
GUIDE SUR L'UTILISATION DU GPS EN VFR

1 - Introduction

Pour l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), le système de navigation par satellites (**GNSS** : Global Navigation Satellite System) est le 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. L'OACI a défini le concept GNSS à partir de deux constellations de base, le système **GPS** (Global Positioning System) et le système **GLONASS** (GLobal Orbiting NAVigation Satellite System).

Le GPS américain a été développé par le Département de la Défense (DoD) des Etats-Unis, déclaré opérationnel le 8 décembre 1993, et le Service de Positionnement Standard (SPS) a été mis à la disposition des usagers de l'aviation civile selon les conditions précisées dans la lettre du 14 octobre 1994 adressée par la FAA (Federal Aviation Administration) à l'OACI. Compte tenu de l'engagement envers l'OACI, les Etats-Unis doivent prendre toutes les mesures nécessaires pour conserver les caractéristiques normalisées dans l'Annexe 10 (Télécommunication aéronautiques, Volume I) à la convention de Chicago et en particulier doivent donner un préavis d'au moins 6 ans avant qu'il ne soit mis fin au fonctionnement du GPS, ou que le GPS-SPS ne soit modifié.

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. Après avoir été très réduit jusqu'à une date assez récente, le nombre de satellites disponibles augmente à nouveau. Il est cependant difficile de trouver aujourd'hui un récepteur correspondant à ce système sur le marché.

2 - Présentation du système de navigation par satellites GPS

2.1 - Principe de fonctionnement du système GPS

Le système GPS est basé sur une constellation nominale de 24 satellites garantissant une bonne couverture, mais aujourd'hui, cette constellation en comprend une trentaine. Ces satellites tournent en orbite à 20200 km au-dessus de la surface terrestre. Chaque satellite diffuse des informations permettant de :

- déterminer la distance entre le satellite et le récepteur par mesure du temps de propagation du signal,
- connaître les orbites précises et l'état de chacun des satellites de la constellation.

A partir de ces informations, le récepteur GPS peut calculer sa position et fournir l'heure.

Au minimum quatre satellites GPS en visibilité sont nécessaires pour calculer une position en 3 dimensions (latitude, longitude, altitude).

L'OACI a recommandé l'adoption du référentiel de positionnement terrestre WGS84 (World Geodetic System 1984) comme standard mondial GNSS dès 1998, système définissant un ellipsoïde lié à la terre et permettant de modéliser la forme de la surface terrestre.

Les cartes aéronautiques utilisent le WGS84 comme référence géodésique, mais les altitudes indiquées ont pour référence le géoïde [correspondant au niveau moyen des mers (MSL : Mean Sea Level)].

Dans le domaine de l'aviation civile, les altitudes et niveaux de vol sont définis par la pression atmosphérique, c'est pourquoi, l'information d'altitude donnée par le récepteur GPS utilisé en VFR ne doit pas être utilisée dans le contexte aéronautique.

Les cartes d'aérodrome du SIA référencées WGS84 comportent la valeur de l'ondulation du géoïde (GUND : Geoid UNDulation), différence de hauteur en un point entre le géoïde et l'ellipsoïde, de valeur moyenne 150 pieds en France. Cette valeur permet d'être conforme à l'annexe 4 de l'OACI, mais compte-tenu de ce qui précède, n'a aucun caractère opérationnel.

2.2 - Précision du système

Depuis le 2 mai 2000, les Etats-Unis ont décidé de ne plus utiliser la "Selective Availability" (**SA**) ce qui permet aux usagers civils d'obtenir ainsi une meilleure précision, et depuis le 19 septembre 2007, ils ont déclaré l'avoir supprimée. Les niveaux minimum de performance du GPS évoluent avec le temps et sont décrits dans le document « GPS Standard Positioning Service (SPS) Performance Standard (PS) ». La quatrième version de ce document a été publiée en Septembre 2008 et précise que, à 95%, les ordres de grandeur des erreurs de position horizontale et verticale sont respectivement de 9 m et de 50 ft.

Certains équipements indiquent le DOP (Dilution Of Precision), facteur de précision de la position prenant en compte la géométrie des constellations : plus le chiffre est proche de 1, plus la précision est proche de la précision optimale.

2.3 - Intégrité

On appelle intégrité la capacité du système à fournir une alarme au pilote lorsque le système de navigation ne peut plus être utilisé avec la performance requise.

Le système GPS n'ayant pas été initialement conçu pour un usage aviation civile, il ne dispose pas en lui-même d'un système de vérification d'intégrité compatible avec les besoins de la navigation aérienne civile. En conséquence, un ou plusieurs satellites peuvent transmettre un signal erroné pendant une durée significative (pouvant dépasser 45 minutes). Dans ce cas, la position peut être fautive sans que l'utilisateur en soit averti et la valeur de l'erreur peut atteindre plusieurs dizaines de milles marins.

L'OACI a standardisé plusieurs techniques pour fournir un service d'intégrité aux usagers aéronautiques :

- l'**ABAS** (Airborne Based Augmentation System) : consiste à utiliser un service d'intégrité interne au système de navigation de bord [très souvent appelé RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)];
- le **SBAS** (Satellite-Based Augmentation System) : consiste à utiliser en complément au GPS des satellites géostationnaires qui diffusent en temps réel sur tout un continent une information d'intégrité sur la constellation ainsi que des corrections sur les signaux GPS permettant d'améliorer la précision:
 - WAAS (Wide Area Augmentation System) opérationnel sur l'Amérique du Nord avec fin 2009 plus de 1500 approches aux instruments certifiées disposant d'un guidage vertical de performance très proche de celui d'un ILS de catégorie I (la FAA développe 500 nouvelles approches de ce type par an);
 - EGNOS (European Geostationary Overlay Service) en Europe, dont le service ouvert, utilisable par les récepteurs grand public, rayonne déjà depuis plusieurs années. Le service sécurité de la vie d'EGNOS permettant des approches de précision de même nature que celles déjà effectuées aux USA actuellement, sera disponible en 2010 ;
 - MSAS (Multifunctional Satellite Augmentation System) au Japon ;
- le **GBAS** (Ground-Based Augmentation System) : le GBAS requiert une station sol sur un aéroport par exemple pour délivrer des approches de catégorie I sur cet aéroport ; la connaissance exacte de sa position permet à la station d'évaluer l'erreur de mesure pour chaque satellite en visibilité. Dans un rayon d'une vingtaine de nautiques autour de la station, cette dernière transmet aux utilisateurs les corrections nécessaires afin d'améliorer la précision de leur position.

En l'attente de compléments civils au système GPS, à couverture continentale de type SBAS, ou bien à couverture locale de type GBAS, la détermination de l'intégrité du signal doit être effectuée à bord de l'aéronef :

- soit par l'équipement GPS lui-même en utilisant la redondance des signaux GPS (ABAS basé sur des techniques de type RAIM).

Note : le principe de base de la fonction RAIM repose sur un calcul de cohérence entre plusieurs positions basées sur des observations de satellites différents. Cette comparaison nécessite la visibilité d'un nombre de satellites, avec une géométrie et une élévation suffisantes, supérieur à 4.

- soit, dans le cas d'un vol en VFR de jour en vue du sol ou de l'eau, en contrôlant sa position par repérage visuel.

2.4 - Disponibilité

La disponibilité du positionnement GPS en VFR, compte-tenu du nombre de satellites disponibles et de leur géométrie est proche de 100% sur la majeure partie du monde avec une constellation de 24 satellites.

Les indisponibilités de satellites ou de la fonction RAIM sont notamment accessibles par « Olivia », soit sur internet à l'adresse <http://olivia.aviation-civile.gouv.fr> soit par des bornes sur certains aérodromes dont la liste est publiée notamment dans l'atlas VAC (partie GEN) et régulièrement mise à jour par le SIA, ou bien par le site « Augur » d'Eurocontrol sur internet à l'adresse <http://augur.ecacnav.com>.

NB : le site du SIA, à l'adresse, <http://www.sia.aviation-civile.gouv.fr> permet d'accéder à « Olivia » et à « Augur ».

3 – Approbation du système GPS à bord

On appelle **équipement de bord** un équipement qui, lors du vol, est solidaire de l'aéronef. Pour que la navigabilité de l'aéronef soit assurée, il est nécessaire que l'aéronef soit certifié et que toutes les modifications soient approuvées.

Toute installation d'un équipement GPS de bord doit donc être approuvée (conformément à la réglementation AESA en vigueur). Les exigences de performance et de fonctionnalité du système installé dépendent du type d'utilisation : IFR Zone océanique, En-Route continental, approche, etc.

La DGAC a publié une note qui traite en plus de l'IFR des approbations des systèmes GPS pour le VFR (note technique SFACT/N.ST/AVI N°01 Ed 02 du 30 juillet 2002) et fait référence aux textes interprétatifs édictés par l'AESA (TGL, AMC). On peut citer notamment les AMC 20-4 (BRNAV), AMC 20-5 (airworthiness approval and operational criteria for the use of GPS), TGL 10 ou AMC 20-16 (PRNAV). Il faut toutefois noter que ces AMC traitent exclusivement de la navigation en IFR. De plus ces documents sont basés essentiellement sur l'AC 20-138 de la FAA.

4 – Rappel des différents types de récepteurs GPS

a) Equipement de type IFR: classe A (E/TSO C 129) ou Classe Gamma (E/TSO C146).

Cette classe correspond à un équipement possédant la partie calcul de navigation en plus de la partie réception GNSS ; elle possède la fonction RAIM ou FDE (Fault Detection with Exclusion).

b) Equipement de type IFR : classe B ou C (E/TSO C129) ou classe Beta (E/TSO C145).

Cette classe correspond à un senseur GNSS envoyant des informations vers un système de navigation intégré (système multi-senseur). On ne trouve donc pratiquement pas d'équipements de cette classe sur les avions légers.

c) Equipement de type VFR (ne correspondant pas aux différentes classes d'équipements décrites ci-dessus) : ce type d'équipement possède la partie calcul de navigation en plus de la partie réception GPS, la fonction RAIM n'est pas obligatoire.

Les limitations d'utilisation concernant Les différents types d'équipement ci-dessus se trouvent dans le supplément au manuel de vol et/ou dans le guide de l'utilisateur (« pilot's guide ») de l'équipement.

d) GPS portable

Ce type d'équipement ne correspond pas à la définition d'un équipement de bord et n'est donc pas approuvé au sens strict de la réglementation. Des précautions d'utilisation concernant ce type d'équipement sont décrites dans le paragraphe 5-3.

5 - Utilisation du GPS en VFR

Les conditions de certification du GPS en VFR sont définies dans la note technique n°01 du SFACT/N.ST/AVI (disponible sur le CDROM « FAST » édité par le Groupement pour la Sécurité de l'Aviation Civile (GSAC)).

5-1 - Utilisation d'un GPS certifié pour une utilisation VFR en vue du sol et de l'eau

L'installation à bord d'un tel GPS comporte l'apposition, sur le tableau de bord, à proximité du dispositif indicateur, d'une étiquette comportant l'inscription:

" GPS utilisable en VFR de jour et en vue du sol ou de l'eau uniquement ".

Un GPS de ce type ne répond pas aux exigences de l'arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale, paragraphes 2.6.2 (VFR de jour sans vue du sol et de l'eau) et 2.6.3 (VFR de nuit).

Lorsqu'il utilise l'information fournie par un équipement GPS de ce type, il appartient au pilote de vérifier sa navigation par repérage visuel du sol ou par comparaison avec les informations fournies par un autre équipement de navigation certifié pour s'assurer de la fiabilité de la position fournie par le GPS, du fait que ce dernier ne dispose pas forcément de la fonction RAIM.

5-2 - Utilisation d'un GPS certifié pour une utilisation VFR

Cet équipement peut être utilisé :

- pour les vols VFR de jour, sans contact visuel du sol ou de l'eau,
- pour les vols VFR de nuit.

L'installation à bord d'un tel GPS comporte l'apposition, sur le tableau de bord, à proximité du dispositif indicateur, d'une étiquette comportant l'inscription:

« GPS utilisable en VFR uniquement ».

En cas de perte momentanée de la fonction RAIM, l'équipement GPS continue à fournir les éléments de navigation tant qu'il reçoit au moins quatre satellites, en revanche l'intégrité ne permet plus de se fier à l'information. Le vol doit donc être poursuivi soit en utilisant l'autre moyen de radionavigation s'il existe, soit à l'estime en vérifiant la navigation par référence visuelle du sol dès que les conditions le permettent.

5-3 - Utilisation d'un GPS certifié pour une utilisation IFR

Cet équipement peut être utilisé :

- pour les vols VFR de jour, sans contact visuel du sol ou de l'eau,
- pour les vols VFR de nuit.

En cas de perte momentanée de la fonction RAIM, l'équipement GPS continue à fournir les éléments de navigation tant qu'il reçoit au moins quatre satellites, en revanche l'intégrité ne permet plus de se fier à l'information. Le vol doit donc être poursuivi soit en utilisant l'autre moyen de radionavigation s'il existe, soit à l'estime en vérifiant la navigation par référence visuelle du sol dès que les conditions le permettent.

5-4 - Utilisation de systèmes GPS portables

Certains pilotes utilisent parfois des systèmes GPS portables. Ces systèmes n'ont fait l'objet d'aucune vérification de conformité par rapport aux règlements aéronautiques en vigueur. En conséquence :

LES PILOTES SONT AVISES QUE L'UTILISATION DE TELS SYSTEMES EST FAITE SOUS LEUR ENTIERE RESPONSABILITE

Par ailleurs, le fonctionnement de ces GPS peut être à l'origine de perturbations (par rayonnement ou par conduction électromagnétique), susceptibles de provoquer des erreurs:

- dans les indications du compas,
- dans les informations de navigation disponibles réglementairement à bord (VOR, ADF; DME, etc...)

De plus, le fonctionnement d'un GPS portable peut perturber l'alimentation électrique si ce récepteur est connecté au réseau électrique de bord ; des protections devront être mises en place sur cette alimentation (fusible), sinon l'usage de la batterie interne du GPS est recommandé.

En cas de constatation de la moindre perturbation sur le compas, les équipements de radiocommunication et radionavigation ou l'alimentation électrique, le GPS portable doit être arrêté.

6 - Bases de données

La plupart des GPS disposent d'une base de données. La mise à jour de ces bases de données pour des équipements utilisés en IFR s'effectue réglementairement tous les 28 jours (cycle AIRAC). En VFR quelque soit le type d'équipement utilisé, il est admis que la base de données puisse ne pas suivre ce cycle. Il appartient alors au pilote de vérifier l'exactitude des informations en mémoire dont il risque d'avoir l'usage au cours de son vol par référence à une documentation à jour. Il est recommandé que la base de données soit remise à jour le plus régulièrement possible, pour limiter la tâche de vérification avant chaque vol : 3 ans semble une bonne périodicité.

Pour une utilisation en VFR, le pilote peut introduire ses points de cheminement (WPT), notamment les WPT VFR aux abords des aérodromes, qui ne sont pas disponibles dans la base de données fournie. L'attention des utilisateurs de ce type de mémoire est attirée sur le risque d'erreurs lors de la saisie des données ; une vérification des coordonnées du WPT par une position relative d'une autre position sûre et de la cohérence des éléments de navigation fournis par le calculateur entre deux WPT est indispensable.

Pour faciliter la tâche des utilisateurs, le Service de l'Information Aéronautique publie, dans la documentation aéronautique, les radiales ou relèvements magnétiques/distances des WPT VFR par rapport à un moyen radioélectrique (cartes VAC pour les itinéraires d'entrée et de sortie des CTR et le complément aux cartes aéronautiques pour les itinéraires de transit publiés sur les cartes aéronautiques au 1/1 000 000ème et 1/500 000ème).

Afin de faciliter la vérification des informations mises en mémoire manuellement avant chaque vol, il est recommandé d'harmoniser l'identification des WPT publiés sur les itinéraires VFR dans les CTR en utilisant les deux dernières lettres de l'indicateur d'emplacement de l'aérodrome suivies de l'identification du WPT VFR (une à trois lettres).

L'attention des usagers est également appelée sur le fait qu'il y a risque de confusion entre WPT. Lors de l'introduction de tel point par l'utilisateur, il est fortement recommandé de **vérifier ce WPT avant de confirmer** son insertion dans une route (coordonnées géographiques ou position relative à un moyen de radionavigation). Si l'identification existe déjà, donner à ce nouveau point une identification différente.

7 - RECOMMANDATIONS

Une étude du Bureau d'Enquête et d'Analyse sur le retour d'expérience d'événements GPS dans l'aviation légère de 1995 à 2004 (disponible sur le site web du BEA), ainsi que les informations ci-dessus, permettent de lister les règles d'or d'utilisation du GPS en VFR :

- avant toute utilisation programmée d'un récepteur GPS, le pilote doit s'assurer d'en connaître les fonctions essentielles :

- pour toute utilisation, permettant d'afficher les unités (SET ou autre);
- pour toute utilisation, permettant de naviguer (NAV ou autre) et d'afficher au minimum l'IHM semblable à celle du VOR ;
- pour une utilisation basique, permettant d'afficher par un seul appui de l'index sur la touche NRST (ou autre) la liste d'une petite dizaine d'aérodromes les plus proches de la position de l'avion et de se diriger vers un de ces aérodromes (GO TO ou autre)
- pour une utilisation un peu plus « avancée », un plan de vol (PLN, FPL ou autre) ;
- NOTER QUE D'UN RECEPTEUR A L'AUTRE, LA DENOMINATION D'UNE FONCTION PEUT VARIER, QUE L'UTILISATION DE LA FONCTION « GO TO » EST CHRONOPHAGE, QUE TOUTE INFORMATION ENTREE MANUELLEMENT DANS LE RECEPTEUR DOIT ETRE CONTRE-VERIFIEE ;

En effet, la conception des récepteurs de GPS diffère d'une marque à l'autre, d'un type à l'autre, d'un modèle à l'autre, en conséquence, avant tout vol, le pilote doit avoir pris connaissance de l'additif au manuel de vol concernant le GPS et avoir une parfaite connaissance du manuel d'utilisation de son équipement (user manual ou pilot's guide) ;

- préparation du vol à long terme : comme pour tout vol utilisant les règles de vol à vue, le pilote doit à l'aide des cartes aéronautiques disponibles (millionième et cinq cent millième) réaliser une première étude de la route, mesurer les difficultés que pourrait présenter la navigation, évaluer les difficultés qui pourraient se présenter, déterminer les altitudes de sécurité, les aides de radionavigation disponibles en fonction des altitudes de vol prévues, son autonomie, etc LA REDACTION D'UN JOURNAL DE NAVIGATION EST RECOMMANDEE;

- préparation du vol à court terme :

- avant le départ, le pilote étudie notamment les conditions météorologiques et les conséquences qu'elles pourraient avoir sur le déroulement du vol, il est conseillé d'étudier les NOTAM spécifiques au GPS (route étroite du site web SIA et/ou Augur du site web d'Eurocontrol) ;
- avant le départ, le pilote vérifie les réglages d'unités, dans le cas où le pilote connaît bien l'utilisation de la fonction plan de vol, il lui est recommandé de rentrer sa route prévue en tenant compte des conditions météorologiques les plus défavorables, il lui sera ainsi facile par des GO TO de raccourcir sa trajectoire s'il le désire ;

- réalisation du vol : le pilote doit conduire son vol de façon méthodique et vérifier sa navigation avec l'ensemble des moyens à disposition.

- dans le cas d'un GPS de bord IFR (classe A ou gamma la plus probable sur avions légers, que le GPS soit moyen primaire ou supplémentaire de navigation, la route suivie devrait être confirmée régulièrement par d'autres moyens de radionavigation et/ou des repères sol si l'équipement de bord ou les conditions météorologiques le permettent ;
- dans le cas d'un GPS de type VFR (ne correspondant pas aux différentes classes d'équipements ci-dessus, la route DOIT être confirmée régulièrement par d'autres moyens de radionavigation lorsque disponibles et/ou des repères sol;
- dans le cas d'un GPS portable, il est fortement recommandé que le pilote choisisse comme méthode de navigation l'estime contrôlée par d'autres moyens de radionavigation lorsque disponibles, confortée par des données GPS. Il est rappelé que L'UTILISATION DE TELS SYSTEMES GPS EST FAITE SOUS L'ENTIERE RESPONSABILITE DU PILOTE.

- en conclusion, le GPS ne dispense pas de la préparation du vol dont la qualité minimisera les saisies et manipulations en vol, le GPS ne se substitue pas à une conduite classique du vol et le suivi de la navigation reste nécessaire, le GPS est un équipement au même titre qu'un VOR ou une montre, il peut donc tomber en panne, il est recommandé de s'entraîner régulièrement avec et sans moyen GPS. Enfin, il est rappelé que le principe de l'anti-collision en VFR est de « VOIR et EVITER », l'utilisation faite du GPS en VFR doit donc permettre la pleine application de cette règle fondamentale.

8- EVOLUTIONS

Depuis sa mise en service, le **GPS** a évolué : en 2000 la dégradation volontaire du signal a été supprimée, le nombre de satellites est passé du nombre nominal de 24 à une trentaine afin d'augmenter la disponibilité du signal, les satellites actuels (génération IIR) vont être remplacés par des satellites de nouvelle génération IIF qui émettront un signal à destination des usagers aéronautiques sur une fréquence supplémentaire, ce qui permettra, à plus long terme, vers 2020, d'améliorer le calcul de la position et de réduire les risques de blocage de la réception par des interférences radioélectriques non intentionnelles. Néanmoins, ces nouveaux satellites nécessiteront toujours des moyens de renforcement pour assurer le niveau d'intégrité requis pour des applications critiques comme l'approche et l'atterrissage : ABAS, SBAS ou GBAS.

Le programme **Galileo** a été décidé en 1999 par l'Union Européenne, l'objectif étant de doter l'Europe d'un système de positionnement et de datation européen autonome, de couverture mondiale, précis et robuste, fournissant un message d'intégrité, restant compatible et interopérable avec les systèmes existants, le GPS américain et le GLONASS russe. Le système Galileo, constitué d'une constellation

de 30 satellites en orbite moyenne et d'une infrastructure au sol, pourrait être commencer à être opérationnel à partir de 2014 ;

Comme GPS modernisé, le système Galileo prévoit aussi plusieurs signaux (trois) pour les besoins de l'aviation civile. Il est prévu à terme, par la communauté aviation civile, de remplacer les récepteurs GPS actuels, par une nouvelle génération de récepteurs multi-fréquence et multi-constellation. Le nombre de satellites utilisables sera donc très important, et les deux constellations étant construites par des industriels différents et exploitées par des organisations différentes, le risque de perdre simultanément les deux sera quasiment impossible, sauf cas de brouillage volontaire de l'ensemble des fréquences.

Pour l'Europe continentale, la possibilité de disposer de GPS, d'EGNOS et de Galileo, avec des performances voisines, permettra de réduire/rationaliser sensiblement l'infrastructure conventionnelle de moyens de guidage des avions au sol, en route et en approche.

Avec l'utilisation de GBAS, en renforcement de GPS modernisé et/ou de Galileo, la réalisation d'approches de précision de catégorie II et III devraient devenir possibles, permettant enfin d'envisager à un horizon supérieur à 2020 le non-renouvellement de certains ILS de Cat II et III. Mais des travaux de R et D et de certification importants et probablement longs seront nécessaires.