

# Aéroport de Roissy Charles de Gaulle Surveillance du trafic au sol par multilatération mode S

Figure 1 : Aéroport CDG /  
vue du terminal 2

■ Bertrand BOULLARD, Ingénieur Géomètre, Gérant de la société TopoSat®

*Le développement accéléré des transports aériens sur ces dernières années a été largement présenté dans la presse. Ce phénomène pose de nombreux problèmes dont certains sont débattus publiquement (nécessité ou non d'un troisième aéroport...), et d'autres – plus techniques – sont résolus par l'aménagement des plate-formes et outils existants. L'un de ceux ci est le positionnement plus précis des aéronefs en approche d'aéroport ou en évolution au sol. La surveillance du trafic par multilatération mode S est déjà opérationnelle sur certains aéroports dans le monde et le sera prochainement à Roissy CDG. Nous en décrivons ici les principes, ainsi que les opérations topographiques que son installation a nécessitées.*

## Concept de multilatération par transpondeur

Le principe de fonctionnement sera facilement compris des topographes, puisqu'il repose sur les mesures de distance simultanées, entre un mobile et plusieurs points connus. On retrouve ici les techniques de tri-latération ou celles plus récentes des systèmes GPS ou GALILEO.

La multilatération mode S est basée sur le traitement de la dif-

férence entre les temps de réception des réponses aux interrogations (TDOA, "Time Difference Of Arrival"). Ce type de système mesure la différence de temps entre les réceptions d'un signal par des stations dont les positions sont connues. Le signal utilisé dans le cas présent est celui émis par le transpondeur de chaque avion (voir encadré), signal détecté par le système, horodaté, puis envoyé à la station centrale de traitement..



Figure 2 - Aéroport CDG / avion au décollage

Le système MDS (Multilateration / Multistatic Dependent Surveillance) mis en place à Roissy est le premier système

## Le transpondeur

Ces lignes sont extraites du site Web de Monsieur Christophe MAYEN consacré au contrôle aérien, et reproduites ici avec son aimable autorisation. Nous invitons nos lecteurs qui souhaiteraient de plus amples informations sur ce sujet à consulter ce site à l'adresse : <http://www.chez.com/controleaerien/>

### ■ Présentation

Le transpondeur est un système de bord permettant aux organismes de contrôle de la circulation aérienne équipés d'un radar secondaire SSR (Secondary Surveillance Radar), parfois associé à un radar primaire classique, de connaître l'identification, la position, l'altitude, l'évolution et la vitesse des aéronefs.

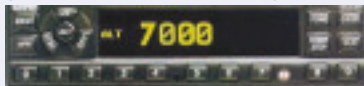


Figure 1 - Transpondeur

### ■ Fonctionnement

Le radar secondaire SSR associé au radar primaire (UHF, 1300 MHz à 2900 MHz) émet sur une fréquence ultra haute UHF (1030 MHz) un signal d'interrogation sous la forme d'une impulsion codée à laquelle le transpondeur embarqué répond par une autre impulsion dans la même gamme UHF (1090 MHz). La réponse décodée apparaît sur l'écran radar au sol sous la forme d'un écho comprenant les 4 chiffres affichés par le pilote à la demande du contrôleur (4 séries de 8 chiffres allant de 0 à 7 soit 4096 codes possibles). Dans le cas d'un vol IFR (sous plan de vol déposé au préalable), les 4 chiffres du code sont remplacés sur l'écran radar par l'indicatif de l'avion grâce à un ordonnateur. Lorsque l'avion est équipé d'un transpondeur mode C (avec alticodeur), une information d'altitude-pression apparaît également. Une fonction IDENT permet de faire apparaître en surbrillance sur l'écran radar, et sur demande du contrôleur, l'écho associé à l'aéronef en cas de doute sur l'identification de ce dernier.

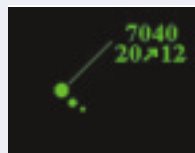


Figure 2 - Etiquette

Ce que voit le contrôleur aérien sur son scope radar : 7040 représente le code transpondeur affiché par le pilote à la demande du contrôle aérien. 20 représente le niveau de vol de l'avion ou FL pour Flight Level (également appelé altitude-pression correspondant à un altimètre calé à 1013.25 hPa en centaine de pieds (ft) soit ici 2000 ft). Le symbole suivant indique l'évolution de l'avion (flèche vers le haut : en montée, trait horizontal : stable, flèche vers le bas : en descente). Le dernier chiffre indique la vitesse sol de l'avion en dizaine de noeuds (kt) soit ici 120 kt. La position de l'avion est représentée par le cercle le plus large. Les autres, la comète, indiquent une notion de vitesse et de trajectoire.

Le contrôleur peut, par superposition de carte sur son scope, donner au pilote toutes les informations de position par rapport à une balise ou un terrain, par exemple. Il faut également savoir que les avions de ligne sont équipés de sys-

tème TCAS (Traffic alert Collision Avoidance System) : Les transpondeurs s'interrogent entre eux et donnent des alertes ou des résolutions au pilote équipé de ce système pour éviter un trafic inconnu, à condition que ce dernier ait branché son transpondeur en mode C.

Figure 3 - Avions en approche sur Roissy CDG



Photo d'un écran radar d'approche de l'aéroport Roissy - Charles De Gaulle (LFRG) montrant les étiquettes générées par le radar grâce au transpondeur embarqué à bord des avions. Sur cette image, on voit les cercles centrés sur les 4 pistes de Roissy espacés de 3 milles nautiques (NM). Le nord est en haut et les pistes en service sont face à l'ouest (les avions se déplacent vers la gauche). Sur la gauche, on voit 2 avions au départ : AFR438 - Air France - (Boeing 777 pour Mexico) et CES0554 - China Eastern - (Airbus A340 pour Pékin). En finale au nord, AFR439 (Boeing 777 arrivant de Mexico) : 016 représente 1600 ft au calage altimétrique 1013.25 hPa, la flèche vers le bas montre qu'il descend, H signifie que l'appareil appartient à la catégorie de turbulence de sillage Heavy (lourd), 16 donne sa vitesse sol : 160 kt. Il est à 4 NM du seuil de piste. Derrière, on voit que le vol BMA177 - British Midland - arrive à l'altitude-pression de 4100 ft au point d'interception du glide (représenté par la flèche) à la vitesse sol de 190 kt. Le M signifie que c'est un appareil de catégorie de turbulence de sillage Medium (moyen) : Il lui faut au minimum un espacement de 5 NM derrière le Heavy. En bas à gauche, on voit un code 4401 qui est un vol VFR à l'altitude-pression 1200 ft, stable, avec une vitesse sol de 100 kt et qui approche du point Echo 1 du transit du Bourget (représenté par le triangle pointe en haut).

Modes de transpondeur :

L'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) a adopté différents modes de transpondeur :

- Mode A : Identification de l'aéronef.
- Mode C : Identification de l'aéronef et report d'altitude grâce à un alticodeur embarqué avec une précision de  $\pm 50$  ft.
- Mode S : Compatible avec les modes A et C et répondant aux futures nécessités d'automatisation et d'amélioration des radars de contrôle de la circulation aérienne.

Codes particuliers :

- 7000 : Vol VFR avec mode C obligatoire (sans instruction donnée par le contrôle aérien).
- 7500 : Intervention illicite (détournement).
- 7600 : Panne radio.
- 7700 : Détresse.

- ■ ■ commercialisé en tant que produit qui applique cette technique au positionnement des avions. Il est développé par la société américaine Sensis Corporation ([www.sensis.com](http://www.sensis.com)). Il est déjà opérationnel sur plusieurs aéroports aux Etats Unis. Il l'est également en Europe à Heathrow depuis novembre 2002 et en cours d'installation à Amsterdam, Genève, Vienne, et Zurich.

## Interventions topographiques

La mise ne place de ce système nécessite deux opérations topographiques de nature différente, mais toutes deux effectuées par GPS :

- Relevé de la position des antennes.
- Tests de précision du système.

Elles requièrent une bonne pratique des calculs en coordonnées géographiques ainsi que celle des travaux sur aéroports, caractérisés par de fortes contraintes de sécurité.

## ■ Station de référence

Pour ces travaux, il a fallu installer une station GPS de référence. Selon les zones sur lesquelles nous avions à intervenir, nous l'avons placée sur un point connu utilisé habituellement par les services topographiques de ADP, et situé au sommet d'un des bâtiments techniques, ou sur des points du réseau d'appui de l'aéroport déterminé en coordonnées RGF93 par le Service de l'Information Aéronautique.

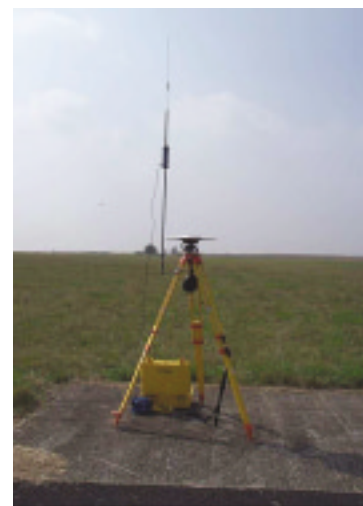


Figure 3 - Référence GPS en station sur un point du réseau d'appui

La mise en oeuvre été grandement facilitée par l'accueil de Monsieur GADY, responsable du service topographique de l'aéroport Roissy CDG, et de ses collaborateurs qui nous ont fournis tous les éléments et informations nécessaires. Je tiens à le remercier ainsi que toute son équipe pour cette aide précieuse.

### ■ Relevé des antennes

C'est un travail simple de relevé de points isolés par GPS bi-fréquence temps réel éventuellement complété au théodolite pour les points inaccessibles. Les coordonnées doivent être fournies en WGS84 à une précision de trente centimètres. La seule difficulté est celle du temps d'accès, certains points étant situés à coté des pistes (au sommet d'un glide par exemple). La mission est



Figure 4 - Relevé d'une antenne

conduite avec les agents du service de ADP (Aéroport De Paris) en charge de ce dossier, qui nous ont accompagnés sur les pistes à bord de véhicules autorisés à y circuler.

### Tests de précision du système

La position des avions doit être déterminée par le système MDS avec une précision meilleure que 7.5 m. Le respect de cette obligation est contrôlé lors de deux tests effectués en comparant les positions GPS et les positions calculées par le dit système. Le premier test est informel et sert à Sensis Corporation pour affiner ses paramètres, le second est contractuel.

### ■ Equipement utilisé

Nous avons travaillé en GPS bi-fréquence temps réel, utilisant en base un récepteur Trimble 4700 couplé à une radio Pacific Crest et en mobile un Trimble 5700 avec radio interne. L'antenne GPS a été installée sur un support recueillant également une antenne de transpondeur et montée en hauteur sur un véhicule.



Figure 5 - Montage du transpondeur et de l'antenne GPS



Figure 6 - Véhicules de test

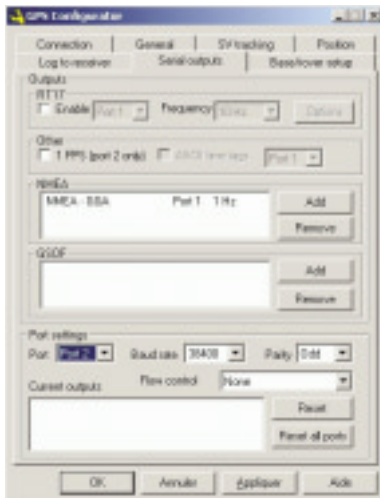
Le montage a été amélioré au fil des opérations, pour obtenir une meilleure rigidité du mat.

### ■ Collecte des données

Les carnets de terrain des récepteurs GPS utilisés en topographie, toutes marques confondues, permettent de nommer des points ou des lignes, voire d'effectuer moult calculs complémentaires. Les éléments relevés sont marqués dans le temps, mais le plus souvent cet horodatage (indispensable ici pour les comparaisons) n'est accessible qu'au travers du logiciel de traitement associé, nécessitant donc un traitement au bureau (récupération des données puis mise au format). Notre client souhaitant obtenir rapidement cette information, nous avons préféré opter pour un enregistrement direct des points collectés sur PC, en récupérant une chaîne NMEA. C'est un message ASCII au format standardisé par la "National Marine Electronics Association" ([www.nmea.org](http://www.nmea.org)). Nous avons utilisé le message type GGA :

```
$GPGGA,100709.00,4859.96420865,N,00232.77887496,E,4,6,1.3,98.384,M,47.279,M,1.0,0029*4A
```

100709.00	heure de la mesure, exprimée en seconde GPS (0 au dimanche à 0 H)
4859.96420865	latitude (48 degrés et 59.96420865 minutes décimales)
N	latitude Nord
00232.77887496	longitude (2 degrés et 32.77887496 minutes décimales)
E	longitude Est
4	Type de correction DGPS (4 pour solution à ambiguïté fixée en mode RTK)
6	Nombre de satellites utilisés
1.3	PDOP au moment de la mesure
98.384	altitude MSL (Mean Sea Level)
M	unité d'altitude (mètre)
47.279	Ondulation du géoïde (H WGS84 - H MSL)
M	unité d'ondulation (mètre)
1.0	age de la dernière correction GPS (en secondes)
0029*4A	terme de contrôle de validité de chaîne



**Figure 7 - Paramétrage d'une sortie NMEA sur un récepteur GPS Trimble**

### ■ Relevés

Comme le montre la photo en page précédente, le travail est fait avec deux véhicules, l'un équipé de l'ensemble de mesure et second assurant la sécurité. En effet, il nous a fallu tester la validité du système sur l'ensemble des zones où circulent les avions (pistes, taxiways, parkings, etc.). La circulation n'y est pas aisée, les nombreux avions - évidemment prioritaires - évoluant (sous le contrôle de la tour) dans toutes les directions et prenant sur les taxiways et bretelles de liaisons des chemins variés.



**Figure 8 - Test sur taxiway**



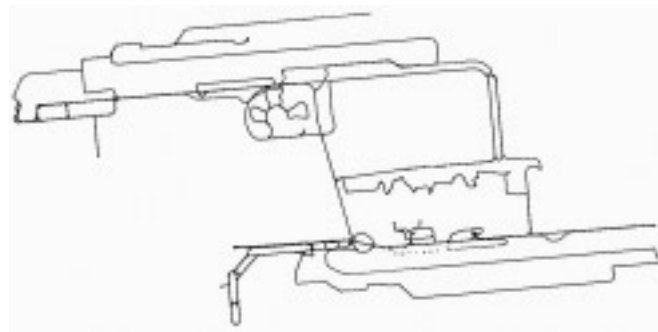
**Figure 9 - Test sur parking**

La récupération sur le PC se fait en utilisant le logiciel "Hyperterminal", installé en standard avec Windows, en mode capture.

Sur les récepteurs Trimble, les sorties de chaînes NMEA peuvent être aisément paramétrées au moyen du logiciel "GPS Configurator" livré en standard avec le produit.

Une liaison radio avec la tour de contrôle nous permettait d'obtenir les autorisations d'accès aux pistes en service mais toujours sur des périodes de temps très courtes, à des heures convenues à l'avance, et le plus souvent en fragmentant la remontée de la piste en plusieurs étapes entrecoupées de longs moments d'attente pour bénéficier de rares périodes d'accalmie dans le trafic.

### ■ Aperçu du résultat



**Figure 10 - Trajet du véhicule**

La figure 10 montre un extrait du trajet effectué. On reconnaît (presque au centre) les abords du terminal 1 à sa forme ronde caractéristique. Les enregistrements ont été effectués à la cadence d'un par seconde, ce qui donne un intervalle variant selon les zones de 5 à 20 mètres entre chaque point.

Grâce au choix de la collecte des données directement sur PC, et utilisant pour cela le portable de l'ingénieur chargé de la mise en place du projet, ce dernier disposait dans les minutes suivant la fin du test des éléments d'analyse. Notre client a particulièrement apprécié, outre la qualité des données, la rapidité de transmission des résultats. ●

### Contact :

Bertrand.Boullard@toposat.fr - www.toposat.fr

### ABSTRACT

*The accelerated development of air transport over the past few years has received wide media coverage. This phenomenon raises a number of issues, some of which are the subject of public debate (necessity of a third airport, etc.) and others – more technical – which are resolved by the adaptation of existing tools and platforms. These technical issues include the more accurate positioning of aircraft during approach phases and surface movement. Traffic control using a Mode S Multilateration system is already operational at some of the world's airports, and will soon be introduced at Roissy Charles de Gaulle. This technique uses interaction with an aircraft or airport vehicle's transponder to determine position and identity. This article describes the principle of the Mode S Multilateration system and the topographical operations required for its setup, including precise surveys of response signal reception antennae and system accuracy testing.*