessus du FL290. Cette structure de réseau s'appuie sur la mise en œuvre de la navigation de surface.

3.3. Méthodes de navigation

Il existe différentes méthodes de navigation :

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

3.4. Systèmes RNAV

3.4.1. Définition

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

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

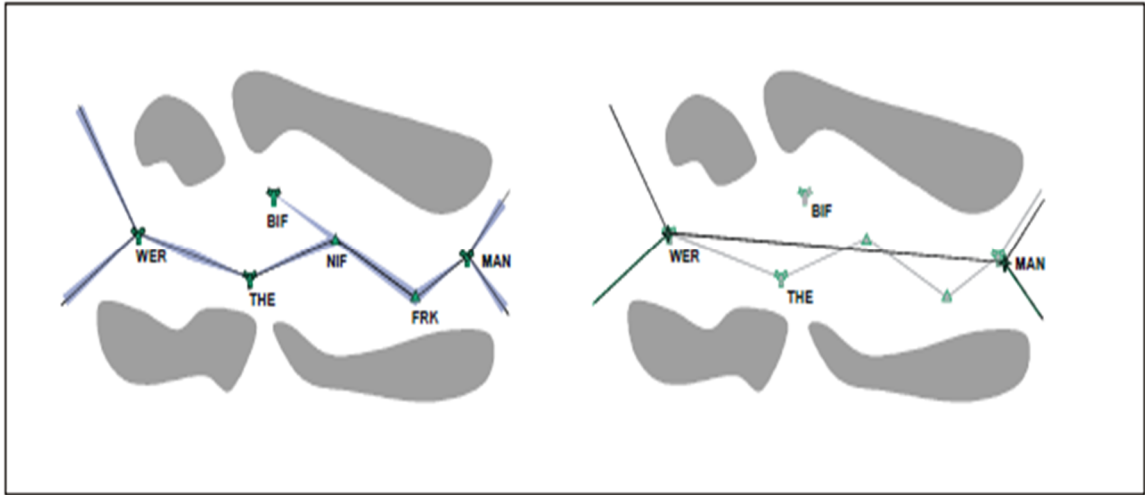


Figure 3.1 : Navigation conventionnelle comparée à la RNAV [2]

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

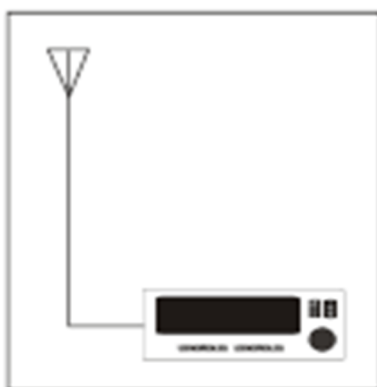


Figure 3.2.a : Système RNAV
de base [2]

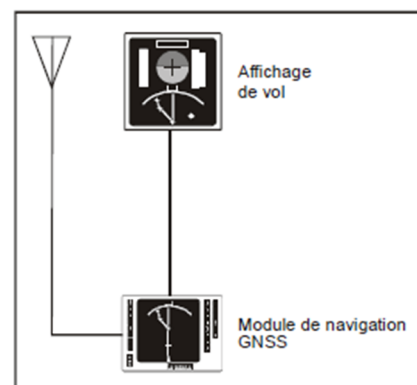


Figure 3.2.b : Système RNAV
Maps [2]

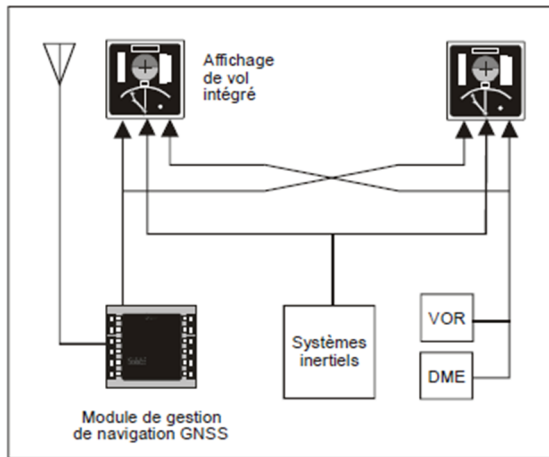


Figure 3.2.c : Système multi-capteurs simple [2]

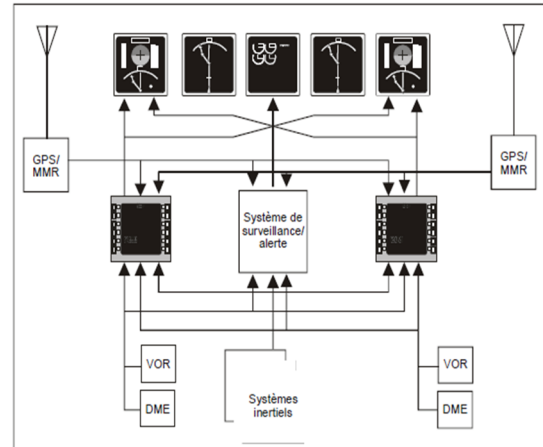


Figure 3.2.d : Système multi-capteur complexe [2]

3.4.2. Objectifs de la navigation de surface 'RNAV'

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

- Voler vers les destinations qui ne sont pas desservies par des aides à la navigation ;
- Repérer des aéroports lorsque la météo est marginale ;
- Réaliser des économies sur la consommation en carburant ;
- Utiliser un mode de descente plus sûr que le Drive/Drive ;
- Diminuer les zones d'exploitation au bruit ;
- Favoriser la sécurité et la réduction du trafic.

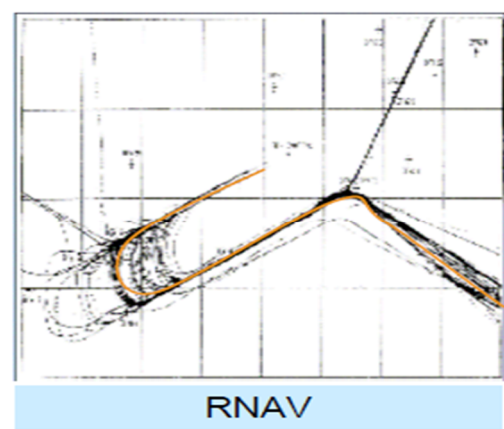
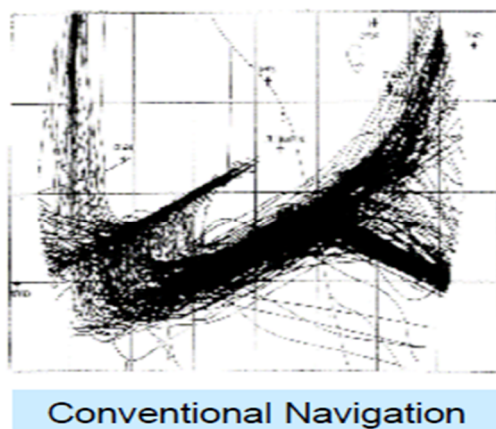


Figure 3.3 : Environnement RNAV et non RNAV pour B737/600/700/800 et 315 [1]

➤ **Remarque**

Le mode Drive to Drive signifie:

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

3.4.3. Fonction de base du système RNAV

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

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

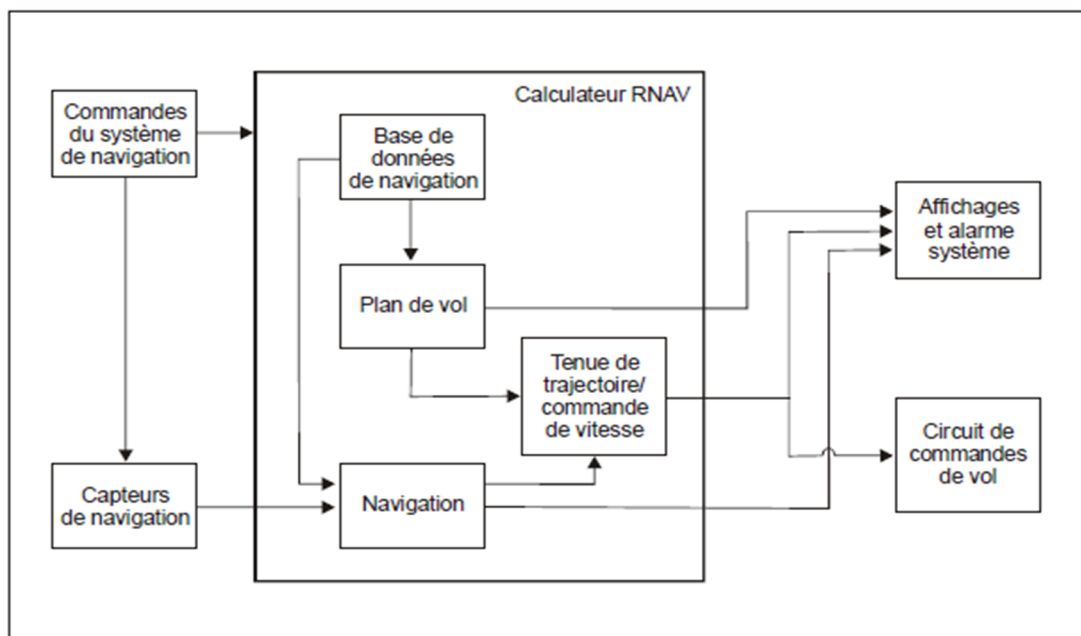


Figure 3.4 : Fonctions de base d'un système RNAV [2]

3.4.4. Base de données de navigation

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

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

Dans le manuel PBN, il est spécifié que toute exigence spécifique concernant la base de données de navigation devrait être indiquée dans la spécification de navigation, en particulier si l'intégrité de la base de données doit en principe prouver la conformité à un processus établi d'assurance qualité des données [2].

3.4.5. Établissement des plans de vol

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

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

3.4.5.1. Point de cheminement 'waypoint'

Un emplacement géographique spécifié utilisé pour définir une route de navigation de surface ou la trajectoire d'un aéronef utilisant la navigation de surface est désigné par l'abréviation 'WP'.

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

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

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

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

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

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

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

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

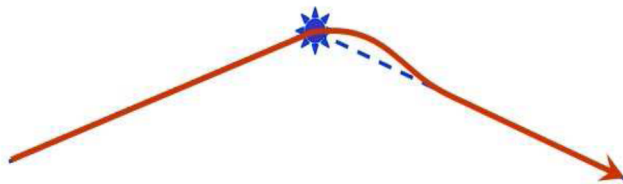


Figure 3.5.a : point de cheminement à survoler [5]

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

Dans le cas d'un point RNAV « Fly by », le point de cheminement où le pilote doit anticiper le virage afin d'éviter de dépasser le prochain segment de vol.



Figure 3.5.b : point de cheminement par le travers [5]

3.4.5.2. Symbologie des waypoint



Fly-By Waypoint



Fly-Over Waypoint



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



Fly-Over Waypoint coïncide avec le VOR/DME

3.4.5.3. Utilisation en fonction du type de WP

Tableau 3.1 : Type des Waypoints

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

➤ Remarque

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

3.4.5.4. Tolérance d'un waypoint

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

3.4.6. Méthode de positionnement RNAV

Le système RNAV permet:

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

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

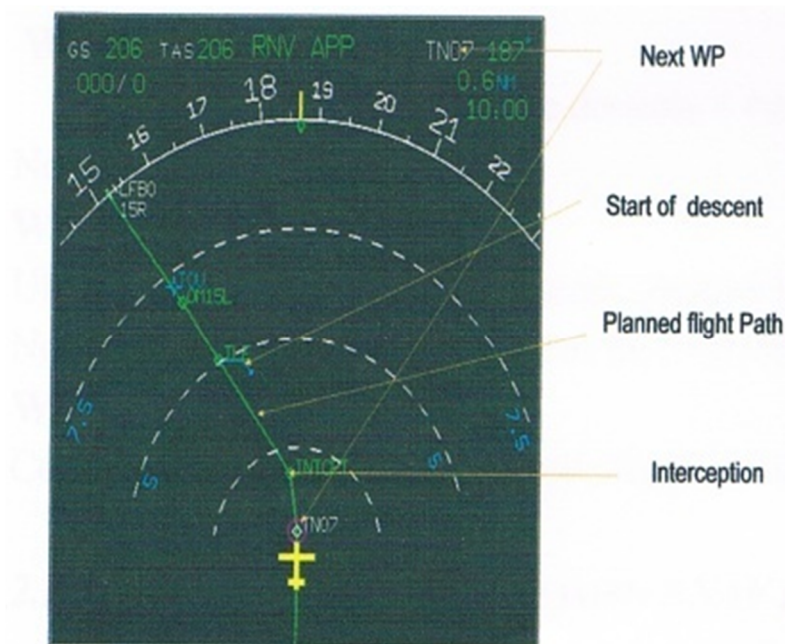


Figure 3.6 : Méthode de positionnement RNAV [6]

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

Une trajectoire RNAV peut être suivie manuellement.

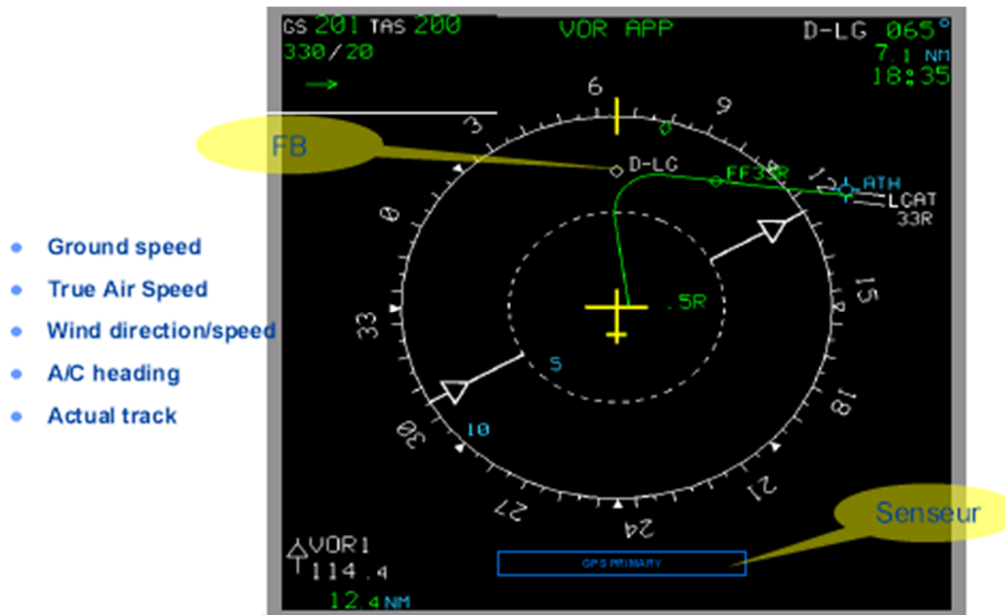


Figure 3.7 : Affichage sur le ND [7]

3.4.7. Précision de navigation

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

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

3.4.8. Intégrité des bases de données de navigation

L'obtention d'une LOA par un couple (codeurs de données ; équipementier) garantit la qualité du processus de traitement des données RNAV par ces acteurs. Cette dernière est un agrément délivré par l'EASA ou la FAA suite à des audits réalisés chez les codeurs de

données ou chez les équipementiers et visant à vérifier le respect des normes relatives au traitement des données aéronautiques.

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

3.4.9. Guidage et contrôle

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

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

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

3.4.10. Exigences imposées sur le système RNAV

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

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

3.4.11. Equipements RNAV

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

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

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

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

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

3.4.12. Principe du système RNAV

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

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

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

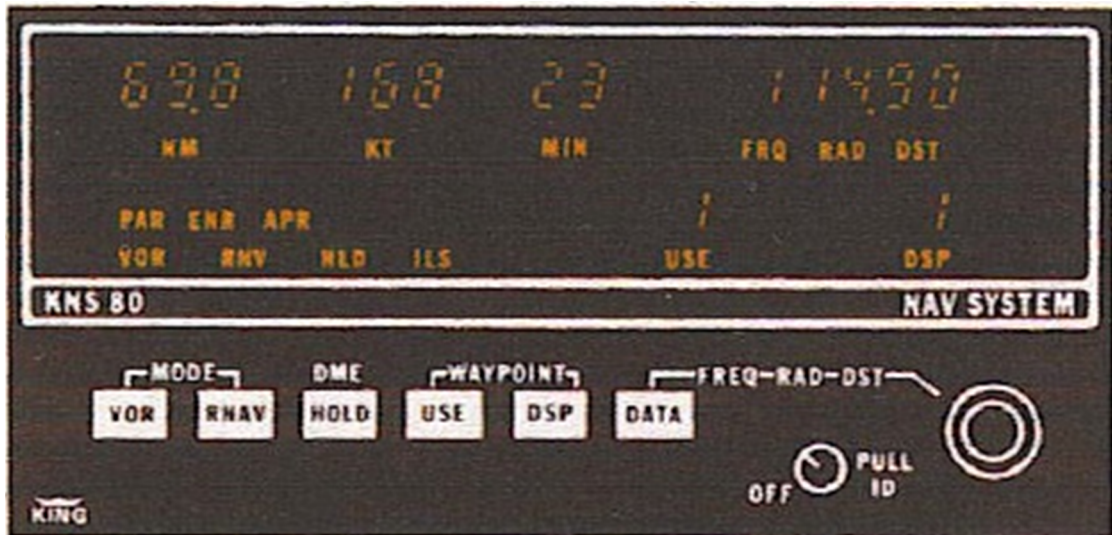


Figure 3.8 : Récepteur RNAV [6]

➤ **Remarque**

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

3.4.13. Certification RNAV

Conformément aux spécifications de performances minimales des systèmes de bord, les aéronefs équipés de systèmes RNAV devront se soumettre à des tests de conformité aux normes de précision avant toute certification et approbation par les autorités compétentes. Ces tests seront établis par les Autorités conjointes de l'aviation (JAA).

3.4.14. Zones d'exploitation

L'exploitant doit s'assurer que les performances de ses équipements sont conformes aux normes définies pour la(les) zone(s) dans laquelle(lesquelles) se dérouleront les opérations envisagée [8].

3.4.15. Les différents types de la RNAV

3.4.15.1. La RNAV de base 'B-RNAV'

Ce type de navigation de surface défini par Eurocontrol dont la précision de tenue de route dans le plan latéral est de ± 5 NM et exploité par les aéronefs dotés d'un équipement RNAV ayant la capacité à déterminer leurs positions dans le plan horizontal avec une précision suffisante pour satisfaire à l'exigence de tenue de route.

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

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

3.4.15.2. La RNAV de précision 'P-RNAV'

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

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

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

3.4.15.3. La RNAV libre

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

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

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

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

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

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

3.5. Procédures RNAV

3.5.1. Généralités

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

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

3.5.2. Erreur technique de vol (FTE)

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

Tableau 3.2 : Erreur technique de vol des applications RNAV et RNP [9]

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

3.5.3. Valeurs tampons (BV)

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

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

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

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

Tableau 3.3 : Valeurs tampons (BV) [9]

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

3.5.4. Aire de franchissement d'obstacles

3.5.4.1. Demi-largeur d'aire

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

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

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

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

3.5.4.2. Aires secondaires

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

3.5.5. Repères

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

3.5.6. RNAV avec GNSS de base

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

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

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

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

3.5.6.1.1. XTT et ATT

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

✓ **XTT : Tolérance d'écart latéral**

Tolérance de repère mesurée perpendiculairement à la trajectoire nominale, résultant des tolérances d'équipement embarqué et d'équipement au sol ainsi que de la tolérance technique de vol (FTT) [9].

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

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



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

3.5.6.1.1.1. XTT et ATT pour spécifications de navigation RNP

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

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

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

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

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

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

3.5.6.1.1.2. XTT et ATT pour spécifications RNAV

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

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

Où ST est égal à 0,25 NM.

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

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

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

Où :

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

3.5.6.1.2. Demi-largeur d'aire

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

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

Où :

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

BV = valeur tampon.

3.5.6.2. Précision du système GNSS de base

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

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

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

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

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

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

3.5.7. Attente RNAV

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

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

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

De ces avantages en découlent d'autres à savoir :

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

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

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

3.5.7.1. Types d'attente RNAV

Il existe trois types d'attente RNAV :

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

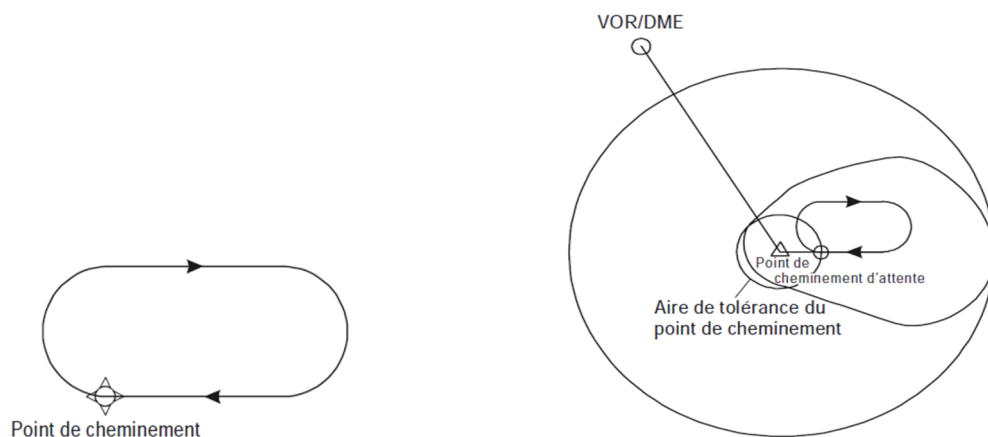


Figure 3.10.a : Attente en RNAV avec point de cheminement [9] **Figure 3.10.b :** Attente dans une aire RNAV [9]

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

3.5.8.1. Aires de protection

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

3.5.8.1.1. Principe des aires secondaires

À chaque segment correspond une aire qui lui est associée. Normalement l'aire est symétriquement répartie de part et d'autre de la trajectoire à suivre. Cette aire est subdivisée en une aire primaire et des aires secondaires. Toutefois, dans certains cas, seules des aires primaires sont permises.

Lorsque des aires secondaires sont permises, la moitié extérieure de chaque côté de l'aire (normalement 25 % de la largeur totale) est désignée comme aire secondaire.

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

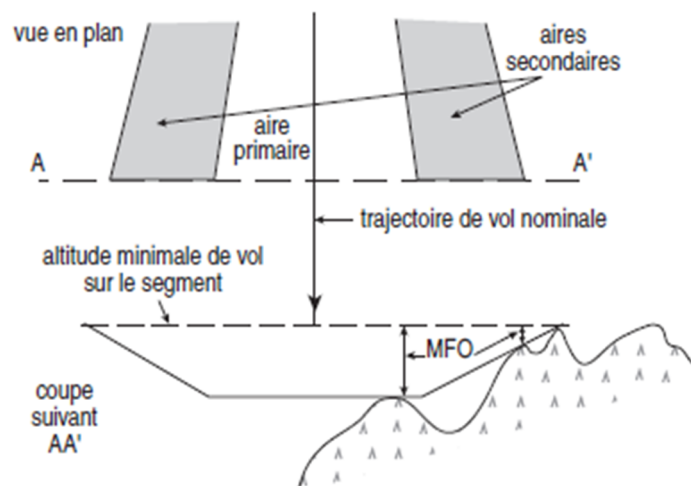


Figure 3.11 : Vue en plan des aires primaires et secondaires [10]

3.5.8.1.2. Aires de protection des procédures RNAV

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

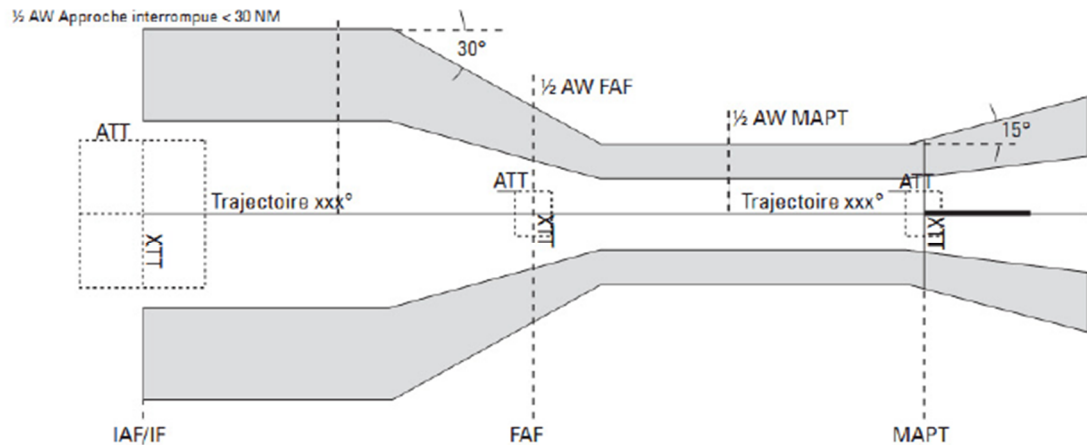


Figure 3.12 : Aires de protection des procédures RNAV [10]

3.5.8.1.3. Aires de protection des procédures conventionnelles

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

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

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

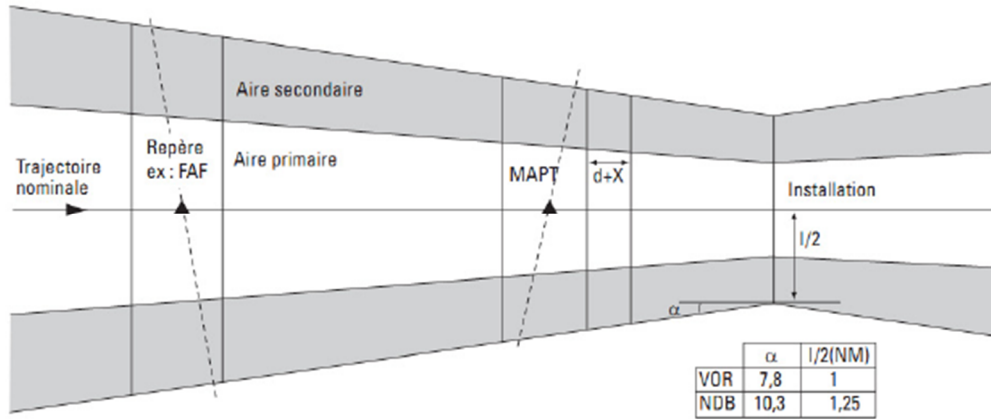


Figure 3.13 : Approche interrompue en ligne droite avec guidage continue sur trajectoire [10]

3.5.8.1.4. Superposition des aires RNAV / Conventionnelles

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

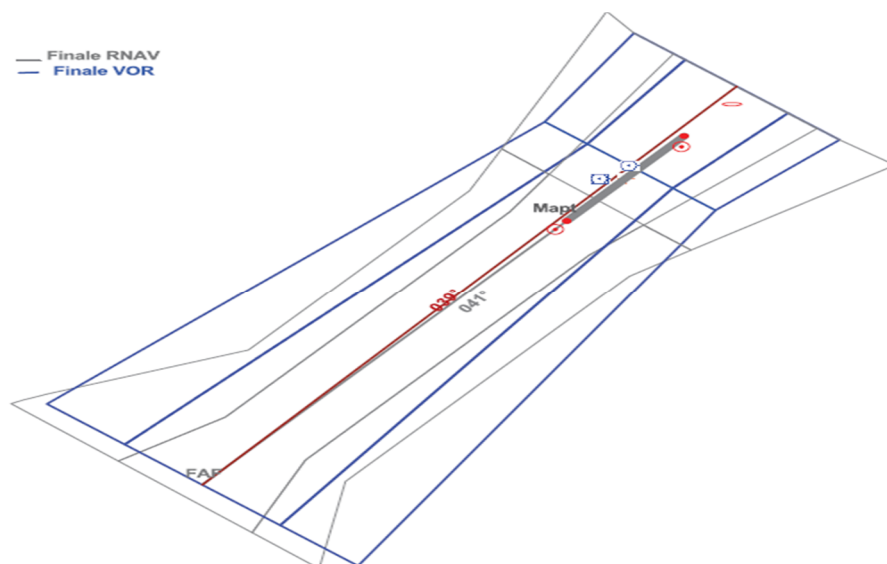


Figure 3.14 : La superposition des aires de protection d'une approche finale VOR et d'une approche finale RNP APCH [10]

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

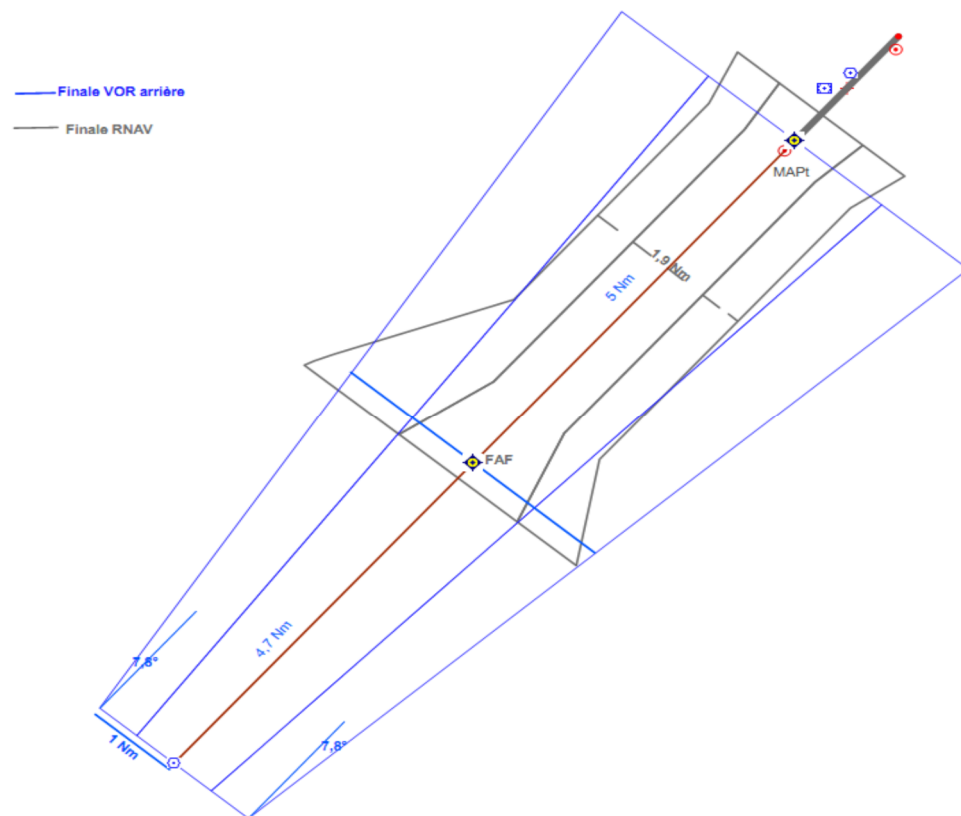


Figure 3.15 : L'envergure des aires de protection associées à un VOR [10]

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

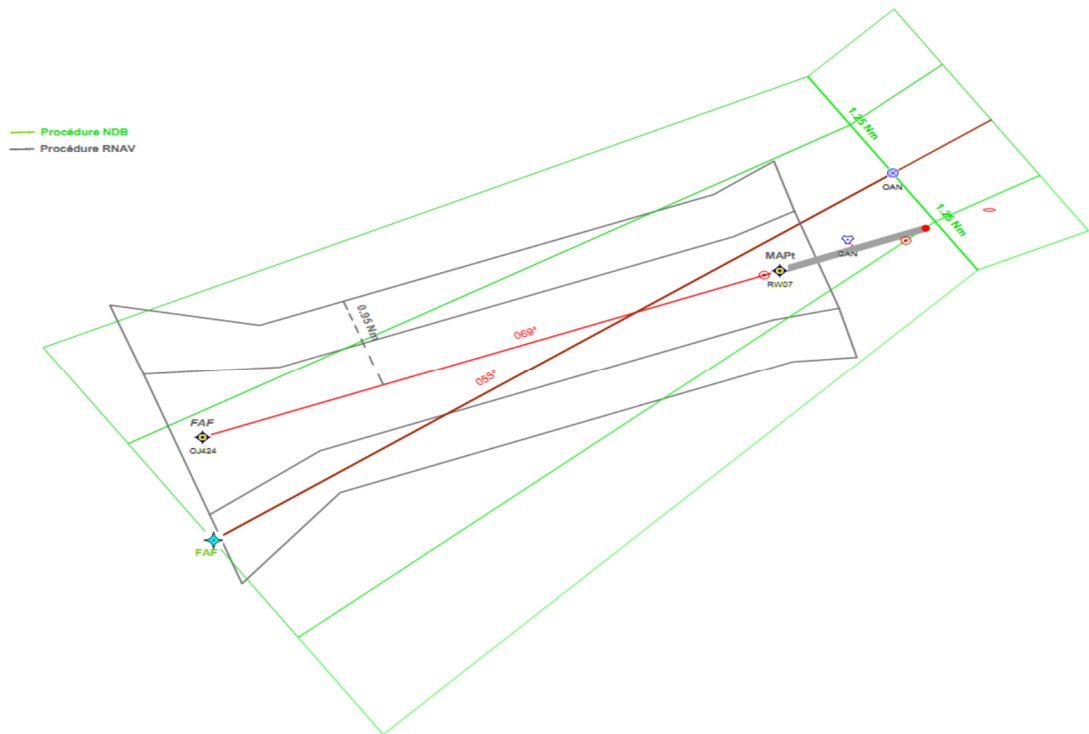


Figure 3.16 : Comparaison entre une aire de protection d'une procédure NDB et d'une procédure RNAV [10]

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

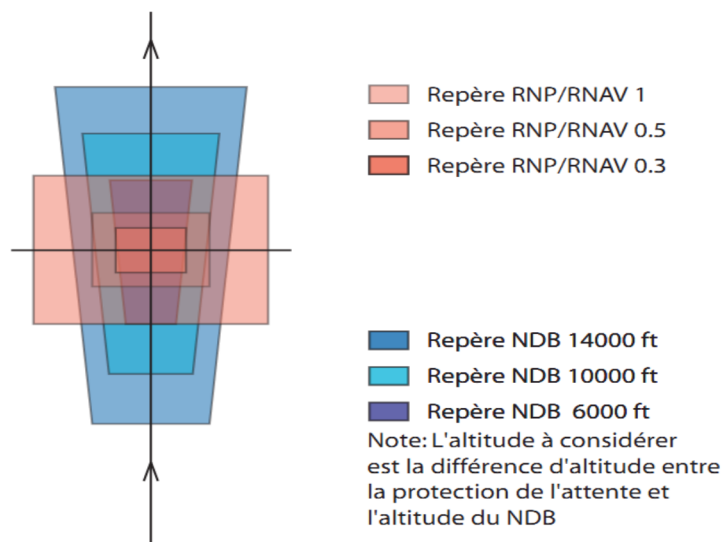


Figure 3.17 : La superposition des repères RNAV à un repère NDB à différentes altitudes [10]

3.6. Les avantages de la RNAV

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

✓ **Economie**

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

✓ **Environnement**

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

✓ **Organisation de l'espace**

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

- Un nombre plus important de routes pour compenser une augmentation du trafic, une même route pourra être simplifiée par la création de waypoints stratégiquement placés et ainsi permettre des trajectoires parallèles assurant les minimas de séparation requise ;

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

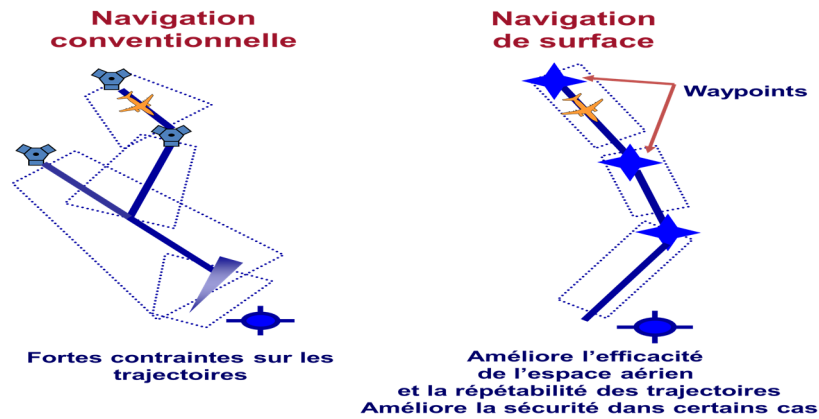


Figure 3.18 : La différence entre la navigation conventionnelle et la navigation de surface [11]

✓ Point de vue des ATM

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

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

➤ Apports de la RNAV pour l'ATC

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

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

3.7. Problèmes actuels de la RNAV

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

- Des variations parfois considérables dans les performances et les trajectoires de vol des aéronefs ;
- Une impossibilité de prévoir le comportement des calculateurs de navigation dans toutes les situations. Il en résultait de grandes surfaces d'évaluation d'obstacles, de sorte que l'avantage réalisé en termes de réduction des surfaces de protection d'obstacles était mineur ;
- Différents algorithmes d'estimation de position et des systèmes de configurations, engendrant une différence dans l'interprétation des données de base de données de navigation ;
- Le comportement du système, dépendant de la méthode avec laquelle il est opéré, est assez différent lorsqu'il est utilisé dans différents aéronefs.

3.8. Conclusion

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