

CHAPITRE 4

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

4.1. Introduction

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

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

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

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

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

Section I :

Systeme de navigation par satellite
'GNSS'

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

4.2.1. Introduction

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

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

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

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

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

4.2.2. Historique

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

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

C'était la vision élaborée par l'OACI avec l'entière coopération de tous les secteurs de la communauté aéronautique pour répondre aux besoins futurs du transport aérien international comme il a été énoncé au (Doc 9613 AN/937 ; 2008), en Février 1994, les conclusions du comité FANS (Future Air Navigation Systems) qui ont permis de lancer la navigation par satellite.

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

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

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

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

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

4.2.3. Définition du ‘GNSS’

L’OACI a défini dans l’Annexe 10 à la Convention relative à l’Aviation Civile Internationale le GNSS comme étant un système de navigation fournissant aux utilisateurs des informations précises de position, vitesse et temps, ceci partout dans le monde [12].

Ce système est composé des éléments suivants [13] :

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

Le GNSS est divisé en deux générations :

✓ **GNSS-1**

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

Aux États-Unis, le complément satellitaire est le WAAS, en Europe, c’est EGNOS, et au Japon, le MSAS.

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

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

✓ **GNSS-2**

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

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

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

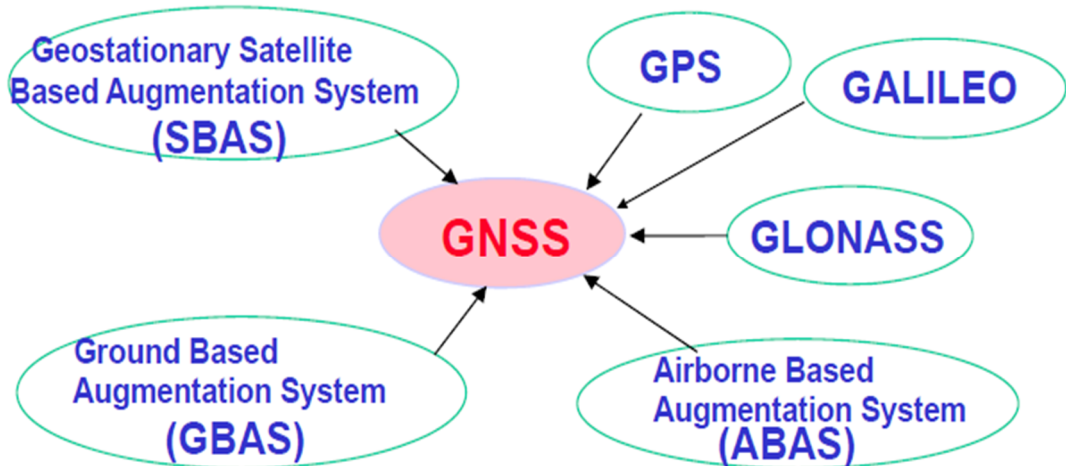


Figure 4.1 : Types d'applications du GNSS [14]

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

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

4.2.4. Constellations de base

✓ GPS 'Global Positioning System' :

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

La constellation GPS est contrôlée et opérée par le « Department of Defense » (DoD) des Etats-Unis d'Amérique. Composée de 24 satellites en 1995 (32 aujourd'hui), elle permet aux utilisateurs équipés de récepteurs adéquats d'obtenir leur position avec une précision à 95% de 33m dans le plan horizontal et de 73m dans le plan vertical [16].

➤ **Principe du GPS**

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

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

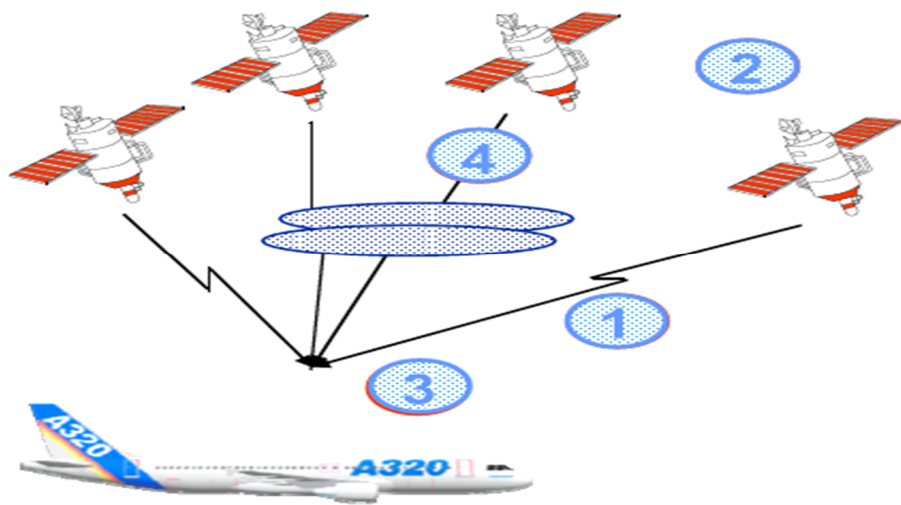


Figure 4.2 : Principe du GPS [1]

Le GLONASS russe est un système qui a été également offert à l'OACI par le Gouvernement de Fédération de Russie le 4 juin 1996 [14].

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

Les plans de développement ont prévu une constellation finale de 24 satellites en 2010 pouvant fournir une précision à 95% de 28m en horizontal et de 60m en vertical [15].

✓ **GALILEO :**

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

d'un récepteur adéquat de connaître leur position en temps réel, avec une précision à 95% de 4m dans le plan horizontal et de 8m dans le plan vertical [16].

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

➤ **L'Approche de l'Europe**

✓ **EGNOS:**

Le système européen de navigation EGNOS est un système chargé de la correction du GPS tout en assurant la couverture d'une zone centrée sur l'Europe. Il se compose de plusieurs charges utiles de navigation installées sur des satellites en orbite géostationnaire et d'un réseau terrestre comprenant un ensemble de stations de positionnement et plusieurs centres de contrôle. Ce système est opérationnel depuis le 1er octobre 2009.

Le système ESTB a pour but principal de rendre disponible en temps réel, grâce à des satellites géostationnaires de télécommunication, des corrections différentielles (troposphère, ionosphère) ainsi qu'une information d'intégrité [17]. Les signaux transmis par EGNOS sont semblables à ceux de GPS. Pour les utilisateurs, ces satellites apparaissent comme de satellites GPS supplémentaires.

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

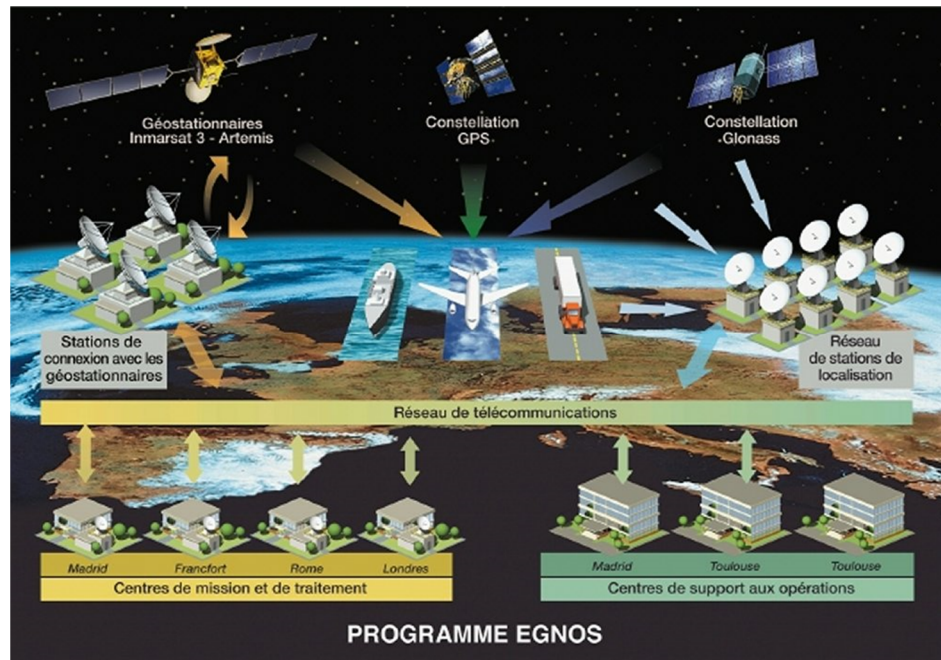


Figure 4.3 : Principe de fonctionnement d’EGNOS (2005)[17]

4.2.5. Principe de fonctionnement du GNSS

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

La position de l’utilisateur est calculée par trilatération 2 (processus de trouver le centre de l’intersection de trois sphères dans laquelle le point central et le rayon de chacun des trois sphères doivent être connus) à partir des mesures de distance séparant l’utilisateur des satellites en vue du récepteur.

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

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

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

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

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

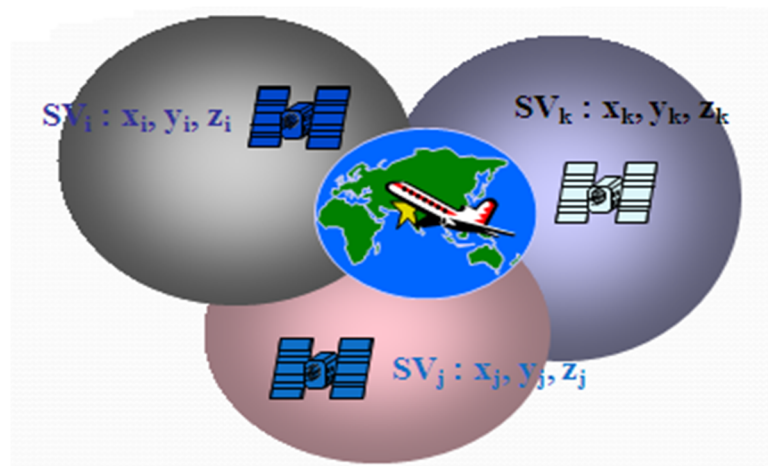


Figure 4.4: Détermination de la position par trois sphères [19]

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

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

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

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

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

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

Du fait de la perturbation induite par le décalage de l'horloge récepteur sur la mesure de distance et des différents termes d'erreur présentés ci-après, les mesures sont appelées 'pseudo-distances' [16].

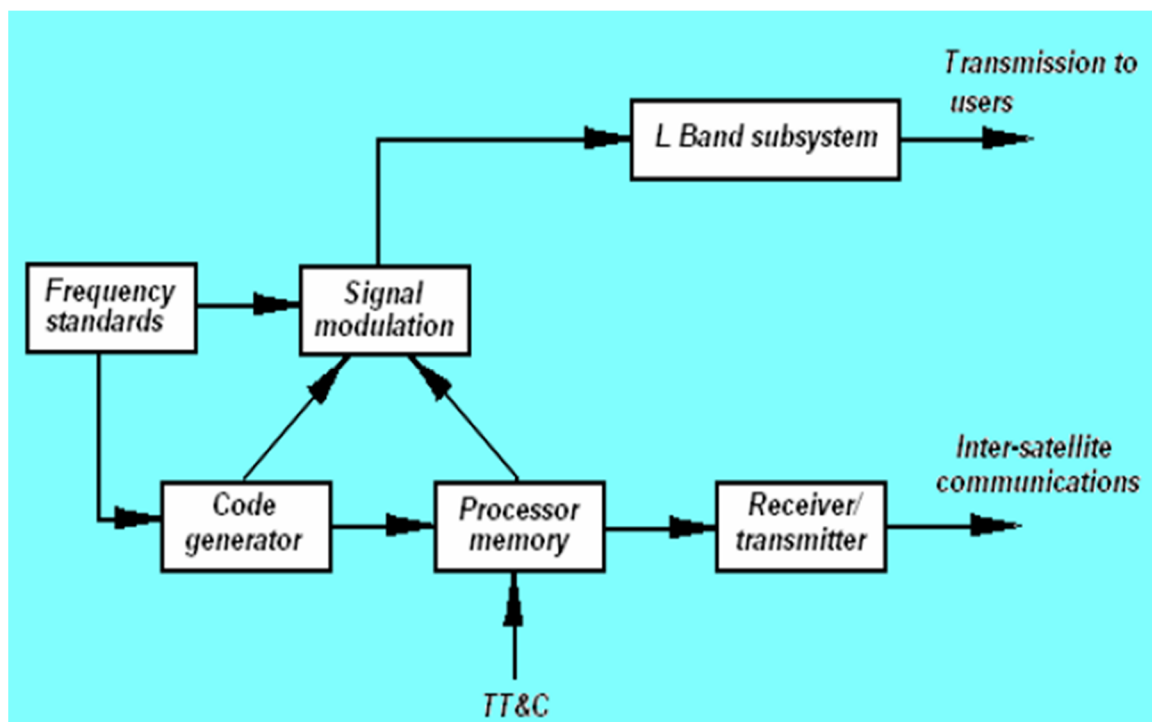


Figure 4.5 : Le Principe du système GNSS [18]

4.2.6. Le récepteur GNSS

Un récepteur GNSS est une combinaison de matériels et de logiciels capable de recevoir les signaux GNSS provenant de plusieurs satellites pour ensuite faire un traitement afin d'obtenir : une position utile, une vitesse, et des informations sur la synchronisation [20].

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

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

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

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

4.2.7. Opérations du GNSS

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

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

4.2.8. Equipements de bord

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

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

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

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

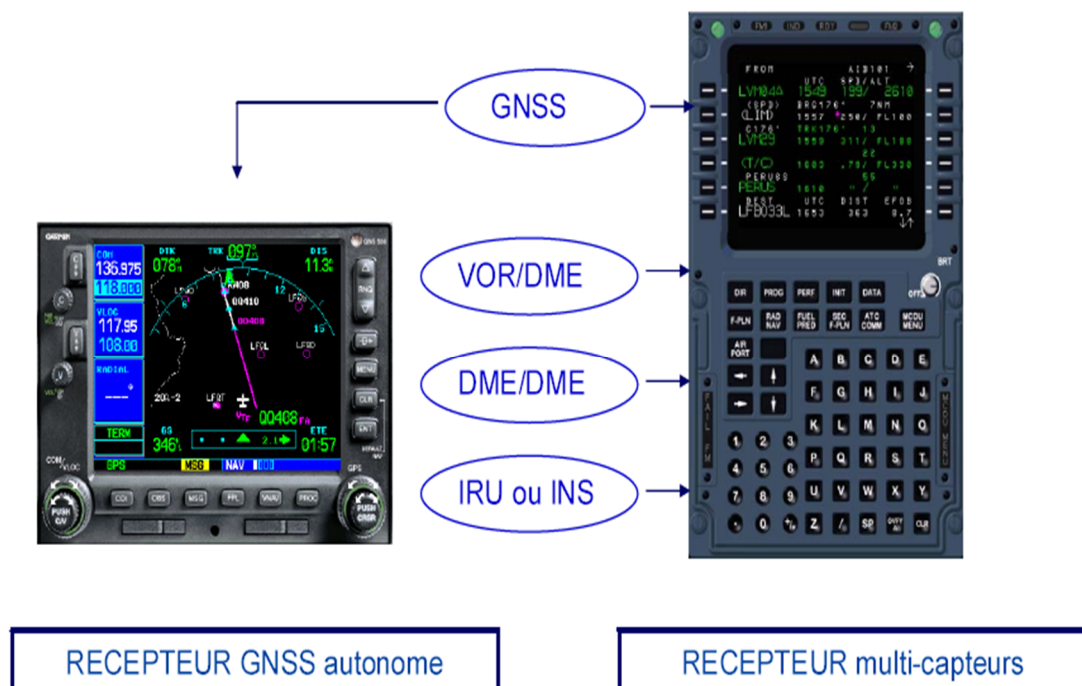


Figure 4.6: Récepteurs GNSS autonomes et multi-capteurs [1]

4.2.9. Critères de performance de navigation

Les systèmes de navigation sont caractérisés par leurs performances pour les applications souhaitées, principalement telles qu'elles sont définies dans l'annexe 10 de l'OACI: par les critères de précision, intégrité, disponibilité, continuité de service [12].

✓ **Précision**

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

✓ **Intégrité**

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

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

✓ **Disponibilité**

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

✓ **Continuité de service**

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

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

✓ **Couverture et disponibilité**

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

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

4.2.10. Critères de performance relatifs aux systèmes de navigation

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

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

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

4.2.11. Systèmes de renforcement

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

Le système de navigation par satellite unifié GNSS englobe l'ensemble des systèmes de navigation présentés ci-dessus ainsi que des infrastructures supplémentaires, appelées augmentations. Elles sont regroupées selon trois catégories [13]:

- ✓ systèmes de renforcement embarqués (ABAS) ;

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

4.2.11.1. Système de renforcement embarqué (ABAS)

L'ABAS est un système de contrôle situé dans l'avion et qui a pour but de centraliser les données des autres éléments du GNSS, ainsi que l'hybridation avec d'autres outils de navigation tels que les systèmes de navigation inertielle.

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

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

- ✓ **RAIM** : cette fonction de contrôle autonome de l'intégrité par le récepteur est mise en œuvre dans les récepteurs GNSS autonomes. Elle permet de vérifier l'état des signaux reçus de la constellation de satellites [5]. La fonction RAIM émet une alerte indiquant la possibilité d'une erreur de position inacceptable quand elle détecte une incohérence dans l'ensemble de mesures de distances transmises par les satellites utilisés. Cette fonction est indisponible lorsque le nombre de satellites reçus est insuffisant ou leur géométrie défavorable. Elle n'utilise pas les mesures d'autres senseurs. Certains systèmes utilisent les données barométriques dans le RAIM en vue de diminuer le nombre de satellites nécessaires pour assurer le contrôle d'intégrité.

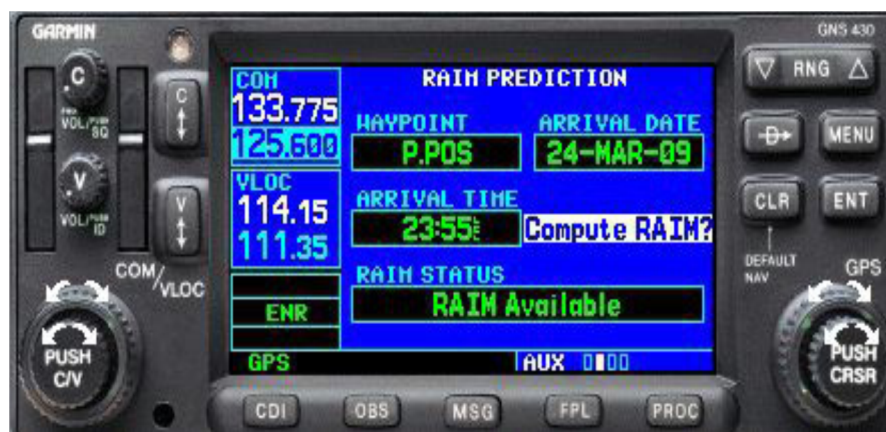


Figure 4.7: Récepteur RAIM [20]

- ✓ **AAIM** : l'algorithme AAIM est mis en œuvre dans les systèmes multi-senseurs. Il exploite les propriétés complémentaires du GNSS et d'autres senseurs de navigation (notamment les centrales à inertie) pour combiner leurs mesures et élaborer un contrôle d'intégrité plus performant [4].

Tableau 4.1 : Comparaison entre RAIM et AAIM

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

4.2.11.2. Système de renforcement par satellite (SBAS)

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

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

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

Les récepteurs SBAS permettent d'effectuer des approches de non précision RNAV(GNSS) avec généralement de meilleures performances, en particulier la disponibilité du contrôle d'intégrité, que les systèmes de bord de type ABAS [5].

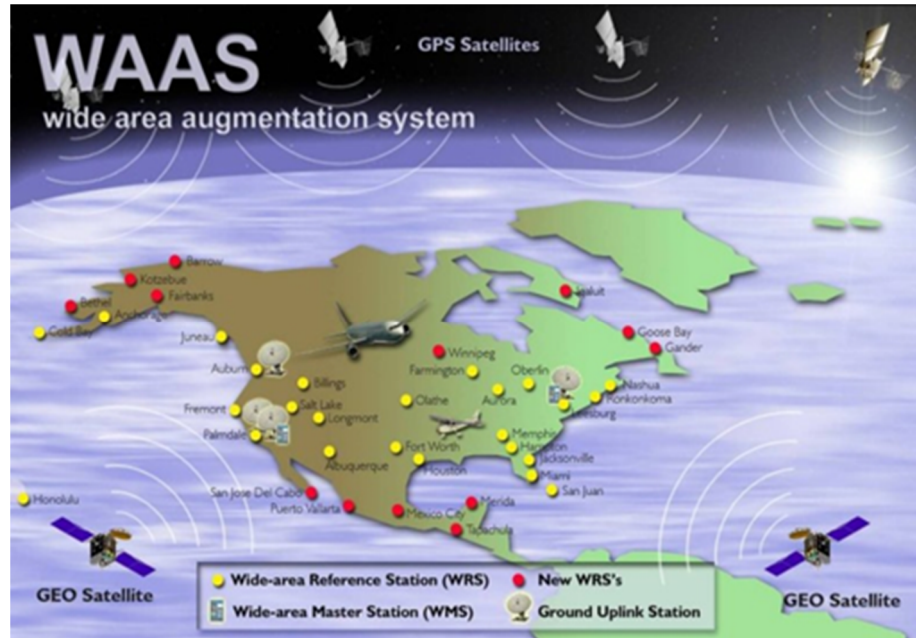


Figure 4.8 : Les augmentations SBAS-Exemple WAAS [21]

4.2.11.3. Système de renforcement par satellite (GBAS)

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

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

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

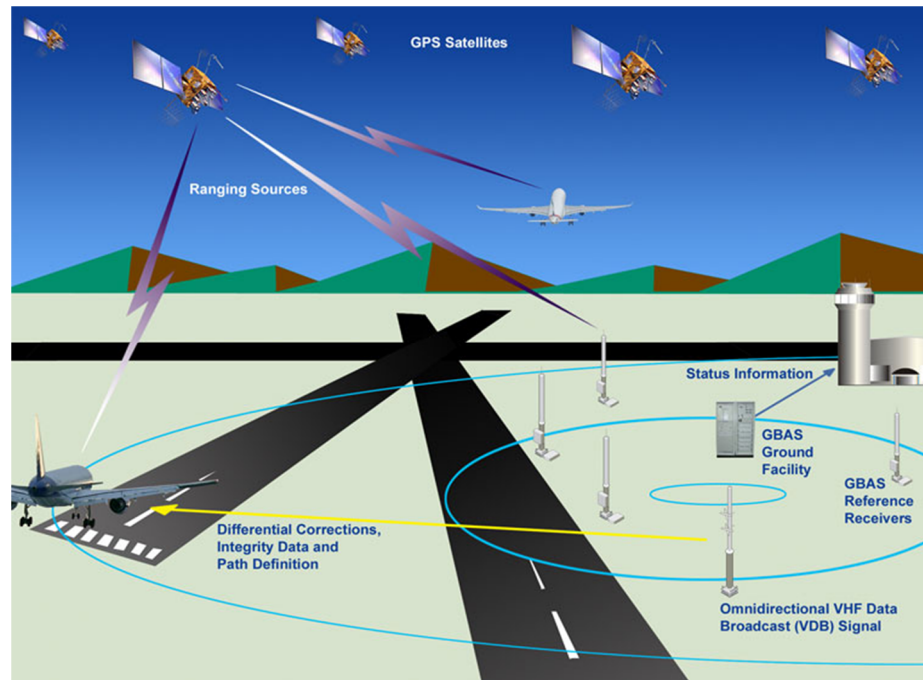


Figure 4.9: Les augmentations GBAS [21]

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

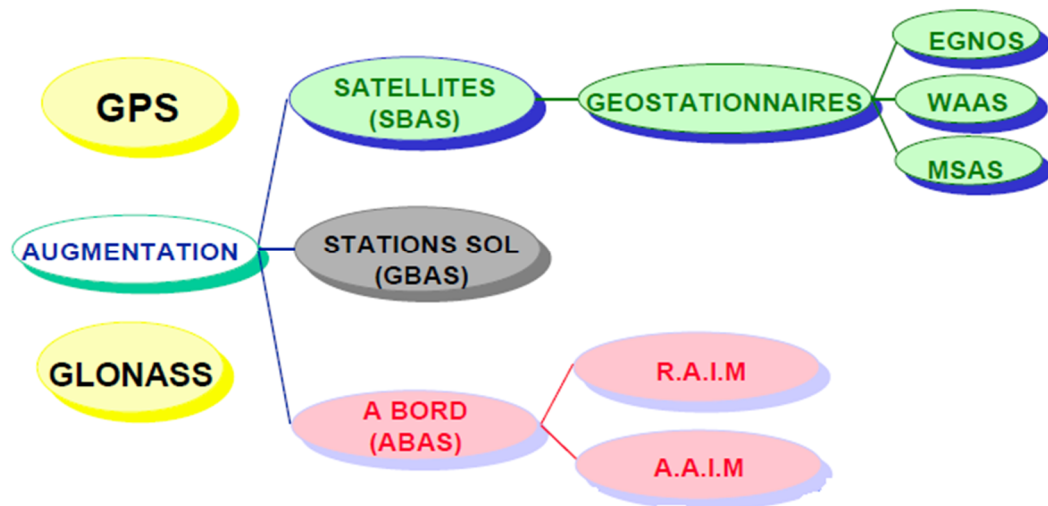


Figure 4.10 : Définition OACI du GNSS [21]

4.2.12. Types de NOTAM GNSS

Il existe deux types de NOTAMS GNSS [13]:

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

4.2.13. Avantages du GNSS

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

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

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

➤ **Avantages liés à la sécurité :**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2.13.1. Introduction

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

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

4.2.13.2. Considérations d'ordre général

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

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

4.2.13.3. Fonctionnalités évolutives

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

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

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

Cette phase autorisera:

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

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

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

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

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

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

➤ **Résumé de la stratégie GNSS AFI**

Tableau 4.2 : Stratégie GNSS AFI – Synopsis [22]

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

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

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

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

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

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

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

5.2.14. Conclusion

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

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

Section II :
Les procédures d'approches
'RNAV(GNSS)'

4.3. Procédures RNAV(GNSS)

4.3.1. Introduction

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

4.3.2 Historique

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

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

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

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

4.3.3. Types d'approches et critères opérationnels

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

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

- Les approches de précision.

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

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

Tableau4.5 : Critères opérationnels [9]

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

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

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

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

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

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

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

c) **APV SBAS – RNAV(GNSS) ‘LPV’**

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

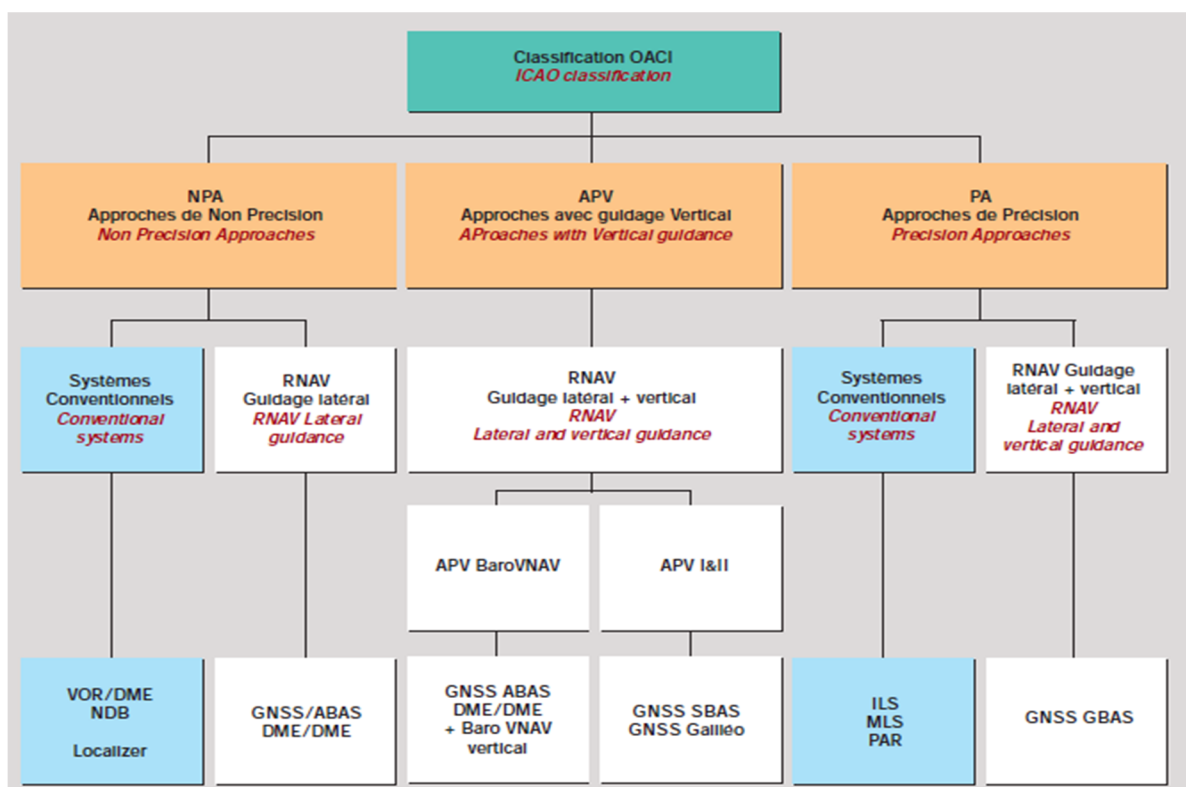


Figure 4.11 : Classification OACI des procédures d'approche [18]

4.3.4. Utilisation des procédures RNAV(GNSS)

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

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

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

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

➤ **Remarque**

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

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

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

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

4.3.5. Préparation de vol

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3.6.1. Stratégies de mise en œuvre

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

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

4.3.6.2. Identification des repères

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

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

4.3.7. Les conditions de mise en œuvre de procédures GNSS

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

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

✓ La définition de la réglementation.

2- Formation:

✓ Concepteurs procédures de vol ;

✓ Pilotes ;

✓ Contrôleurs ATC.

3- Elaboration des procédures de vol de type GNSS.

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

5- Publication des procédures GNSS par le SIA:

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

➤ **Remarque**

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

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

4.3.8. Publication de la carte d'approche

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

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

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

4.3.9. Certification des systèmes embarqués

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

4.3.10. Les avantages des procédures RNAV/GNSS

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

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

4.3.11. Conclusion

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

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

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

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

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

Section III :

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

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

4.4.1. Introduction

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

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

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

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

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

4.4.3. Concept général

4.4.3.1. Généralités

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

4.4.3.2. Région d'interception

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

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

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

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

Le segment initial central peut commencer à l'IF.

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

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

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

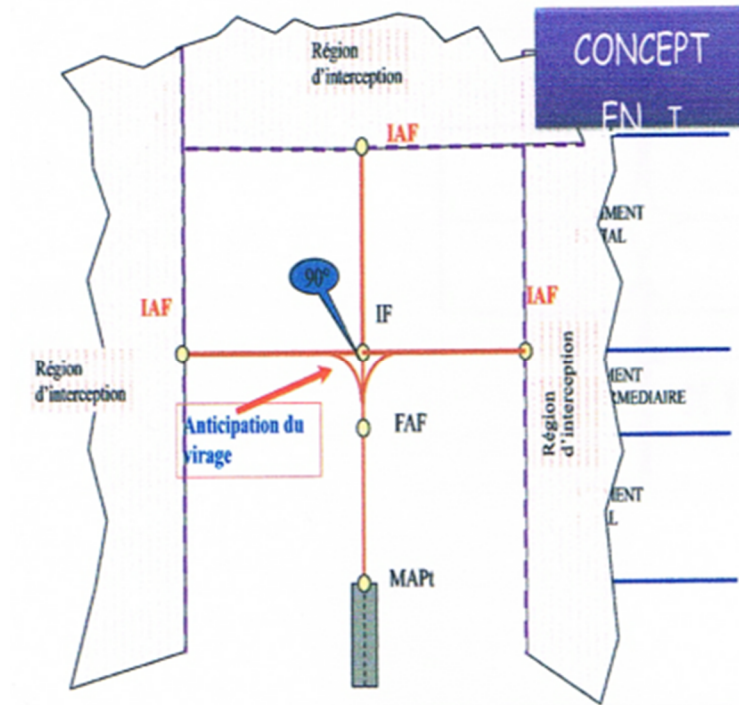


Figure 4.12 : Configuration générale des procédures d'approche RNAV(GNSS) en T [6]

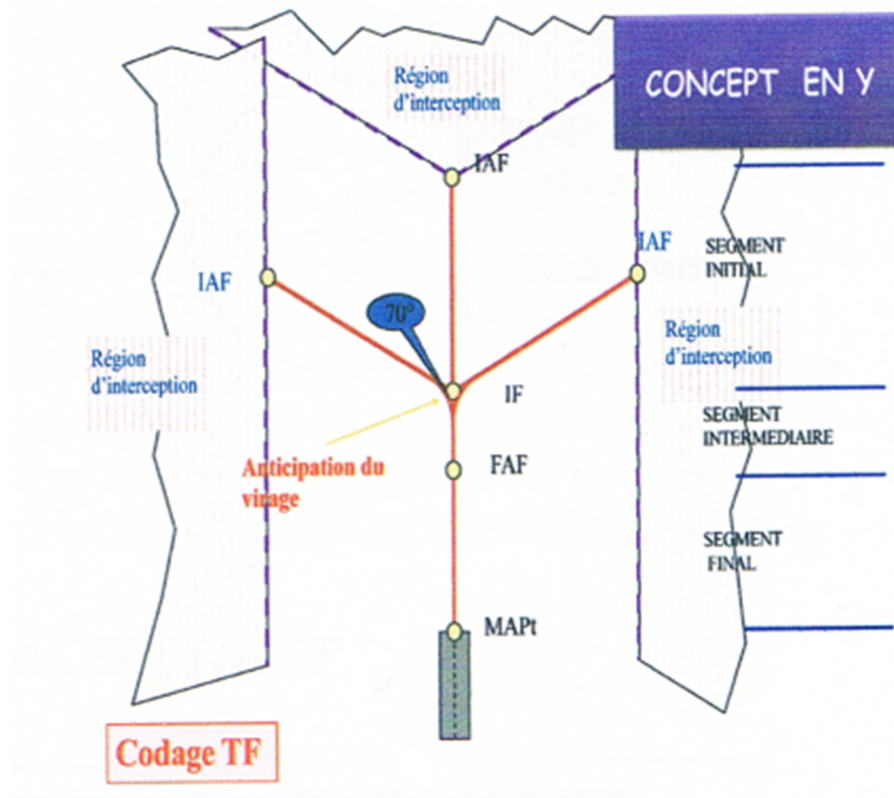


Figure 4.13 : Configuration générale des procédures d'approche RNAV(GNSS) en Y [6]

4.4.4. Attente protégée RNAV/GNSS

Différentes attentes RNAV/GNSS peuvent être publiées comme suit:

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

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

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

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

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

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

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

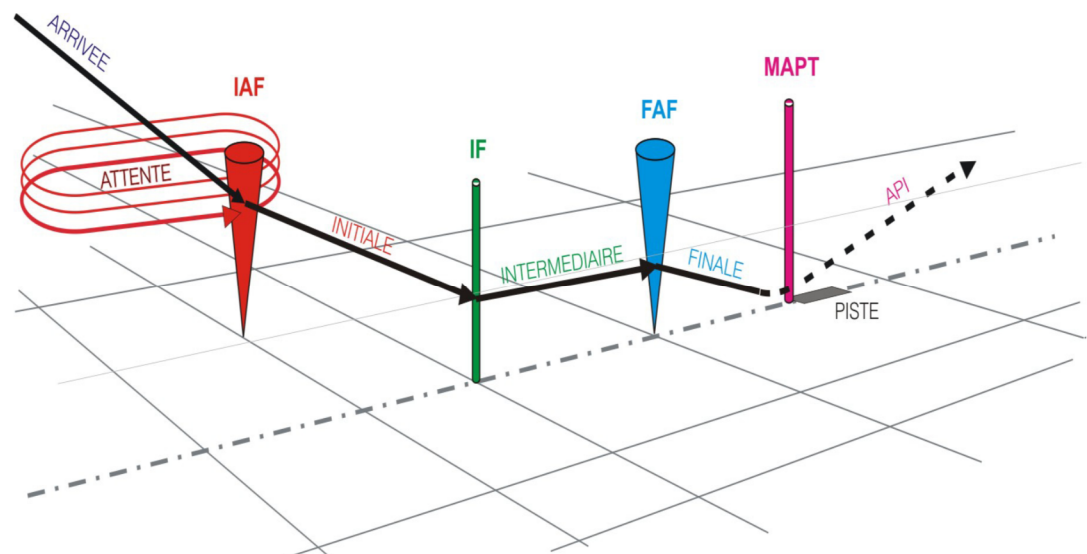


Figure 4.14 : Les différents segments d'une procédure d'approche aux instruments [10]

4.4.5.1. Segment d'arrivée

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

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

- Fin : IAF.

4.4.5.2. Segment d'approche initiale

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

- Début : IAF ;
- Fin : IF.

4.4.5.2.1. Alignement

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

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

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

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

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

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

(Voir Figure 4.16)

4.4.5.2.2. Longueur

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

4.4.5.2.3. Pente de descente

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

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

4.4.5.2.4. Calcul de la distance de trajectoire (TRD)

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

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

Où :

θ_1 = angle de virage (en degrés) au début du segment ;

θ_2 = angle de virage (en degrés) à la fin du segment ;

r = rayon de virage pour une inclinaison latérale de 25° .

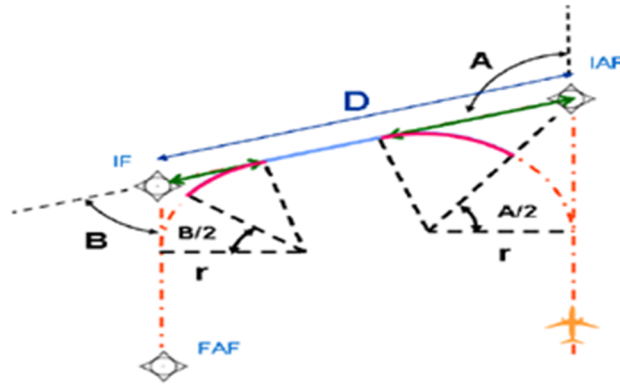


Figure 4.15 : Calcul de la distance de trajectoire (TRD) [1]

4.4.5.2.5. Segments d'approche initiale les plus courts

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

4.4.5.2.6 Altitude d'entrée dans la procédure

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

4.4.5.2.7. Procédures d'inversion

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

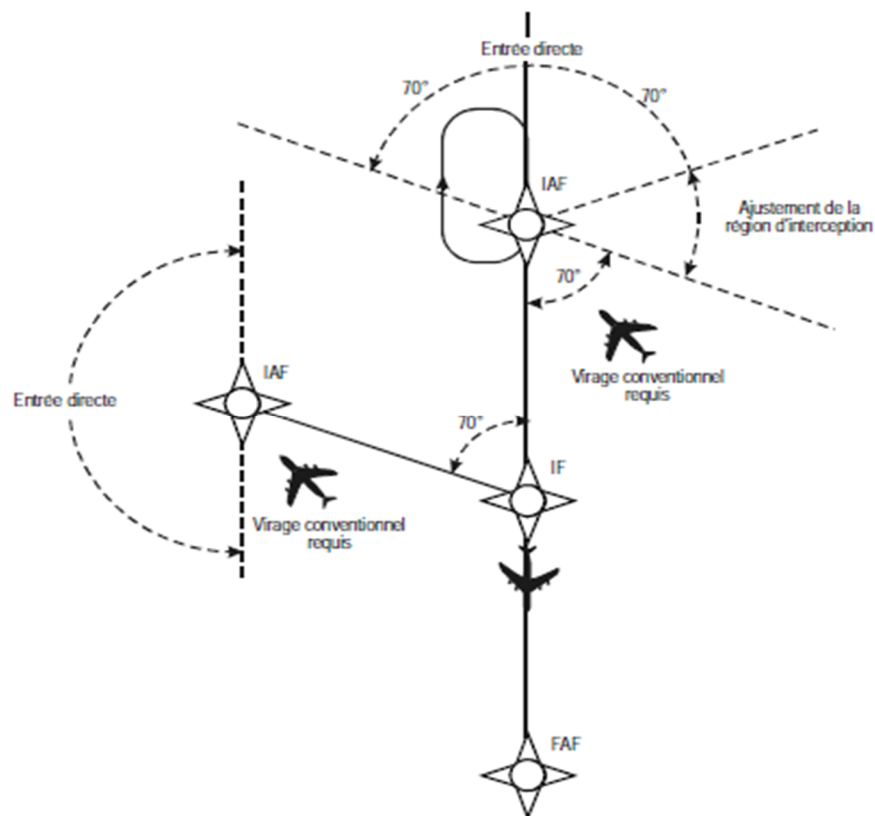


Figure 4.16 : Procédures d'inversion lorsque le décalage initial n'est pas prévu [9]

4.4.5.2.8. Attente

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

4.4.5.3. Segment d'approche intermédiaire

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

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

4.4.5.3.1. Alignement

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

4.4.5.3.2. Longueur

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

4.4.5.3.3. Pente de descente

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

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

4.4.5.4. Segment d'approche finale

La descente en vue de l'atterrissage.

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

4.4.5.4.1. Alignement

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

4.4.5.4.2. Longueur

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

4.4.5.4.3. Pente de descente

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

4.4.5.5. Segment d'approche interrompue

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

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

4.4.5.5.1. Point d'approche interrompue

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

4.4.5.5.2. Emplacement du MAPt

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

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

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

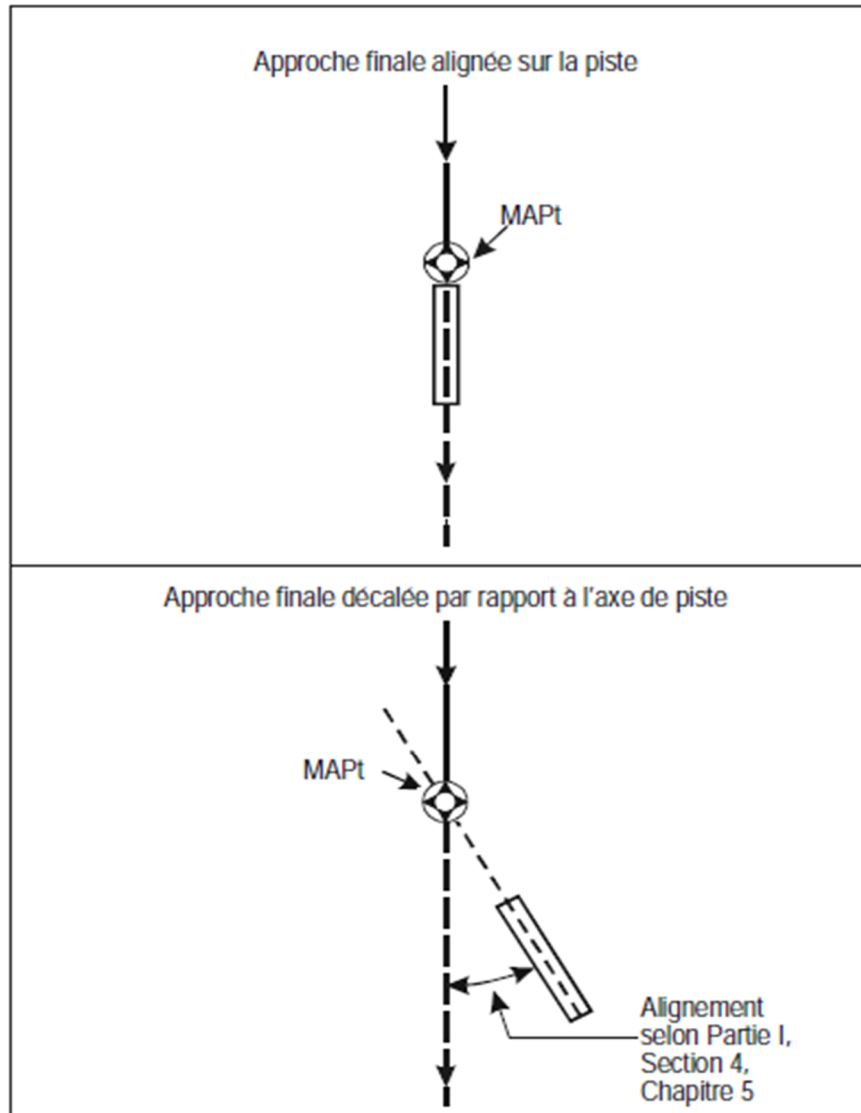


Figure 4.17 : Emplacement du MAPt[9]

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

4.4.6.1. Généralités

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

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

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

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

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

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

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

4.4.6.2. Construction

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

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

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

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

- l'emplacement de l'IAF avec son indicatif ;
- l'emplacement du repère intermédiaire (IF) ;
- les limites latérales (arc de cercle avec son rayon et son centre, et les segments avec leur orientation) ;
- l'altitude minimale ;
- éventuellement une sectorisation (sous-secteurs et arcs de palier de descente).

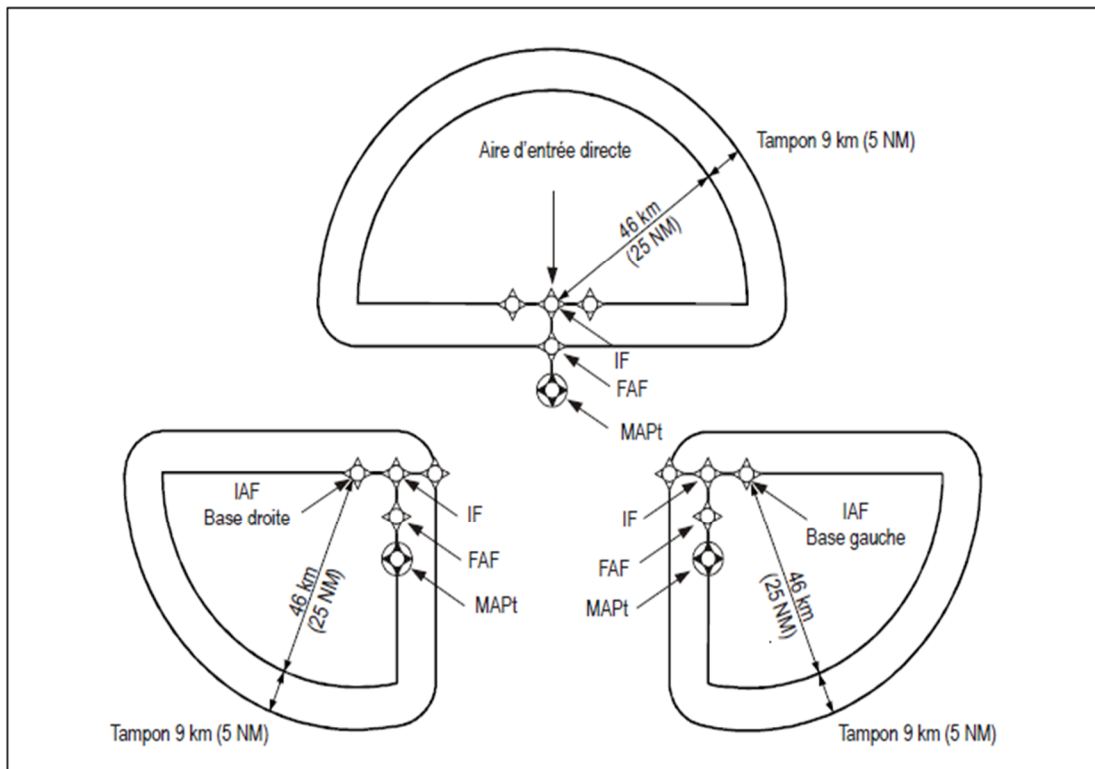


Figure 4.18 : Configuration de TAA en T[9]

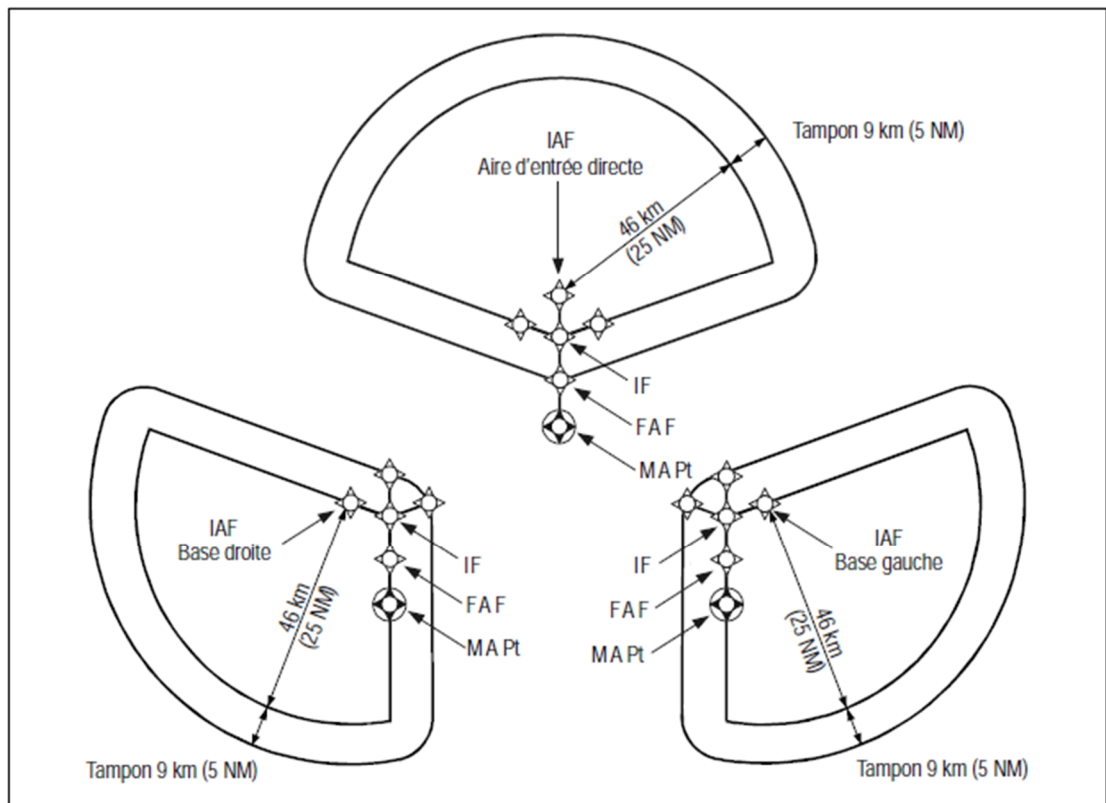


Figure 4.19 : Configuration de TAA en Y [9]

Une aire de TAA a deux finalités :

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

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

4.4.6.3. Zone tampon

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

➤ **Remarque**

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

4.4.7. Conclusion

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

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

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