Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication **N° 1744**

RAPPORT FINAL SUR LES SYSTÈMES RADAR DE SKYGUIDE

du Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation

Remarque : La version allemande fait référence

0 Introduction 2
0.1 Radar primaire (PSR = Primary Surveillance Radar) 2
0.2 Radar secondaire (SSR = Secondary Surveillance Radar) 2
0.3 MRT et conception du système radar de Skyguide. 4
0.4 La salle de contrôle 6
1 Rapports d'incident de trafic aérien (ATIR) à l'origine de cette enquête .....
1.1 Récapitulatif des Recommandations de sécurité 7
1.1.1 Point 1 : Respect des standards d'Eurcontrol sur les systèmes radar 7
1.1.2 Point 2 : Complétude de la couverture aérienne affichée sur l'écran du CCA 8
1.1.3 Point 3 : définition du « Legal Recording » de la situation aérienne 8
2 Exactitude du système radar 9
2.1 Description des faits 9
2.2 Faits établis 10
2.2.1 Performances exigées du système radar 10
2.2.2 Vols de mesure 12
2.2.3 Vol de mesure du 30 juin 2000 13
2.2.4 Vol de mesure du 5 décembre 2000 18
2.2.5 AIRPROX du 7 mai 2001 19
2.3 Analyse 21
2.3.1 Exactitude de la situation aérienne sans système de présentation 21
2.3.2 Exactitude du SSR 22
2.3.3 Exactitude du MRT 24
2.3.4 Différence des présentations concernant l'AIRPROX du 7 mai 2001 26
2.4 Conclusion 26
2.5 Recommandations de sécurité 27
3 Trafic non présenté ou disparaissant de l'écran du CCA 29
3.1 Description des faits 29
3.2 Faits établis 31
3.2.1 Perturbations du transpondeur par des liaisons à faisceaux hertziens 31
3.2.2 Transpondeur non conforme aux spécifications 31
3.2.3 ORCAM selon l'exemple de l'AIRPROX du 24 août 2000 32
3.2.4 Dépassement de la capacité des éléments du système radar 32
3.2.5 Aéronefs sans transpondeur (radar primaire) 36
3.2.6 Espace aérien sans couverture radar 37
3.3 Analyse 37
3.3.1 Perturbations du transpondeur par des liaisons à faisceaux hertziens 37
3.3.2 Transpondeur non conforme aux spécifications 37
3.3.3 Aéronefs en provenance d'une zone ORCAM voisine 38
3.3.4 Capacité et surcharge des éléments du système radar 38
3.3.5 Aéronefs sans transpondeur (radar primaire) 38
3.3.6 Espace aérien sans couverture radar 39
3.4 Conclusion 39
3.5 Recommandations de sécurité 39
4 « Legal Recording » de la situation aérienne 41
4.1 Description des faits 41
4.2 Faits établis 41
4.3 Analyse 42
4.4 Conclusion 43
4.5 Recommandations de sécurité 43
5 Glossaire 44

0 Introduction

Remarque : Dans ce rapport, l'expression « système radar » désigne l'ensemble de la chaîne de traitement, depuis l'antenne radar jusqu'à la présentation de la situation aérienne sur l'écran du contrôleur de la circulation aérienne (CCA) : les radars primaires et secondaires, les transferts d'informations, les systèmes qui regroupent les données des radars et qui suivent les trajectoires (MRT = Multi Radar Tracker) ainsi que les stations de travail qui présentent la situation aérienne aux CCA.

Ce présent rapport se réfère essentiellement à l'état des systèmes avant la fin de l'année 2000. Les améliorations, qui ont éventuellement été apportées depuis, ne sont pas prises en considération.

Le nom actuel de l'entreprise "Skyguide" est également utilisé pour l'ancienne dénomination "swisscontrol".

0.1 Radar primaire (PSR = Primary Surveillance Radar)

Un radar primaire est un appareil destiné à surveiller l'espace aérien. Pour ce faire, un émetteur envoie des impulsions hyperfréquences à l'aide d'une antenne; les impulsions sont partiellement réfléchies par l'objet volant et reviennent à l'antenne. Un récepteur mesure le temps entre l'émission et le retour des impulsions. Cette durée et la direction de l'impulsion permettent de calculer la position de l'objet volant.

Il existe aujourd'hui des radars primaires avec détermination de la position en 2D (distance et azimut) ou en 3D (distance, azimut, altitude).

Les radars primaires permettent de détecter et de suivre dans l'espace aérien surveillé tous les objets qui réfléchissent suffisamment les ondes radars (y compris les phénomènes météorologiques, les vols d'oiseaux, les planeurs de pente, les échos de sol, etc). Ces informations additionnelles, délivrées par le radar primaire, peuvent être partiellement filtrées.

Le PSR n'est pas absolument nécessaire pour le contrôle du trafic aérien, mais indispensable pour la surveillance de l'espace aérien.

La consommation en énergie d'un radar primaire est d'environ 100 kW.

0.2 Radar secondaire (SSR = Secondary Surveillance Radar)

Un SSR est un appareil destiné à contrôler et à guider le trafic aérien. Pour ce faire, un émetteur envoie à l'aéronef des impulsions hyperfréquences codées. L'aéronef répond à la demande du SSR à l'aide d'un transpondeur. Le récepteur du SSR analyse les informations contenues dans la réponse de l'aéronef.

Dans l'espace aérien contrôlé, les SSR permettent de connaître la position, l'altitude pression et l'identité des aéronefs qui répondent.

Le SSR est utilisé par la circulation aérienne civile depuis 1954.

Le principe du SSR (mode A et mode C) ne permet pas actuellement de détecter les erreurs éventuelles des codes d'identification et d'altitude de vol.

La consommation en énergie d'un radar secondaire est d'environ 1 kW.

0.3 MRT et conception du système radar de Skyguide.

Il existe en Suisse 2 « Air Traffic Control Areas of Responsability » (=ATCAR) : l'un à Genève et l'autre à Zurich. Tous deux contrôlent l'espace aérien « En Route » et « Approach ».
En Suisse, il y a 3 stations radars de longue portée dits radars « En-route » (La Dôle, Lägern et TG) ainsi que 2 stations radars « Approach » (Cointrin et Kloten-Holberg).

4 stations radars étrangères sont, de plus, disponibles pour compléter la couverture nationale et pour assurer les transferts du contrôle des trafics aériens idoines avec les centres de contrôle adjacents (Paris, Reims, Aix, Milan, Karlsruhe, Munich, etc.).

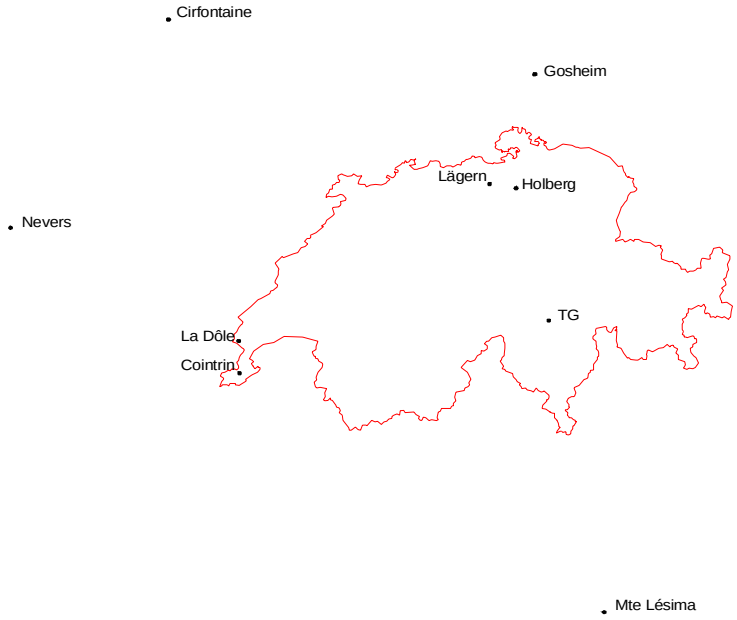


Figure 1 : situation géographique des stations radars utilisées par les 2 ATCAR suisses.

Ces 9 stations sont toutes équipées d'interrogateurs SSR du type « Monopulse » (générations de matériels 1985-1995). Certaines d'entre elles sont également équipées de PSR. Seules les données SSR sont utilisées pour l'ACC de Genève.

Les deux ATCAR suisses utilisent un MRT développé au début des années 80 par la société « Thomson-CSF ».

Les MRT de Genève et de Zurich sont identiques, mais prédéfinissent les sources radars à utiliser les mieux appropriées à leur région, et non l'ensemble des radars disponibles; par exemple les radars avec la meilleures qualité des données.

Les informations radar peuvent également être associées aux plans de vol, ce qui permet d'afficher sur les écrans radar un « callsign » (par ex. SWR311) à la place du code d'identification SSR (Mode A, par ex. A1723). Le MRT assure ainsi l'association

des informations radar aux plans de vol pour les besoins de l'ATC « En Route » et « Approach ».

Le MRT de Genève est alimenté par les informations en provenance des 7 stations radar suivantes : Lägern, La Dôle, TG, Cointrin, Nevers, Chaumont et Mte Lésima.

Le MRT de Zurich est alimenté par les informations en provenance des 6 stations radar suivantes : Lägern, La Dôle, TG, Holberg, Gosheim et Mte Lésima.

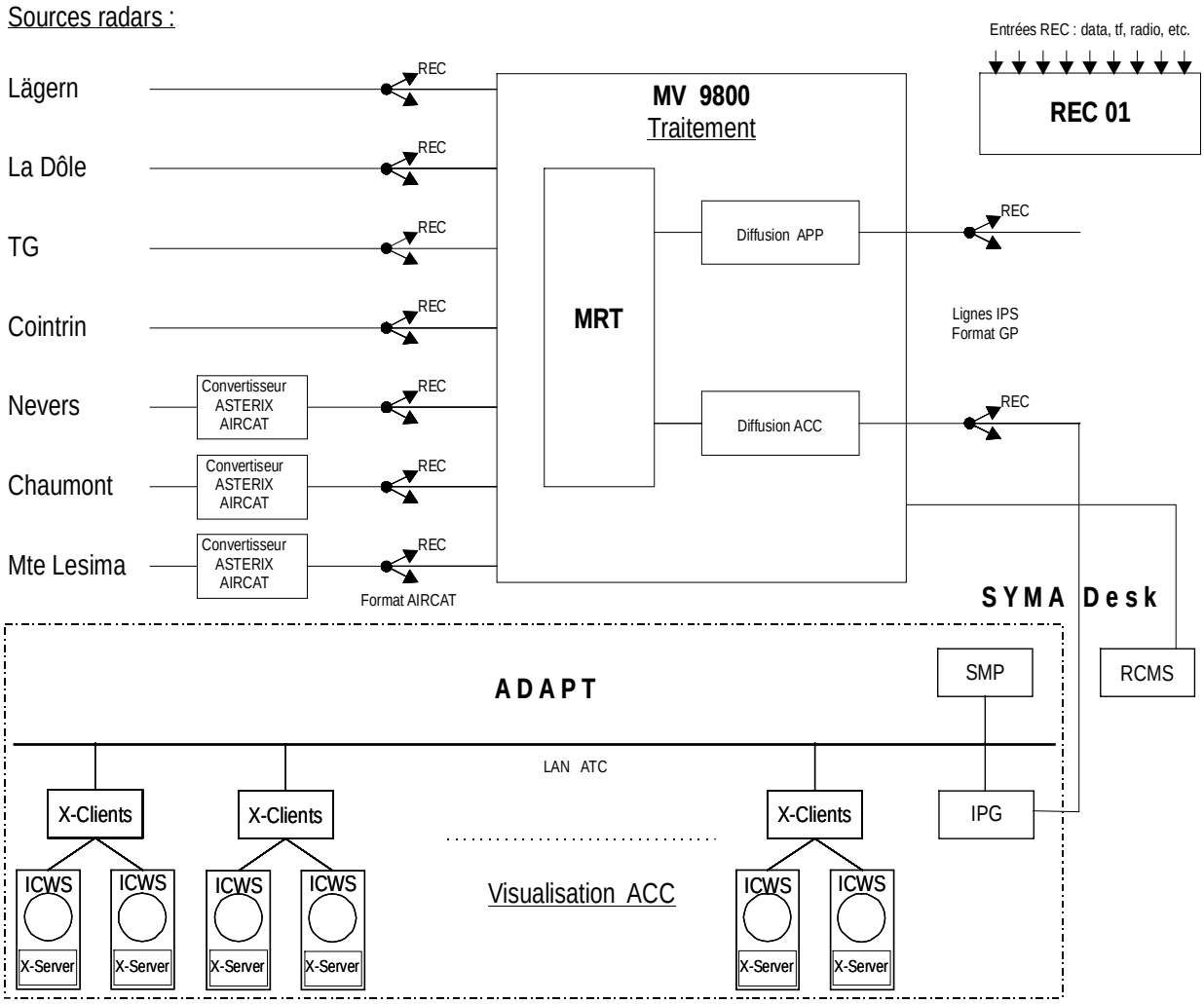


Figure 2 : Architecture du système radar de Skyguide (ATCAR de Genève).

Le système radar illustré dans la figure 2 montre les sources radars et leur transfert vers le système de traitement MRT. Les informations entrantes et sortantes du MRT sont enregistrées par le système REC01 pour les besoins du « Legal Recording ». Le « Legal Recording » garantit notamment l'enregistrement des trajectoires (= pistes radar) et de la communication entre l'ATC et l'équipage de l'aéronef. Les informations traitées par le MRT sont ensuite diffusées par l'interface nommée « IPG » et un réseau local (LAN) vers les stations de travail du contrôle régional. Les stations de travail emploient des ordinateurs UNIX, le système de fenêtrage X-Window et des écrans couleurs de grandes dimensions (51 cm x 51 cm). La redondance des différents systèmes n'est pas représentée dans le dessin.

Remarque : Sur la figure 2, les éléments situés en aval du MRT font partie du système ADAPT.

0.4 La salle de contrôle

En salle de contrôle, les CCA disposent d'écrans graphiques couleurs pour visualiser les trajectoires des aéronefs en représentation plane.

Une trajectoire est matérialisée par un symbole placé sur la position actuelle et par des points placés sur les dernières positions représentées. Le rafraîchissement des consoles ACC et APP s'effectue toutes les 12, respectivement 4 secondes. Un « Label » est associé à chaque symbole pour afficher notamment les informations suivantes :

Le numéro du vol (« callsign ») ou Mode A (A0000 – A7777)

L'altitude de vol ou niveau de vol

La vitesse sol calculée (en nœuds) pour les pistes corrélées

Le nombre de mouvements contrôlés par un ATCAR varie au cours de la journée. Comme chaque CCA ne peut contrôler qu'un nombre limité de mouvements, il faut distribuer l'ensemble du trafic. La méthode employée est désignée par le terme "sectorisation".

La sectorisation peut, par exemple, s'effectuer par tranches d'altitude. Il est ainsi possible de distribuer les mouvements sur 1 à 7 secteurs de contrôle pour l'ACC en fonction de l'importance du trafic. C'est le chef de quart qui décide de la sectorisation. Quand il y a changement de sectorisation, les systèmes (MRT, liaisons radio et téléphoniques, etc.) sont reconfigurés pour redistribuer les informations aux stations de travail voulues, car un secteur actif ne reçoit que ce dont il a besoin.

Par conséquent, si un secteur est configuré pour contrôler l'espace entre les niveaux FL200 et FL300, le CCA ne verra sur son écran que les mouvements évoluant dans cette tranche d'altitude. Il peut toutefois, s'il le souhaite, visualiser l'ensemble du trafic à l'aide d'une fonction spéciale.

Le chef de quart est aidé par un technicien (SYMA) pour toutes les tâches de reconfiguration ou de supervision technique des systèmes. La position SYMA regroupe l'ensemble des terminaux, moniteurs, consoles de gestion ou de supervision des systèmes techniques majeurs (MRT, plans de vol, communications téléphoniques et radio, aides à la navigation, télécommunication, domotique, etc.).

Pour le présent rapport, seuls les systèmes SMP et RCMS présentent une importance en relation avec le SYMA.

SMP : stations de travail utilisées pour le contrôle et la gestion de l'ensemble des équipements ADAPT.

RCMS : PC utilisés pour le contrôle et la supervision des calculateurs MV9800 (traitement radar et plans de vols).

1 Rapports d'incident de trafic aérien (ATIR) à l'origine de cette enquête.

1. En août 1998, un rapport sur un incident de la circulation aérienne (Air Traffic Incident Report = ATIR) a été remis au BEAA par Skyguide. Au cours de l'enquête (rapport A001) il a été constaté que les tracés radars communiqués par l'ATC de Zurich et de Genève étaient différents. Des questions sur la qualité et l'exactitude ont alors été soulevées.

2. Le 14 janvier 2000 et le 24 août 2000 deux ATIR concernant des presque-collisions ont été remis au BEAA qui a ouvert deux enquêtes (rapports A011 et A023). En cours d'enquête, il est apparu que les tracés radar des aéronefs pouvaient disparaître des écrans du CCA.

3. Les enquêtes menées à propos des deux problèmes ci-dessus ont révélé que les enregistrements des tracés radar par le « Legal Recording » peuvent être différents de la présentation sur l'écran du CCA.

Ces constatations ont amené le BEAA à ouvrir une enquête dans les domaines de ces trois problèmes.

1.1 Récapitulatif des Recommandations de sécurité

1.1.1 Point 1 : Respect des standards d'Eurocontrol sur les systèmes radar (page 9)

- Les SSR de Skyguide doivent être améliorés de manière à ce qu'ils répondent aux exigences d'exactitude du standard Eurocontrol, notamment du point de vue des erreurs systématiques.

- L'adhérence aux spécifications du standard Eurocontrol doit être exécutée soit périodiquement soit en temps réel.

- Le taux de rafraîchissement des pistes MRT pour l'ACC doit être raccourci, et passer de 12 secondes aux 8 secondes exigées par Eurocontrol.

- Le respect des spécifications d'exactitude doit être prouvé périodiquement par l'évaluation des systèmes SSR et MRT avec des moyens appropriés.

- Les données SSR et le MRT doivent être horodatées par une base de temps commune qui se base sur le temps universel (UTC). Jusqu'à la réalisation de la base de temps, il faut déterminer la séparation minimale nécessaire par rapport aux autres systèmes de guidage de vol (GVA/ZRH, civil/militaire, CH/pays voisins) et l'augmenter en conséquence si nécessaire.

1.1.2 Point 2 : Complétude de la couverture aérienne affichée sur l'écran du CCA (page 29)

- Il faut non seulement assurer la tâche de contrôle de l'espace aérien (SSR) mais également celle de la surveillance de l'espace aérien à l'aide d'un radar primaire performant (PSR).
- Les aéronefs suivants doivent également apparaître dans la situation aérienne affichée au CCA :
    - ceux dont le transpondeur est perturbé.
    - ceux qui sont équipés d'un transpondeur non conforme aux spécifications.
    - Ceux provenant d'une zone ORCAM voisine et entrant dans l'espace aérien suisse.
    - ceux dont le transpondeur est défectueux.
    - ou encore ceux qui volent avec un transpondeur éteint.
- La charge dans les différentes partie des systèmes doit être régulièrement contrôlée, enregistrée et faire l'objet d'une évaluation systématique.
- Il faut vérifier périodiquement les alarmes qui signalent un dépassement des valeurs critiques.
- Il faut prendre des mesures permettant une diminution contrôlée de la charge système si celle-ci tend à dépasser les limites de capacité.
- Avant d'autoriser une augmentation du trafic aérien dans l'espace aérien suisse, il faudra impérativement vérifier si les systèmes techniques existants suffisent.

1.1.3 Point 3 : définition du « Legal Recording » de la situation aérienne (page 41).

- Il faut adapter le système « Legal Recording » conformément à la recommandation Eurocontrol de manière à permettre une reconstitution complète au niveau de la console du CCA, notamment en ce qui concerne la présentation du trafic aérien, des paramètres de l'écran et des réglages de la console.

2 Exactitude du système radar

2.1 Description des faits

L'enquête sur la presque-collision des vols SWR3779/CRX985 du 15 juin 1998 a révélé entre autres le problème de l'exactitude du système radar.

Cet événement a eu lieu juste après le transfert des vols entre l'ATC de Genève et celui de Zurich. Les tracés radars des deux ATC reproduits sur papier présentaient pour certaines positions un écart pouvant atteindre 1.5 NM.

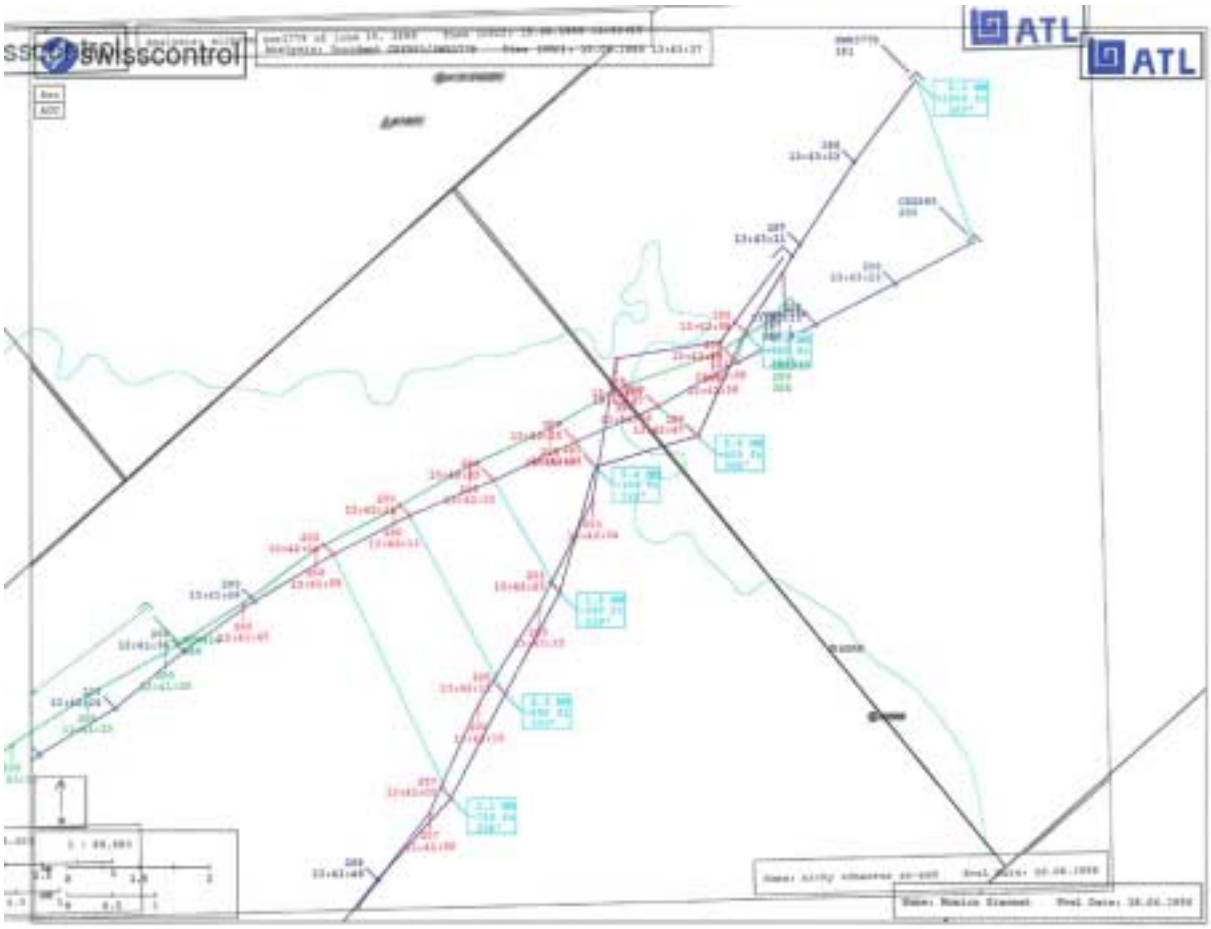


Figure 3 : La superposition des « Legal Recording » des MRT de Genève et de Zurich montre que les trajectoires des AIRPROX du 15 juin 1998 présentent des écarts pouvant atteindre 1.5 NM dans la zone de l'approche la plus forte (SWR3779 à 13:42:47). Il était ainsi très difficile d'analyser l'incident de manière fiable en se basant sur les informations du « Legal Recording ».

2.2 Faits établis

2.2.1 Performances exigées du système radar

En mars 1997, Eurocontrol a adopté comme standard le document « Radar Surveillance in En-route and Major Terminal Area » (SUR.ET1.ST01.1000-01-01). Ce document définit les exigences opérationnelles pour le guidage et le contrôle du trafic aérien, les exigences imposées aux radars et aux MRT, ainsi que les exigences en matière de vérification des performances des éléments du système radar.

Les exigences opérationnelles sont :

- (5.1) Coverage Requirements
  - „Comprehensive and continuous radar coverage of high quality and reliability shall be constantly available in order to achieve radar operational separations of 3 NM, 5 NM and 10 NM.“
  - (4.1.2) The performance of the radar surveillance system shall enable the controller to provide a horizontal separation minimum of 5 NM in high density en-route airspace, 10 NM in other en-route airspace and 3 NM in major terminal areas.
- (5.2.1) The radar surveillance system shall provide the following information to be available for display to air traffic controllers:
  - aircraft horizontal position and history;
  - aircraft identification;
  - aircraft vertical position;
  - specific indication of Mode A special codes (i.e. 7500,7600,7700);
  - ground speed;
  - status of the Track whether it is primary, secondary, combined or extrapolated.
- (5.2.4) Surveillance information updates shall enable the display updates to be no more than 5 seconds (s) for major terminal areas, and no more than 8 seconds (s) in en-route airspace. A maximum of 2 successive updates by extrapolation is acceptable for positional data.
- (5.2.3) The positional accuracy of the surveillance radar data available, at the control position, shall have an error distribution with a root mean square (RMS) value equal to or less than 500 meters (m) for en-route airspace and equal to or less than 300 meters (m) for major terminal areas.
- (5.3.2) The radar surveillance data availability requirements are:
  - full data availability shall be not less than 0.995, excluding periods of scheduled maintenance;
  - essential data availability shall be not less than 0.99999;
  - PSR data availability for major terminal areas shall be not less than 0.995.

- The availability of radar surveillance data in full and reduced system performance status and maximum outage times shall be as given in Table 1 (5.3.3).

Les exigences en matière d'exactitude des positions pour un MRT (dans le cas d'un vol constant et d'une détection par au moins 2 radars géographiquement séparés) sont :

- En-route <120 m RMS along track / 120 m RMS across track (Table 7A - Accuracy Requirements En-Route)
- Approach <50 m RMS along track / 50 m RMS across track (Table 5A - Accuracy Requirements Major Terminal Area)

Les exigences en matière d'exactitude des positions pour une source SSR sont :

- (6.3.3.1) Positional Accuracy
  - Systematic errors:
    - slant range bias: < 100 m
    - azimuth bias (degree): < 0.1°
    - slant range gain error: < 1 m/NM
    - time stamp error: < 100 ms.
  - Random errors (standard deviation values):
    - slant range: < 70 m
    - azimuth (degree): < 0.08°
  - Jumps:
    - overall ratio of jumps: < 0.05 %·
- (6.2.3.2.1) "Jumps" are target reports with positional errors higher than 1° in azimuth or 700 m in range.

Les exigences en matière de contrôle des performances des éléments du système radar sont :

- (8.1.1) Performance verification of the various elements of the radar chain shall be made using procedures and analysis methods agreed within the Eurocontrol organisation.
- (8.1.2) The performances of the radar chain shall be verified prior to making operational use of the radar data.
- (8.1.3) The performances of the radar chain shall be re-assessed at regular intervals. This re-assessment can be made either by permanent monitoring (real-time quality control) or by annual performance measurements campaigns.
- (8.1.4) Changes in operational requirements or replacement of any element of the radar chain, which may have an impact on radar data quality shall require reverification of performance.

2.2.2 Vols de mesure

Le 30 juin 2000 et le 5 décembre 2000, deux vols de mesure ont été effectués.

Les trajectoires de l'aéronef ont été enregistrées à bord à l'aide d'un récepteur GPS (Global Positioning System) Trimble 4000 SSE puis corrigées en données GPS différentielles (DGPS) avec les données relevées par des stations de référence au sol du réseau AGNES, ou d'un récepteur de référence aux points étalons de Emmen ou de Berne.

Les données DGPS restituent la position tridimensionnelle de l'aéronef au rythme d'une information par seconde. L'exactitude de la trajectoire est de l'ordre de quelques mètres.

Les données DGPS ont été comparées avec les données enregistrées du MRT et de chacun des radars par le « Legal Recording » de Genève et de Zurich.

Ensuite, une analyse statistique de ces données a été effectuée pour calculer les erreurs systématiques et aléatoires conformément au standard Eurocontrol pour chacune des sources radar (SSR), respectivement du traitement des données MRT.

D'autres informations utiles :

Le MRT actualise les données de l'ACC toutes les 12 secondes et toutes les 4 secondes pour l'APP. Le système « Legal Recording » enregistre les données radar pendant les mêmes intervalles de temps.

Les données DGPS, en coordonnées WGS-84, ont été converties en coordonnées nationales. Les données radar MRT se présentent sous la forme de coordonnées systèmes ayant comme point de référence Cointrin pour GVA et Holberg pour ZRH. Ces coordonnées ont été projetées dans le système de coordonnées nationales ayant comme point de référence Berne (600 000 / 200 000) par transformation dans un système géocentrique.

Les données SSR se rapportent au site du radar. Pour effectuer la comparaison, les données DGPS sont transformées sur le site radar correspondant. Du fait que les exigences imposées au SSR concernent l'azimut et la distance, les données SSR ainsi que les données DGPS transformées sont toutes converties en coordonnées polaires.

L'altitude de l'aéronef est indiquée par le GPS sous la forme de l'altitude géographique au-dessus de l'ellipsoïde de la Terre, alors que le radar restitue l'altitude pression du Mode C. La différence entre les deux altitudes varie en fonction des conditions météorologiques (répartition de la pression atmosphérique). La différence peut représenter plus de 100 m. Pour analyser l'exactitude de la position, l'altitude pression a été remplacée par l'altitude DGPS.

2.2.3 Vol de mesure du 30 juin 2000

Le vol de mesure a débuté à Emmen, en direction de Salzbourg. Après une escale à Salzbourg, le vol s'est poursuivi en direction de Genève. Quelques virages serrés (steep-turns) ont été effectués au-dessus des Alpes. L'atterrissage a finalement eu lieu à Belp après un crochet dans le Tessin et en direction des Grisons.

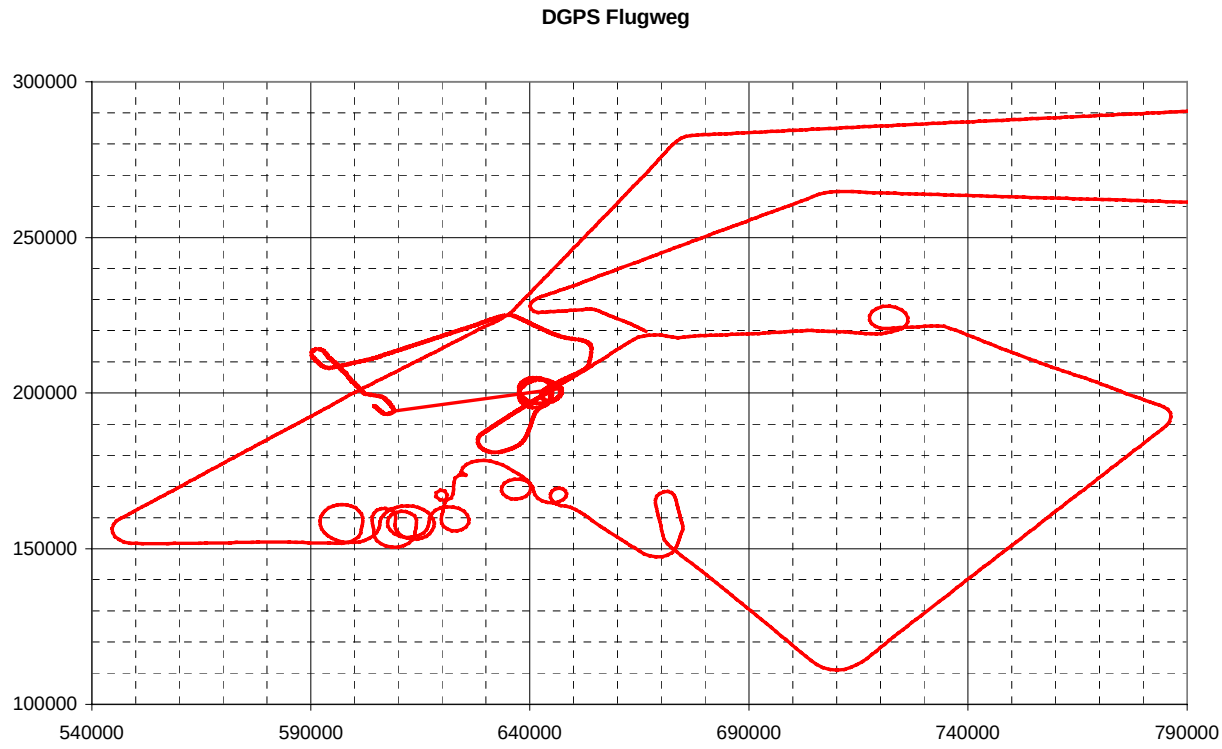


Figure 4 : Présentation de la trajectoire de vol enregistrée à l'aide du GPS différentiel en coordonnées nationales de la Suisse (CH1903, point de référence Berne)

Les enregistrements de la trajectoire de vol peuvent être superposés après une transformation des données DGPS et du système « Legal Recording » en coordonnées nationales de la Suisse (CH1903). Le graphique suivant a été obtenu avec les données de l'ACC de Zurich pour le vol d'Emmen vers Salzbourg ainsi que le vol de retour en direction de Genève :

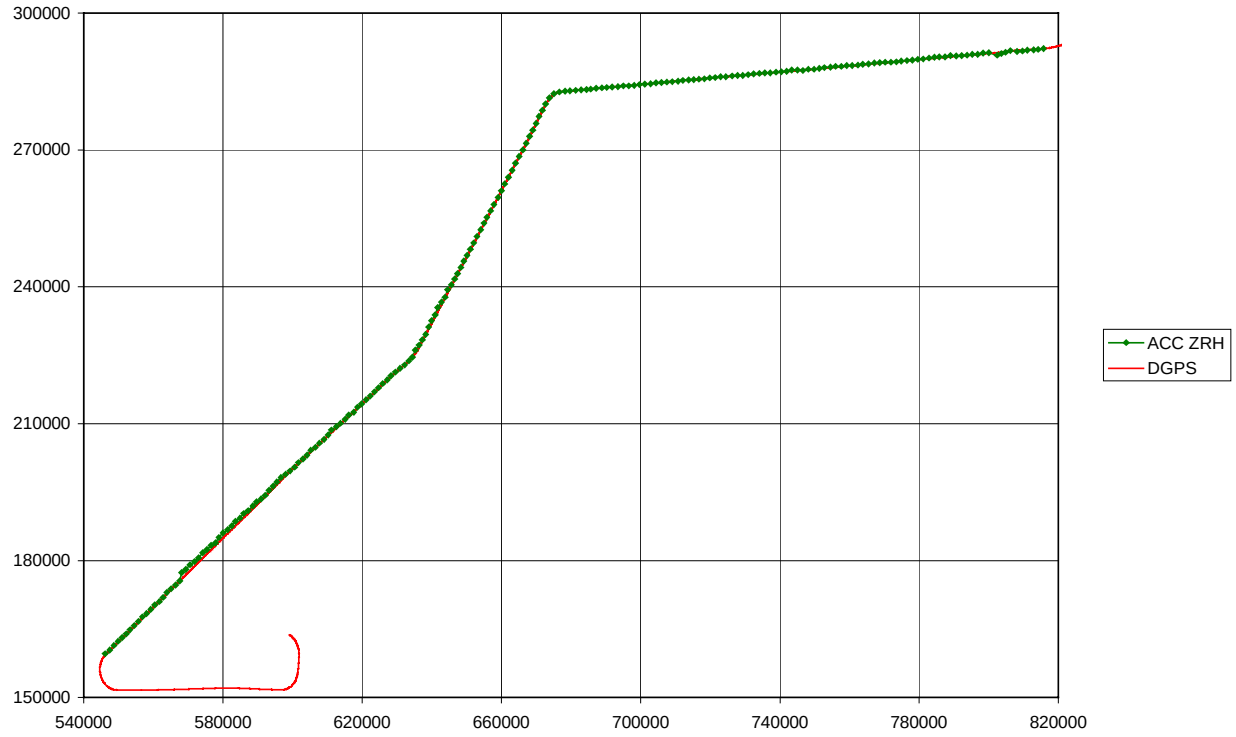


Figure 5 : Trajectoire de vol de l'ACC ZRH comparée à la trajectoire de vol du GPS différentiel.

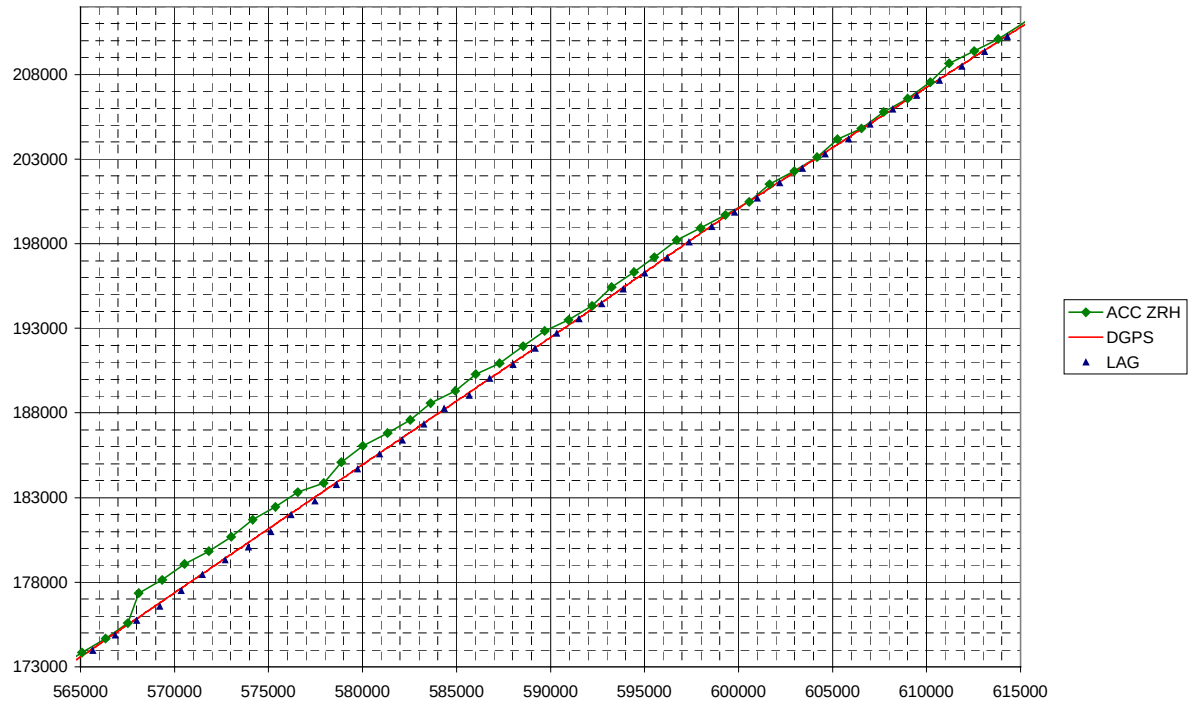


Figure 6 : L'agrandissement de la figure 5 dans l'espace de Berne montre une dérive du MRT pour l'ACC de Zurich par rapport à la référence du DGPS. Les données du radar de Lägern (LAG) sont représentées à titre comparatif.

Une vue détaillée de l'espace de Berne montre une dérive des données MRT (ACC ZRH) par rapport à la référence DGPS alors que le radar de Lägern reste proche de la trajectoire DGPS.

Avant la poursuite du vol au-dessus des Alpes, GVA n'a fourni pour l'essentiel que la partie du vol avant l'atterrissage à Belp. Il en résulte la vue d'ensemble suivante :

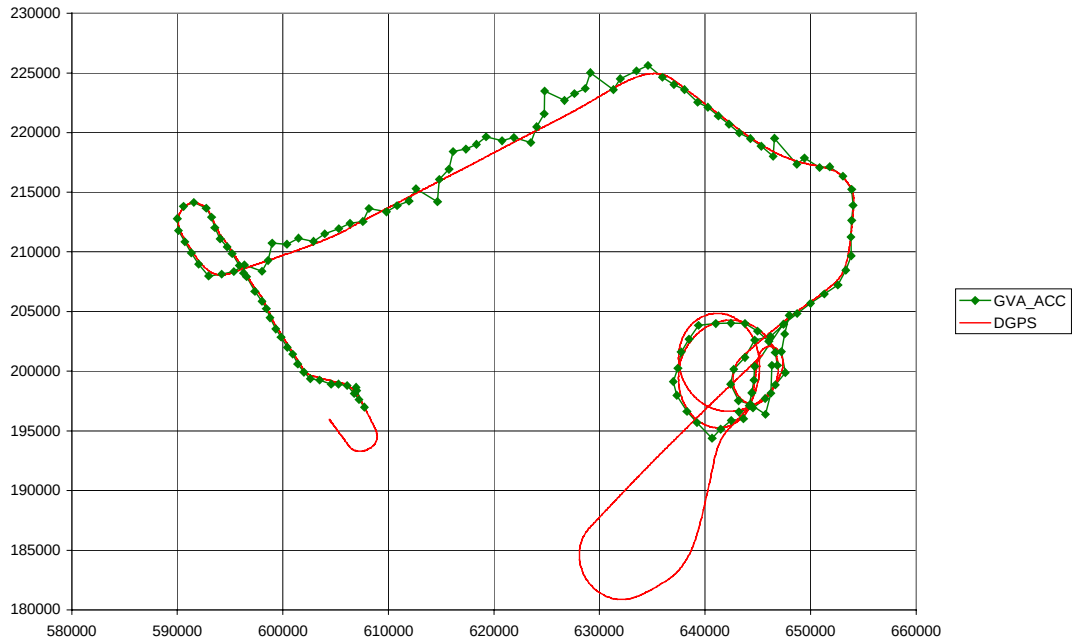


Figure 7 : Comparaison de la trajectoire du MRT de l'ACC GVA avec le GPS différentiel.

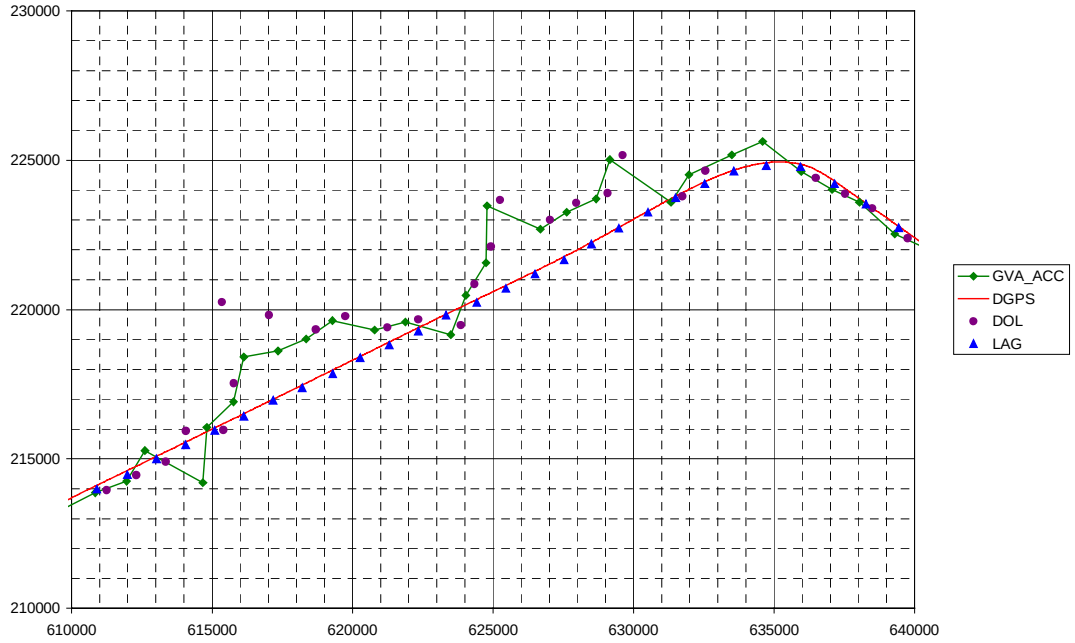


Figure 8 : Comparaison des données du MRT GVA pour ACC, des radars individuels DOL et LAG et du GPS différentiel. Un carré en pointillés représente une surface de 1 km x 1 km.

Une vue détaillée du vol en direction de Berne avec les écarts montre que le MRT de l’ACC GVA et le radar DOL s'écartent de plusieurs kilomètres par rapport à la trajectoire du DGPS, alors que LAG suit plus précisément la référence.

Si l’écart entre les données de Skyguide (enregistrement du « Legal Recording ») et la référence du DGPS est calculé au même moment, on obtient alors l’erreur de position, qui s’est produite pour la trajectoire de vol concernée.

L’erreur d’altitude n’est pas prise en compte en raison de la différence non connue entre l’altitude pression et l’altitude GPS.

Les éventuelles erreurs de position dans le sens du vol apparaissent mieux en calculant la vitesse à partir de deux informations de position successives, et la durée qui les sépare, qu’en représentant uniquement les positions.

Les deux tronçons du vol pour lesquelles ZRH a fourni les données ACC donnent le graphique suivant

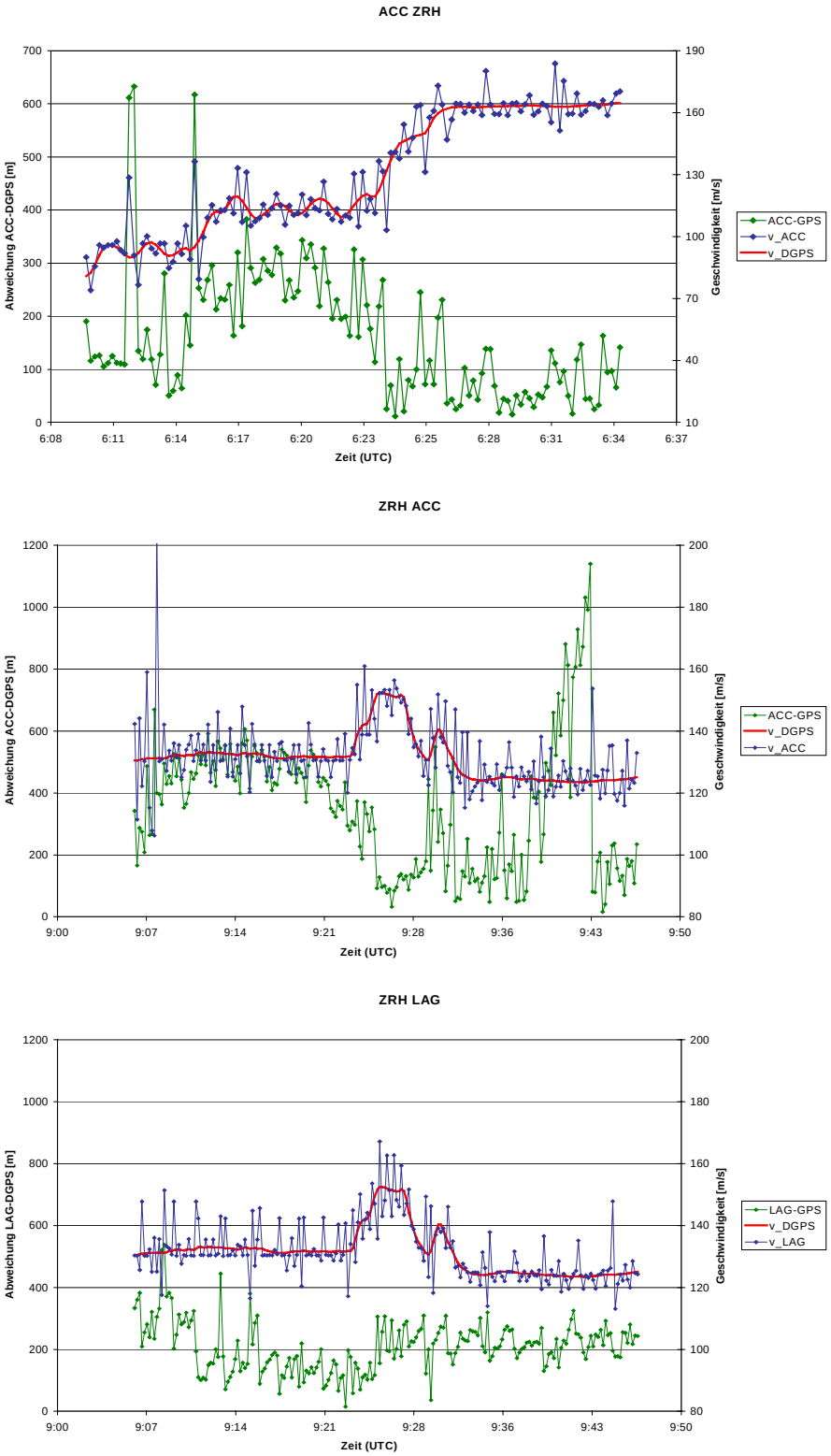


Figure 9 : Différences horizontales entre les données du MRT de ZRH pour l'ACC et le DGPS et, à titre comparatif, le SSR de Lägern. La graduation de droite indique les vitesses déduites des informations de position.

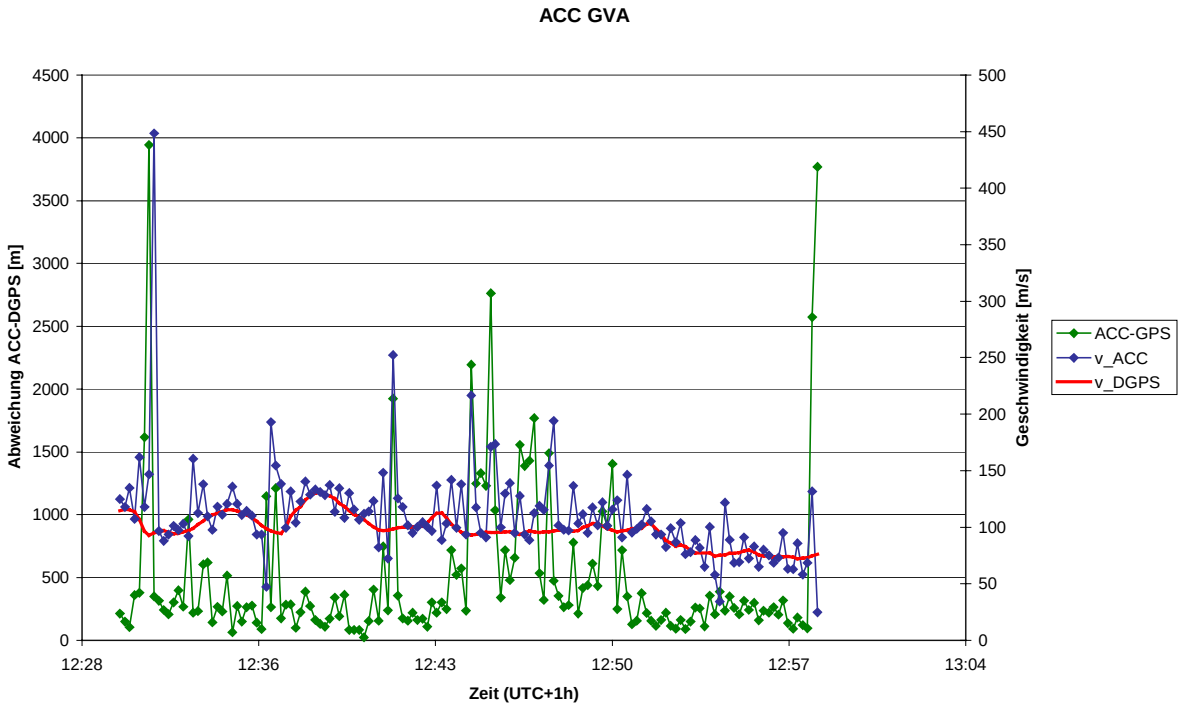


Figure 10 : Différences horizontales entre les données du MRT de GVA pour l'ACC et le DGPS et vitesses déduites à partir des informations de position.

2.2.4 Vol de mesure du 5 décembre 2000

Le vol de mesure s'est déroulé de Dübendorf vers Salzbourg, puis s'est poursuivi en direction de Genève après une escale à Salzbourg, ensuite retour à Dübendorf après un crochet vers Locarno.

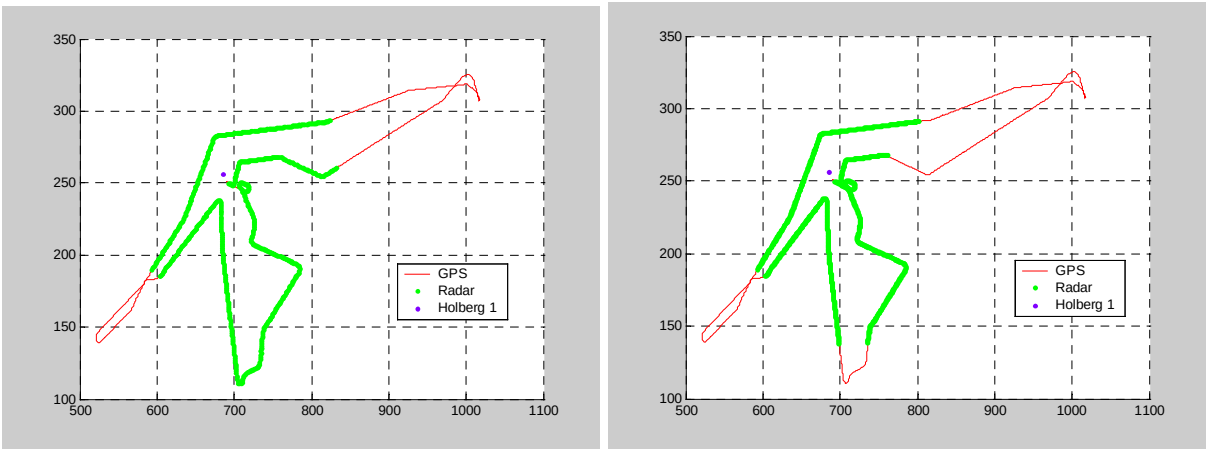


Figure 11 : Trajectoire du vol de contrôle du 5 décembre 2000 d'après l'enregistrement réalisé à l'aide du GPS différentiel et les données MRT de l'ACC de Zurich (à gauche) ou de l'APP de Zurich (à droite), les deux tracés convertis en coordonnées nationales de la Suisse (CH 1903, axes en km).

Le tronçon Berne – St-Prex – Berne a été enregistré par le MRT GVA.

La base de données est beaucoup trop petite pour pouvoir faire une évaluation du vol de contrôle de décembre concernant les « Positional Jumps ». D'après le standard Eurocontrol, un radar doit présenter en moyenne moins de 1 « Positional Jump » sur 2000 informations de position. Mais le vol de contrôle a fourni nettement moins que 2000 informations de position, car le rythme de 12 (ou de 5) secondes ne permet d'atteindre les 2000 informations qu'après 6,7 heures (ou 2.8 h).

2.2.5 AIRPROX du 7 mai 2001

Un ATIR de l'ACC GVA a signalé une presque-collision (AIRPROX) entre un aéronef civil (BZH 842) et un avion à réaction militaire suisse (F5) : « CH MIL TFc is approaching BZH 842 from the east with high speed and high rate of climb. » Le contrôleur de la circulation aérienne a signalé un rapprochement jusqu'à 2 NM au FL 350. Le TCAS de l'aéronef civil a signalé une alerte collision. Les analyses des enregistrements radar de Skyguide et FLORIDA ont donné les graphiques suivants :

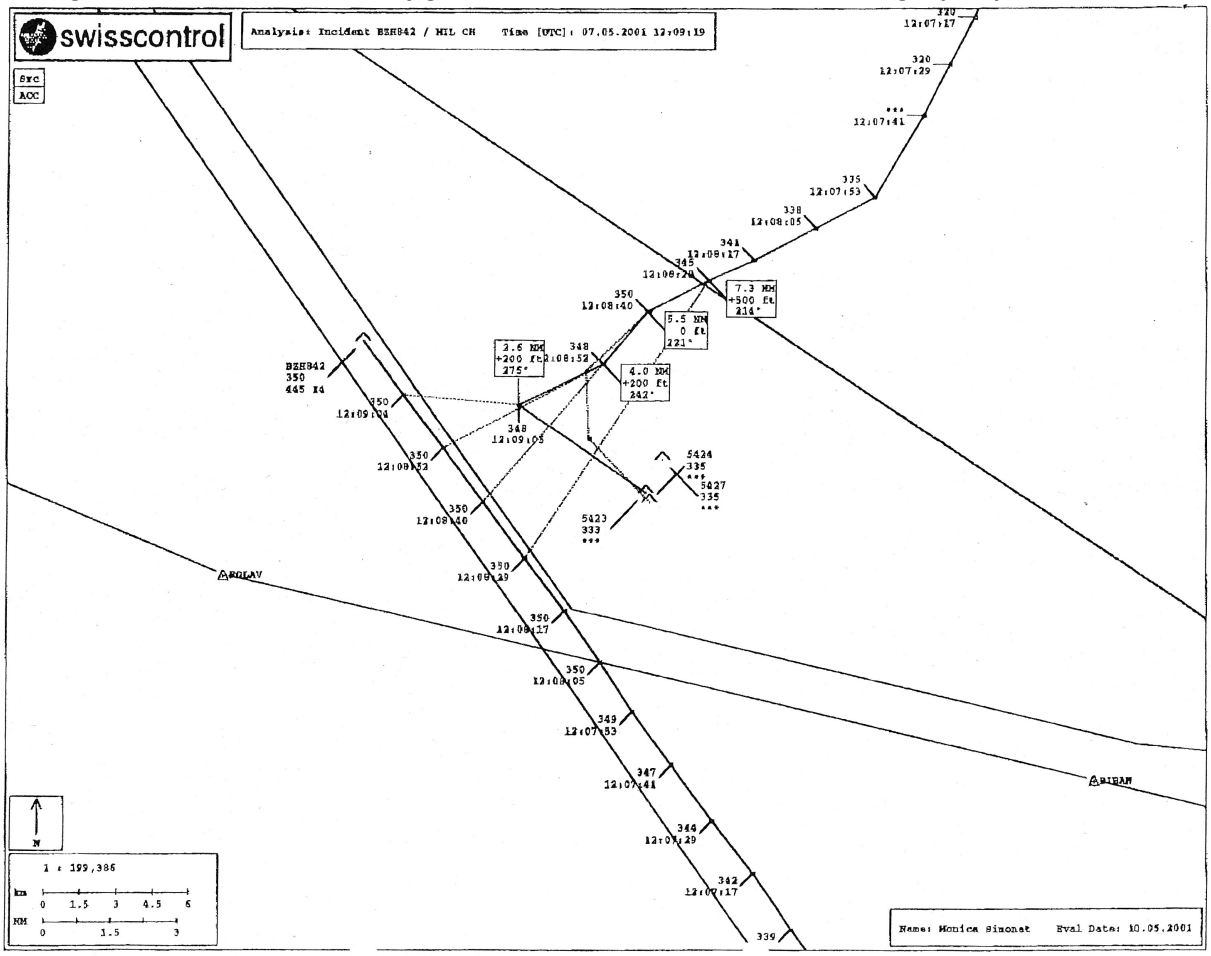


Figure 12 : Une patrouille de F5 (Tiger) en montée en provenance du nord-est s'est rapprochée de l'aéronef civil BZH 842. A 12:08:52 (heure système ACC, zone UTC), la patrouille a atteint l'altitude de vol de l'aéronef civil à une distance de 4 NM (7.4 km). Lors du rafraîchissement suivant des données de l'ACC, l'écran du CCA présentait la situation suivante : un F5 s'était séparé de la patrouille et se dirigeait droit sur le trafic civil. La distance qui le séparait du trafic civil était inférieure à 2 NM (3.6 km). C'est seulement après 12 secondes supplémentaires qu'il est apparu

que les F5 s'éloignaient de l'aéronef civil après avoir effectué un virage serré en direction du sud-est.

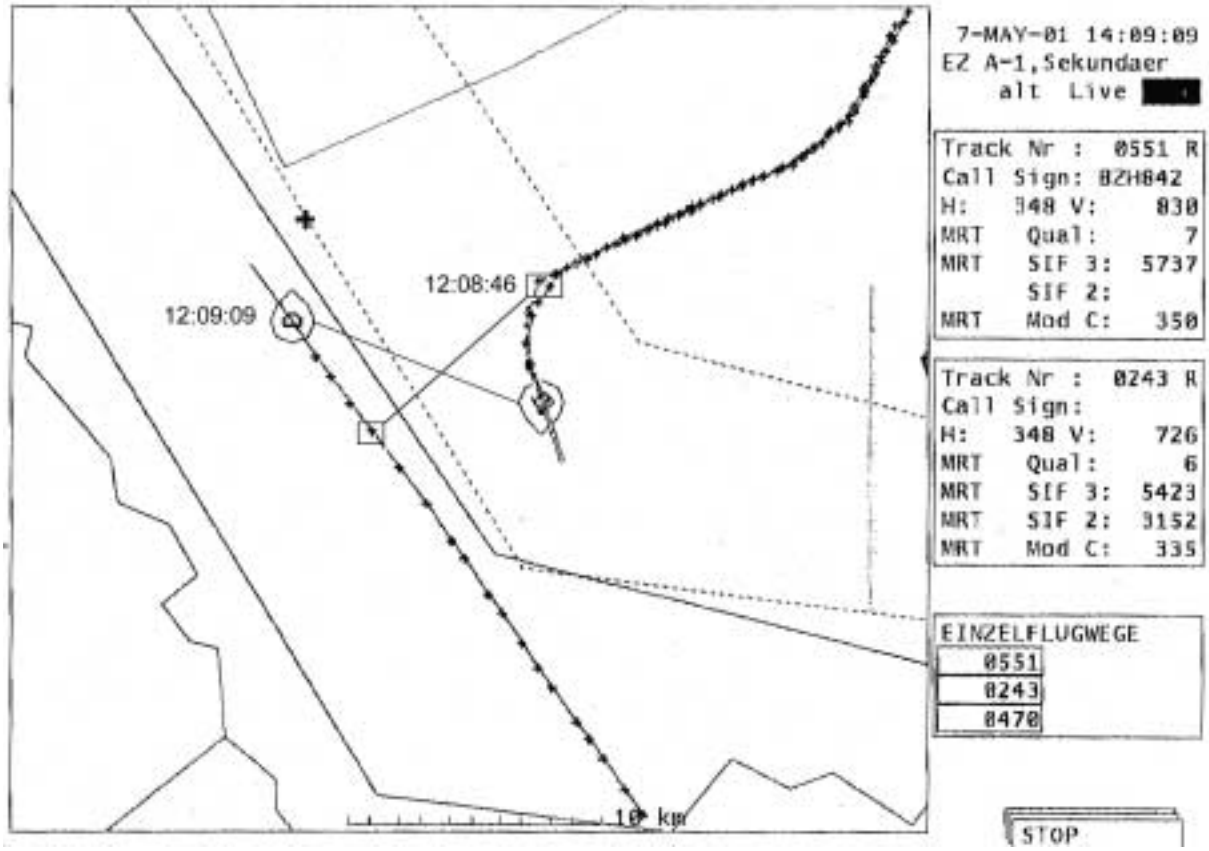


Figure 13 : La même situation que dans la figure 12 d'après les données de FLORIDA. A 12:08:46 (UTC), la patrouille a amorcé un virage serré en direction du sud-est à une distance de 5.1 NM (9.5 km). A la fin de la manœuvre, à 12:09:09, les F5 se trouvaient de nouveau à une distance de 5.7 NM (10.5 km) de l'aéronef civil BZH 842. Les données disponibles ne permettent pas de déterminer avec précision la distance minimale jusqu'à laquelle les aéronefs se sont rapprochés pendant cette période. D'après les données FLORIDA, cette distance n'a pas été inférieure à 4 NM (7.4 km).

Les tracés ACC GVA et FLORIDA présentent notamment une différence de la distance minimale de rapprochement entre l'aéronef civil BZH 842 et les F5 de l'armée de l'air suisse. Le CCA à Genève s'est vu indiquer une distance minimale de 2 NM, avec risque de collision, alors que FLORIDA a indiqué une distance minimale de 4 NM avec des trajectoires de vol divergentes.

2.3 Analyse

2.3.1 Exactitude de la situation aérienne sans système de présentation

La différence des positions géographiques (sans altitude) entre les données du MRT et du GPS, au même moment, définit l'exactitude de la situation aérienne à la sortie du MRT, mais sans tenir compte des caractéristiques du système de présentation.

Eurocontrol exige que les données radar soient munies d'un horodatage UTC et émet la recommandation suivante : *« Time Systems used for time stamping radar data should be synchronized to a common standard UTC source operating to an accuracy of +/- 5 ms ».* Les données MRT sont liées à l'heure système du MRT. L'horodatage des positions d'un SSR est réalisée à l'aide de l'heure système du MRT en tenant compte des délais de traitement et de transmission ainsi que du temps de rotation de l'antenne entre son passage au nord et l'azimut de la position.

L'heure GPS peut être convertie précisément en UTC en calculant le nombre de secondes écoulées au moment du vol de mesure. Les différences de temps, de valeur inconnue, en raison de l'absence d'un horodatage UTC, entre les données du GPS et celles du radar donnent lieu à des différences de position en fonction de la vitesse et de la direction de vol. Cette dernière erreur doit être incluse dans le bilan d'erreur.

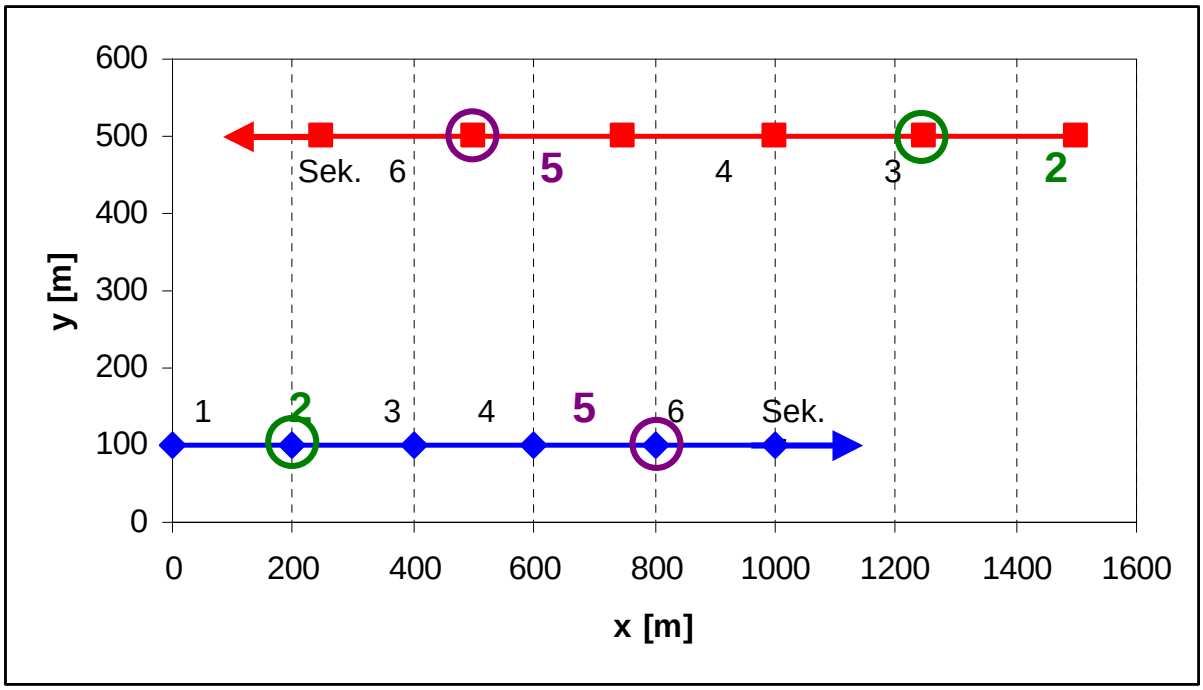


Figure 14 : Exemple de différence de position dans le sens du vol avec une différence de temps de 3 secondes entre UTC (vert) et l'heure système MRT (violet) avec des vitesses de vol de 250 (vol vers la gauche) ou de 200 m/s (vol vers la droite).

Le vol de mesure du 30 juin permet d'obtenir les valeurs d'exactitude suivantes, comparées avec les exigences opérationnelles imposées au système global par Eurocontrol.

Système	Exactitude (RMS)	Taux de rafraîchissement
Eurocontrol Standard	500 / 300 m ACC / APP	8 / 5 s ACC / APP
ACC ZRH	337 m	12 s
ACC GVA	800 m	12 s
APP ZRH	pas disponible	4 s
APP GVA	pas disponible	4 s

Tableau 1 : Exactitude et taux de rafraîchissement pour les systèmes radar de GVA et de ZRH pour le vol de mesure du 30 juin 2000 à partir de la comparaison des données du « Legal Recording » enregistrées à la sortie du MRT avec les données de la trajectoire du vol DGPS.

Le vol de mesure du 5 décembre permet d'obtenir les valeurs d'exactitudes suivantes, comparées avec les exigences opérationnelles imposées au système global par Eurocontrol.

Système	Exactitude (RMS)	Taux de rafraîchissement
Eurocontrol Standard	500 / 300 m ACC / APP	8 / 5 s ACC / APP
ACC ZRH	187 m	12 s
ACC GVA	235 m	12 s
APP ZRH	180 m	4 s
APP GVA	Pas disponible	4 s

Tableau 2 : Exactitude et taux de rafraîchissement pour les systèmes radar de GVA et de ZRH pour le vol de mesure du 5 décembre 2000 à partir de la comparaison des données du « Legal Recording » enregistrées à la sortie du MRT avec les données de la trajectoire du vol DGPS.

2.3.2 Exactitude du SSR

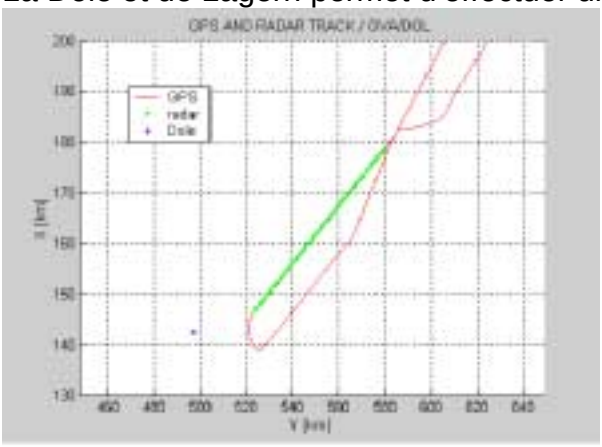
Concernant l'erreur systématique en distance d'un SSR, le standard Eurocontrol préconise non seulement un biais (*Bias*), mais également une erreur de gain (*Gain error*), ce qui veut dire que la distance mesurée par le radar peut aussi augmenter de façon linéaire avec la distance réelle dans des limites précisées. L'erreur systématique en distance est ainsi obtenue en plaçant une droite de compensation dans les valeurs des distances mesurées en fonction des valeurs des distances réelles. Le problème est encore plus compliqué avec les données disponibles, car les données radar peuvent être décalées dans le temps par rapport aux données GPS en raison d'un décalage horaire entre l'heure GPS, respectivement UTC et le temps système sur lequel se base Skyguide. Outre le biais en distance, il faut donc également évaluer un biais en temps. Les erreurs systématiques en distance et en temps peuvent être déterminées s'il existe, pour une source radar à analyser, une portion de trajectoire s'approchant de celle-ci dans le sens radial et une portion de trajectoire s'en éloignant dans le sens radial. L'erreur de distance et le décalage temporel s'additionnent alors dans l'une des portions de trajectoire, alors qu'ils se soustraient dans l'autre. L'erreur systématique en azimut est seulement caractérisée par un biais. Du fait que l'altitude intervient dans le calcul de la distance, les données radar utiliseront non pas l'altitude pression du Mode C, mais l'altitude GPS.

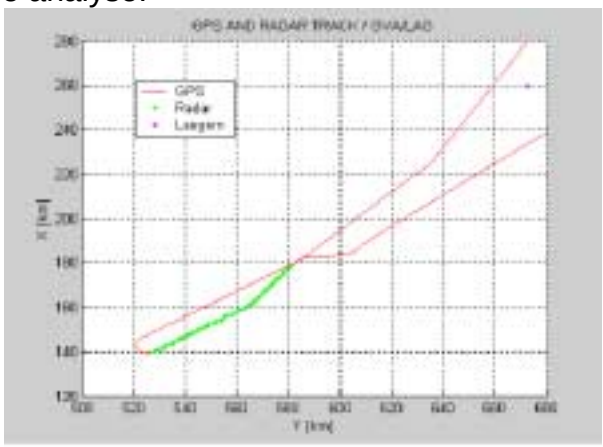
Résultats concernant les erreurs systématiques SSR du vol du 30 juin 2000 :

La base de données permettant une évaluation des erreurs SSR n'est pas disponible pour ce vol de mesure. La figure 8 montre cependant des différences importantes du SSR de La Dôle. Lors de l'analyse, Skyguide a constaté qu'au moment du vol de mesure un canal défectueux du SSR de La Dôle a été transmis au MRT à Genève.

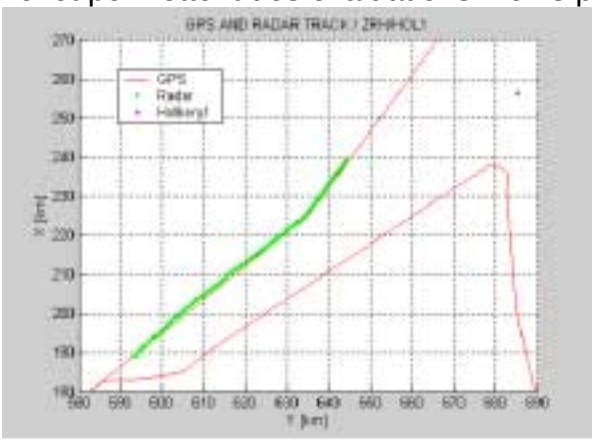
Résultats concernant les erreurs systématiques SSR du vol du 5 décembre 2000 :

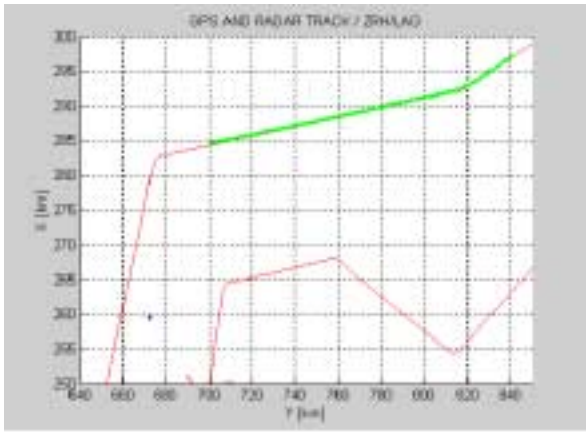
Concernant les données de Genève, le tronçon de vol Berne – St-Prex – Berne de La Dôle et de Lägern permet d'effectuer une analyse.





Les données SSR de Zurich présentent peu de portions de trajectoires radiales de vol et permettent des évaluations moins précises pour Lägern et Hohlberg :





ATC	SSR	Partie de vol	Décalage de temps [s]	Range-Bias [m]	Range-Gain-Error [m/NM]	Azimuth-Bias [deg]
EC	**Standard**		**0±0.1**	**100 m**	**1 m/NM**	**0.1°**
GVA	DOL	2	2.1±0.2	230±20	-3.1±0.3	0.05±0.005
GVA	LAG	2	2.1±0.2	180±20	-0.5±0.2	-0.01±0.002
ZRH	HOL1	1	-1±1	300±50	-3±0.3	0.25±0.1
ZRH	LAG	1	1±1	300±50	-2.7±0.3	0.03±0.04

Tableau 3 : Comparaison entre les valeurs maximales admissibles selon le standard Eurocontrol et les erreurs systématiques déterminées.

Les erreurs aléatoires du SSR en azimut et en distance sont décrites par l'écart-type après correction préalable des erreurs systématiques. Dans le cas de l'azimut, il est

inutile de soustraire l'erreur systématique uniquement caractérisée par un biais, car cette correction est effectuée par définition dans le calcul de l'écart-type. Dans le cas de la distance, la soustraction de l'erreur systématique est nécessaire en raison de la partie à croissance linéaire. Les erreurs systématiques selon le tableau 3 ont permis d'obtenir les erreurs aléatoires suivantes pour le SSR :

ATC	SSR	Partie de vol	Range Mean [m]	Range Stdev [m]	Azimuth Mean [deg]	Azimuth Stdev [deg]
EC	**Standard**		**----**	**70 m**	**----**	**0.08°**
GVA	DOL	2.1	16.5	56.6	0.001	0.026
GVA	DOL	2.2	-15.4	48.9	0.001	0.031
GVA	LAG	2.1	25.3	43.6	0.001	0.021
GVA	LAG	2.2	-27.5	113.7	0.001	0.040
ZRH	HOL1	1.1	-3.4	59.2	0.298	0.151
ZRH	HOL1	1.2	43.8	92.1	-0.197	0.066
ZRH	LAG	1.1	-56.1	54.3	-0.001	0.036
ZRH	LAG	1.2	88.7	95.2	0.034	0.040

Tableau 4 : Erreurs aléatoires du SSR après correction des erreurs systématiques, déterminées séparément pour chaque tronçon de vol en direction du radar et en s'éloignant du radar. Après correction des erreurs systématiques, les valeurs moyennes devraient être proches de zéro.

Les radars mesurés, sous des conditions optimales avec le vol de contrôle du 5 décembre (SSR Lägern, La Dôle et Holberg), présentaient tous au moins un paramètre avec une erreur systématique trop élevée. Ce sont notamment le biais en distance et l'erreur de gain de distance qui ont été dépassés. Le biais en azimut, par contre, n'a été dépassé que dans le cas du Holberg.

Après correction de l'erreur systématique, Lägern présente encore une erreur aléatoire en distance trop importante, et Holberg en azimut et en distance.

L'exigence d'Eurocontrol qui demande un horodatage avec une exactitude de 0.1 seconde n'est pas satisfaite.

2.3.3 Exactitude du MRT

Pour ce chapitre, il a été tenu compte uniquement des informations du vol du 5 décembre 2000. Il n'y a que des données statistiques analysables pour l'ACC GVA et l'APP ZRH. Les erreurs des MRT sont décrites dans le standard EUROCONTROL par l'erreur RMS "along" et "across track". L'erreur RMS se différencie d'un écart-type par le fait qu'aucune valeur moyenne de la différence entre le radar et la trajectoire de référence (GPS) n'est soustraite. Les erreurs systématiques interviennent ainsi également dans les erreurs RMS (on remarquera la différence par rapport aux spécifications pour l'azimut et la distance du SSR, où l'erreur est divisée explicitement en parties systématiques et aléatoires). Différentes limites supérieures admissibles d'erreur sont fixées en fonction de la cinématique de la cible, à savoir un mouvement rectiligne régulier, un virage standard, un mouvement rectiligne avec

accélération constante et une trajectoire montante ou descendante régulière. Les données disponibles permettent seulement d'analyser les trajets rectilignes uniformes. La partie 3 désigne les trajets rectilignes du tronçon de vol Berne – Lugano – Dübendorf, p.ex. 3.5 selon figure 15:

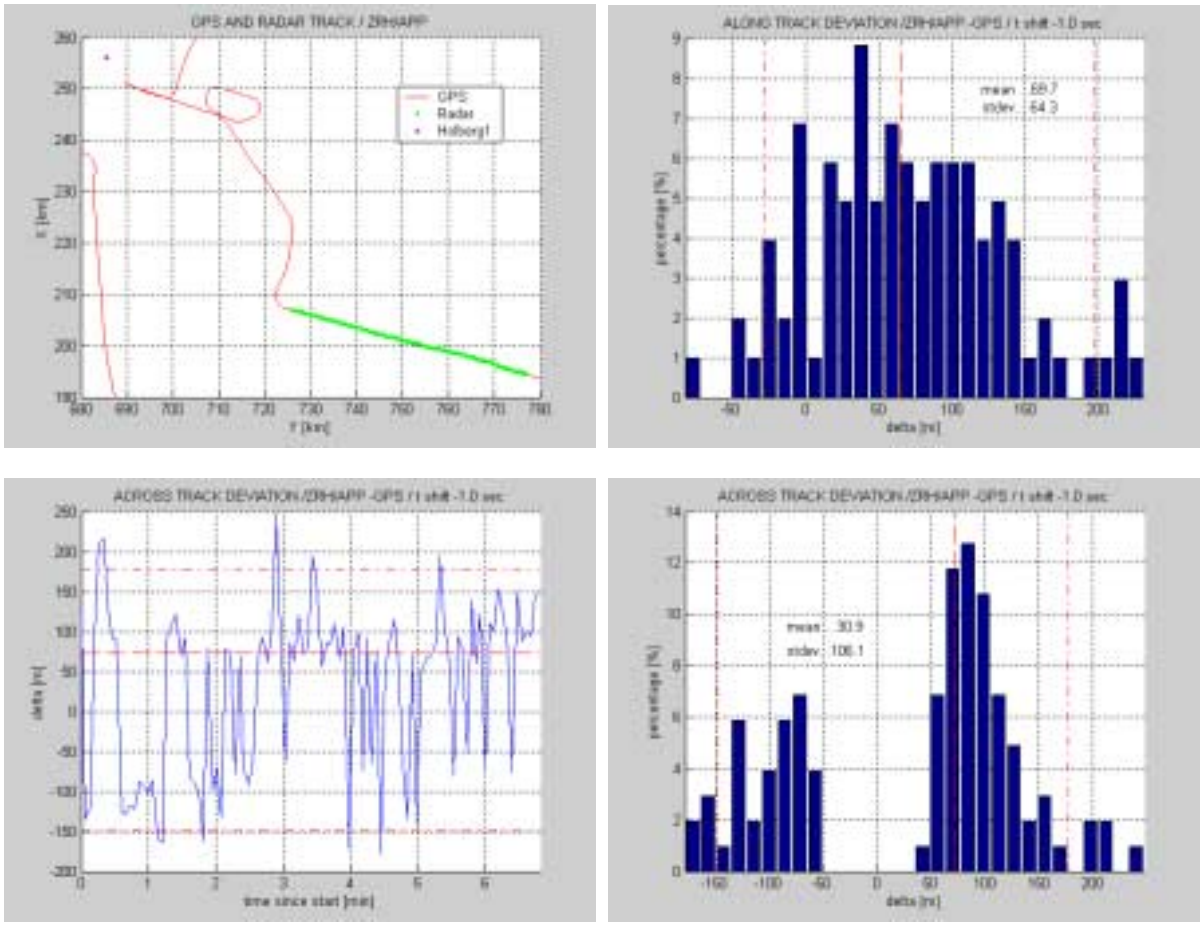


Figure 15 : Partie 3.5 de la trajectoire de vol selon le MRT / APP de Zurich avec les différences correspondantes par rapport à la trajectoire de référence GPS dans le sens longitudinal et transversal par rapport à la direction du vol. Les lignes pointillées rouges englobent 95 % des valeurs.

ATC	MRT	Partie de vol	Along-track RMS [m]	Across-track RMS [m]	Along-track Stdev [m]	Across-track Stdev [m]
EC	**Standard**		**120 m**	**120 m**	**n.a.**	**n.a.**
GVA	ACC	2.1	442.8	116.4	42.6	113.2
GVA	ACC	2.2	146.6	134.5	56.1	71,4

Tableau 5 : Erreurs RMS dans le sens longitudinal et transversal de la trajectoire de vol du MRT de Genève et de Zurich, comparées avec les exigences du standard Eurocontrol pour « En-route ».

ATC	MRT	Partie de vol	Along-track RMS [m]	Across-track RMS [m]	Along-track Stdev [m]	Across-track Stdev [m]
EC	**Standard**		**50 m**	**50 m**	**n.a.**	**n.a.**
ZRH	APP	1.1	197.3	135.5	153.9	132.8
ZRH	APP	1.2	81.0	125.0	49.2	74.1
ZRH	APP	3.1	82.2	157.4	51.4	51.6
ZRH	APP	3.2	158.6	114.9	40.5	81.3
ZRH	APP	3.3	139.5	126.3	44.2	114.9
ZRH	APP	3.4	174.1	139.4	125.6	39.7
ZRH	APP	3.5	94.7	110.0	64.3	106.1

Tableau 6 : Erreurs RMS dans le sens longitudinal et transversal de la trajectoire de vol du MRT de Genève et de Zurich, comparées avec les exigences du standard Eurocontrol pour « Approach ».

Les erreurs RMS des positions du MRT dépassaient les valeurs d'Eurocontrol dans 17 cas sur 18. Le MRT restitue pour l'essentiel les erreurs de la source radar dominante.

2.3.4 Différence des présentations concernant l'AIRPROX du 7 mai 2001

La figure 12 du MRT de l'ACC GVA et la figure 13 pour FLORIDA permettent d'établir avec certitude le point de comparaison suivant : pour FLORIDA, à 12:08:46 les F5 volaient à une distance de 9.5 km du trafic BZH 842. Pour l'ACC GVA, la distance interpolée à ce moment-là n'était que de 8.4 km. Il est fort probable que cet écart est à attribuer aux différences horaires dans les deux systèmes radar. La distance minimale, qui présente une différence supérieure à un facteur 2, et les sens de vol nettement différents à ce moment sont à attribuer à un point aberrant (« Positional Jump ») dans les données radar de GVA. La différence horaire entre les deux systèmes ainsi que le point aberrant (« Positional Jump ») empêchent toute reconstitution exacte de l'AIRPROX. La présentation erronée de la situation aérienne a cependant une importance considérable au niveau des deux systèmes radar, notamment pour le guidage des aéronefs par les contrôleurs de la circulation aérienne.

2.4 Conclusion

Dans le cas du vol de mesure du 30 juin 2000, Genève a travaillé avec un canal défectueux du SSR de La Dôle. La valeur de 500 m RMS spécifiée par Eurocontrol, laquelle est la condition nécessaire à la séparation minimale de 5 NM, est ainsi dépassée.

L’exigence d’Eurocontrol imposant une référence de temps commune – *« coordinated universal time (UTC) as specified in ICAO Annex 5 shall be used to time stamp radar data. »* – n’est pas satisfaite par Skyguide. Cette situation est inquiétante, notamment en vue de la coordination avec les systèmes de guidage des vols des pays voisins, et du contrôle de l’espace aérien militaire, car des différences de temps de quelques secondes dans les différents systèmes suffisent déjà pour détériorer l'exactitude de positionnement des aéronefs en mouvement de plus de 500 m au niveau des points de jonction entre les systèmes. En dépassant les 500 m, l'exigence d'exactitude pour une séparation de 5 NM n'est plus respectée.
Les valeurs concernant l'exactitude du SSR telles que déduites du vol de mesure du 5 décembre 2000 montrent que les erreurs aléatoires du SSR ne satisfont que partiellement aux exigences d’Eurocontrol. Cependant aucun des SSR ne satisfait aux exigences relatives aux erreurs systématiques.

La conception du MRT de Skyguide a pour effet que son exactitude est déterminée en fonction de l'exactitude du radar dominant dans la mosaïque correspondante du MRT. De plus, l'exactitude du SSR est encore dégradée, par exemple du fait que les altitudes manquantes sont mises à zéro, ce qui peut donner lieu à des erreurs de projection en fonction de la distance par rapport au SSR, ou du fait que les mesures du SSR sont extrapolées sur la grille de temps du MRT. Le MRT de Skyguide dépasse généralement d’un multiple les tolérances d'exactitude du suivi d’un vol rectiligne, même sous des conditions optimales telle que celles qui étaient réunies lors du vol de mesure du 5 décembre 2000.

L'exactitude pour la présentation sur la console du contrôleur de la circulation aérienne à la sortie du MRT n'est pas toujours suffisante pour respecter les séparations minimums.

Le vol de mesure du 30 juin 2000 a encore démontré qu’il est possible de travailler *sans le savoir* pendant une durée indéfinie avec un système défectueux qui ne remplit plus les conditions en matière d'exactitude.

2.5 Recommandations de sécurité

- Les SSR de Skyguide doivent être améliorés de manière à ce qu’ils répondent aux exigences d'exactitude du standard Eurocontrol, notamment du point de vue des erreurs systématiques.

- L’adhérence aux spécifications du standard Eurocontrol doit être exécutée soit périodiquement soit en temps réel.

- Le taux de rafraîchissement des pistes MRT pour l’ACC doit être raccourci, et passer de 12 secondes aux 8 secondes exigées par Eurocontrol.

- Le respect des spécifications d'exactitude doit être prouvé périodiquement par l'évaluation des systèmes SSR et MRT avec des moyens appropriés.

- Les données SSR et le MRT doivent être horodatées par une base de temps commune qui se base sur le temps universel (UTC). Jusqu'à la réalisation de la base de temps, il faut déterminer la séparation minimale nécessaire par rapport aux autres systèmes de guidage de vol (GVA/ZRH, civil/militaire, CH/pays voisins) et l'augmenter en conséquence si nécessaire.

3 Trafic non présenté ou disparaissant de l'écran du CCA

3.1 Description des faits

L'incident du 2 décembre 1999 a été signalé au BEAA :

> « *Un incident de trafic est évité de justesse entre un avion à destination de Genève (TAR 700, descente stoppée à la dernière minute) et un avion en transit au niveau de vol 240 (RGI 672K) non visualisé sur les ICWS radar du secteur de contrôle concerné (KINES). Le radariste du 6ème secteur (position physique adjacente) ne voit pas non plus cet avion sur son écran après avoir effectué la manipulation adéquate. Cet avion n'est correctement visualisé qu'après affichage du code demandé par Genève ».*

Les CCA posent le problème comme suit :

> « *Les ICWS peuvent ne pas visualiser un avion au secteur où il est attribué, comme dans d'autres secteurs où il devrait également être visible sous un statut différent ou après une manipulation adéquate »*.

Le 20 mai 2001, l'ACC GVA a émis 2 ATIR concernant la disparition d'aéronefs de l'écran des CCA.
A 0806 (UTC), les vols CFG 909 (un Boeing 753) et A2A 318 (un MD 82) se sont croisés au FL 350 à 20 NM au sud-ouest d'Aoste. Le contrôleur a rapporté : « *During radar separation between CFG 909 and A2A 318 radar contact is lost with CFG 909 just before crossing the track (~10 NM) »*.
Un incident similaire est survenu à 0940 entre un MD 87 et un A 306 (Airbus 300-600) au-dessus d'OMETA : « *While radar separation is in progress between OAL 201 and JKK 103, OAL 201 disappears completely from the screen. Req. of IDENT brings him back ~1 MIN. »*
Mais il existe également des rapports de GVA APP concernant des aéronefs qui n'ont pas été vus. Un ATIR du 18 juin 2001 en est un exemple : « *LACK OF RADAR (MRT) DETECTION BTN KELUK AND LIRKO. ACFT ONLY SEEN BY NEVERS RADAR. ACFT "SEEN" USING "FALLBACK". BTN GVA AND SALEV, ONLY SEEN BY NEVERS RADAR. NEARLY NO MRT, LA DOLE OR ASR10 DIDN'T PICK UP ACFT CORRECTLY ».* Ce rapport concerne FGFJG (un C 185) en descente au FL 90, représenté dans l'illustration suivante :

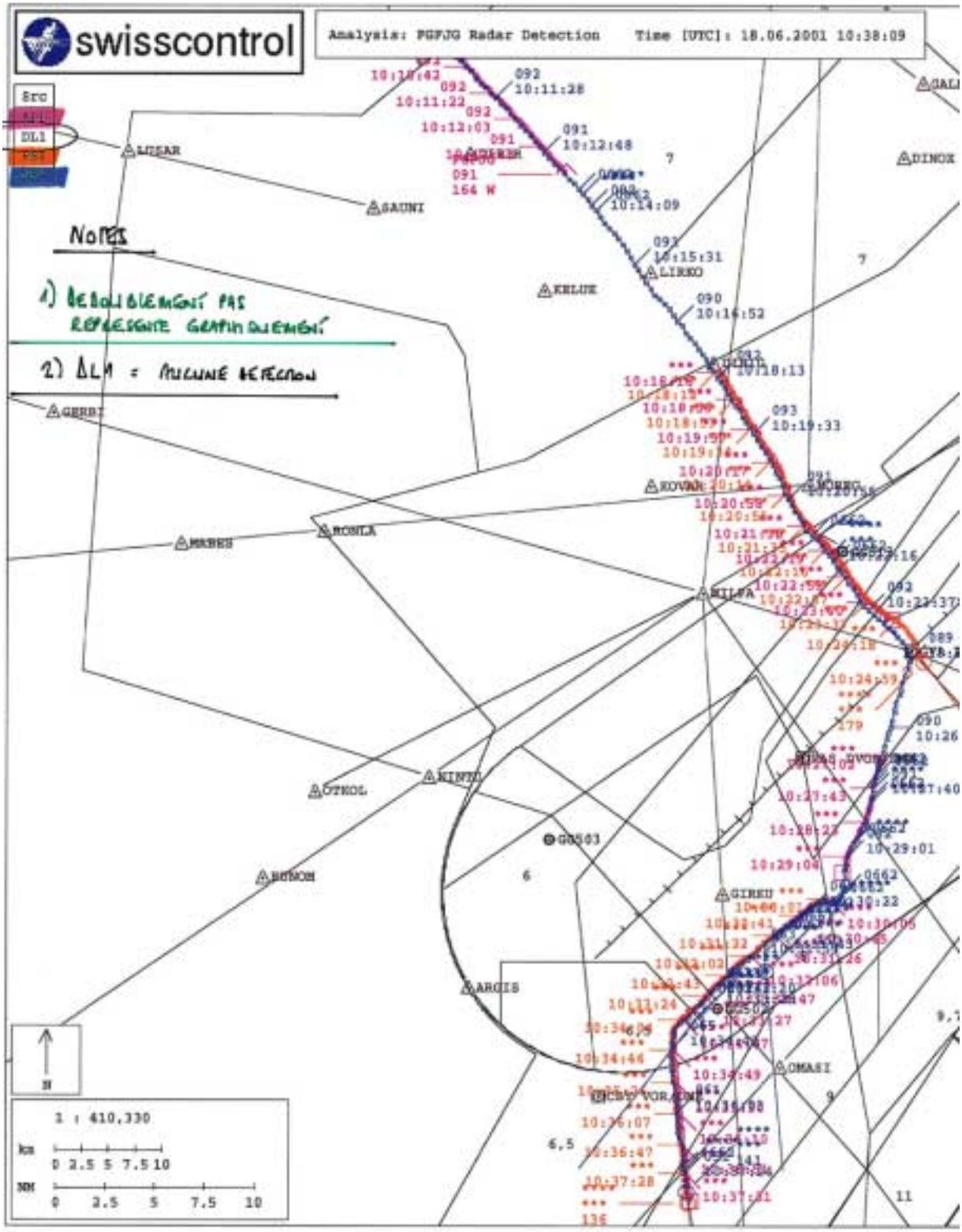


Figure 16 : (tracé original de Skyguide) Pour le vol FGFJG du 18 juin 2001 au FL 90, la Dôle (DL1) n'a fourni aucune donnée radar. Même le MRT (APP) présente des lacunes de plusieurs minutes. Seul Nevers (NEV) détecte l'aéronef. Même le radar primaire (« Approach ») de Genève (PS1) ne détecte que des parties de la trajectoire. L'écart croissant entre NEV et

PS1 est à attribuer aux erreurs de projection des données PS1 qui ne comportent aucune indication de hauteur.

3.2 Faits établis

Les analyses ont permis d'identifier 6 causes possibles de non-présentation d'un aéronef sur l'écran :

- Perturbations du transpondeur par des liaisons à faisceaux hertziens.
- Transpondeur non conforme aux spécifications.
- Aéronefs en provenance d'une zone ORCAM voisine et qui ont été filtrés par la station de travail ICWS du contrôleur en charge.
- La charge de trafic dépasse la capacité des éléments du système radar.
- Aéronefs sans transpondeur, respectivement avec un transpondeur défectueux ou délibérément éteint (absence de PSR).
- Espace aérien sans couverture radar

3.2.1 Perturbations du transpondeur par des liaisons à faisceaux hertziens

Comme indiqué dans le chapitre 3.1, des aéronefs disparaissent de façon répétée de l'écran radar dans la région d'Aoste. Une analyse de Skyguide a révélé qu'il existe dans cette région des liaisons à faisceaux hertziens dans la gamme de fréquences de 1030 MHz. Le récepteur du transpondeur est alors perturbé, car la fréquence de l'interrogation du SSR (liaison montante) est de 1030 MHz.

3.2.2 Transpondeur non conforme aux spécifications

La FAA (Federal Aviation Authority) a mené une étude sur le respect des spécifications par les transpondeurs : «A Field Study of Transponder Performance in General Aviation Aircraft» (DOT/FAA/CT-97/). L'étude a donné lieu aux conclusions suivantes :

« Only 4 percent of the sample transponders that were tested during this study were able to meet performance specifications on all 31 test parameters. Examination of the test parameters that were commonly failed, and the magnitude of the performance deviations on these parameters, indicated that many of the detected problems would not materially affect the transponder's ability to operate with existing secondary radar and Traffic Collision Avoidance System (TCAS) processors. However, an analysis of the operational implications of some of the failures showed that approximately 17 percent of the transponders would create functionally significant problems when interacting with ground Secondary Surveillance Radar (SSR) processors, TCAS, or both. These problems included 12 percent of the transponders that would not be detected by an interrogator or would experience intermittent detection failures.

Some of the detailed findings obtained in this study were unexpected and are particularly noteworthy. Results identified a second make/model of transponder that

sometimes exhibits an operational flaw originally detected in Terra transponders. These transponders fail to reply consistently to interrogations used by the Mode Select (Mode S) radar system and by TCAS to acquire targets. This failure prevents the transponders from being detected by TCAS, and would be invisible to Mode S radar if the modification introduced to deal with the Terra transponders were removed from the Mode S processor.

A second notable finding was that a large number of transponders either exhibited significant altitude errors or failed to report an altitude during testing. The result indicates that the warmup time required for transponder/altitude encoders to achieve acceptable performance might be much longer than is commonly believed.

Thirty percent of the transponders failed at least one of the seven tests that must be performed as part of the biennial inspection required by FAR Part 43. The average transponder in the sample had received its last biennial inspection approximately 16 months prior to being tested in the study. However, the data indicate that there was no correlation between the time since last inspection and the number of biennial test failures.

Although acceptable performance was not predicted by how recently a transponder had received its biennial inspection, it was significantly associated with the pilot's use of air traffic control (ATC) radar services. Less than one-half as many transponders owned by pilots who had recently flown Instrument Flight Rules (IFR) or used Visual Flight Rules (VFR) flight following failed an operationally significant test than those owned by pilots who had not used radar services. This result suggests that pilots who use radar services may be using any feedback they receive from ATC as a basis for transponder maintenance decisions. »

3.2.3 ORCAM selon l'exemple de l'AIRPROX du 24 août 2000

Dans le cas de l'analyse de l'AIRPROX du 24 août 2000, entre les vols SWR 302 (un Airbus 321) et SWR 3633 (un Saab 2000), il a été constaté que le MRT de Zurich ne corrèle, avec les plans de vol, que les codes transpondeur prévus pour le secteur correspondant de Zurich : cela veut dire que les données radar, qui ne sont pas corrélées, peuvent ne pas apparaître à l'écran du contrôleur de la circulation aérienne (filtré).
ORCAM (Originating Region Code Assignement Methodology) est une procédure d'attribution du code transpondeur SSR conformément aux règles du plan de navigation aérien de l'OACI, région Europe. Les règles ORCAM ont pour but de diminuer à la fois le nombre de codes identiques dans la région concernée et le nombre de changements de code pendant le vol.
Pendant l'AIRPROX du 24 août 2000, le vol SWR 3633 de Gênes vers Zurich se trouvait encore dans la zone de compétence de Milano Control et n'a pu être reconnu sur la console du CCA zurichois responsable du vol SWR 302

3.2.4 Dépassement de la capacité des éléments du système radar

Tous les éléments de la chaîne de traitement, du radar à la console, ont une capacité de traitement limitée ainsi qu'une capacité de transfert limitée à l'élément suivant de la chaîne. Les capacités s'expriment en nombre maximum de trajectoires aériennes dans la zone de détection (par exemple : 360° en azimut, jusqu'à la distance maximale et à l'altitude maximale pour un radar). Outre ces limites de charge, il

existe également des limites pour des parties de la zone de détection (par exemple secteur azimutal pour un radar), lesquelles déterminent les charges de pointe possibles. Il n'est pas tenu compte de ces charges de pointe.

Dans une réponse du 31 mars 2000, Skyguide indique des valeurs pour le MRT ZRH : *« In ZRH ist die Lastgrenze heute bei 350 gleichzeitig bearbeitbaren Tracks, Dieser Wert wurde bis heute im praktischen Betrieb nie erreicht. Die höchste jemals festgestellte Last war 308 Tracks. »* Skyguide se réfère aux alarmes intégrées au niveau du MRT et d'ADAPT, lesquelles n'ont encore jamais été déclenchées. Skyguide écrit cependant le 31 mars 2000 : « *Die Begrenzung der Anzahl bearbeitbarer Tracks ist sowohl durch die verwendete Software, wie auch durch Beschränkungen der eingesetzten Hardware gegeben. Inwieweit diese Grenzen mit dem heutigen System noch erhöht werden kann, wird zur Zeit noch untersucht. »*

Déclaration de Skyguide du 11 octobre 2000 concernant le MRT de Genève : *« Die maximale Last des MRT beträgt heute 220 Tracks. Es wird jedoch keine systematisierte Statistik geführt. Am Arbeitsplatz SYMA wird ein Alarm ausgegeben, wenn die Anzahl der verarbeiteten Tracks 350 übersteigt. Ausserdem hat SYMA jederzeit die Möglichkeit, die aktuelle Anzahl verarbeiteter Tracks am Monitor mit zu verfolgen. »*
Déclaration de Skyguide du 11 octobre 2000 concernant les ICWS :

« There was a case of a missing aircraft in Geneva on 23-Dec-1997 (shortly after the installation of the ADAPT-ICWS in Geneva) – the diagnosis was, that the X-Client reached its track limit. This problem was fixed and safeguards were put in place (a MAJOR warning message is displayed at the SYMA position when the track limit is at the 90% and another when it is at 100%). For the problem of 02-Dec-1999, this was checked and no message was recorded at SMP. We can also confirm that until now no such Major Warning Message ever appeared. »

Une alarme s'affiche à la positon SYMA quand la charge du MRT atteint 90 % (100 % correspondent à 300 pistes à Genève et 350 pistes à Zurich). Skyguide indique que cette valeur n'a jamais été atteinte.

Une alarme s'affiche également à la position SYMA quand la charge d'un ICWS (écran d'un CCA) atteint 90 % (100 % correspondent à 1001 pistes affectées à un plan de vol). Skyguide indique que cette valeur n'a jamais été atteinte depuis que l'alarme a été mise en service. La capacité du logiciel avait été améliorée et une alarme installée après avoir constaté la perte de trajectoires de vols lors de la mise en service.

Les alarmes du MRT et des ICWS ne font cependant pas l'objet d'un contrôle périodique.

A l'exception des deux alarmes décrites ci-dessus, il n'existe aucun diagramme de charge ou de tendance de surcharge qui puisse être visualisé ou enregistré pour l'un ou l'ensemble des éléments du système radar.

Un dépassement de la charge du MRT ou de l'ICWS provoque une perte de pistes. Il est impossible de prévoir quelle piste sera perdue.

Concernant la capacité du système radar, les valeurs sont les suivantes :

		Capacité de traitement	Capacité de transfert
Sources radar	La Dôle	511	236
	Cointrin	255	156
	Lägern	511	472
	Kloten-Holberg	255	?
	TG	255	174
	Gosheim	?	?
	Nevers-Le Télégraphe	?	316
	Chaumont-Cirfontaines	?	316
	Mte Lésima	?	224
MRT (traitement)		511	300/350
ICWS (visualisation)		1001	

Tableau 7 : Valeurs pour la charge maximale des éléments du système radar, exprimées en nombre de pistes (courrier de Skyguide du 12 octobre 2000)

Skyguide a communiqué de nouvelles informations concernant la charge et la capacité à l'occasion d'une réunion entre Skyguide et le BEAA, tenue le 11 octobre 2001 :

- Le nombre de pistes traitées par le MRT est affiché à la position SYMA, puis archivé pendant 2 mois pour pouvoir être analysé en cas de besoin.
- Skyguide a un projet « 512 » en cours qui a pour but d'augmenter la capacité du MRT. L'amélioration est opérationnelle à Zurich depuis juin 2001. La réalisation à Genève est prévue en novembre 2001.
- Capacités du MRT le 11 octobre 2001 : 450 pistes à ZRH et 350 pistes à GVA.

Skyguide n'a apporté aucune réponse à la question du BEAA à propos d'études ou de rapports internes destinés à analyser la charge existante, qui ont vraisemblablement été effectués avant le début de la phase d'extension des MRT de ZRH et de GVA.

Le système Florida comme exemple de charge système actuelle.

Du fait que la charge du système radar n'est pas enregistrée par Skyguide, l'exemple indiqué ici reprend le nombre de pistes traitées par FLORIN (MRT de FLORIDA). FLORIN passe en surcharge avec 350 pistes systèmes et commence à supprimer les pistes au bord de la zone de détection. La zone de détection de FLORIN est supérieure à la zone traitée par le MRT Skyguide.

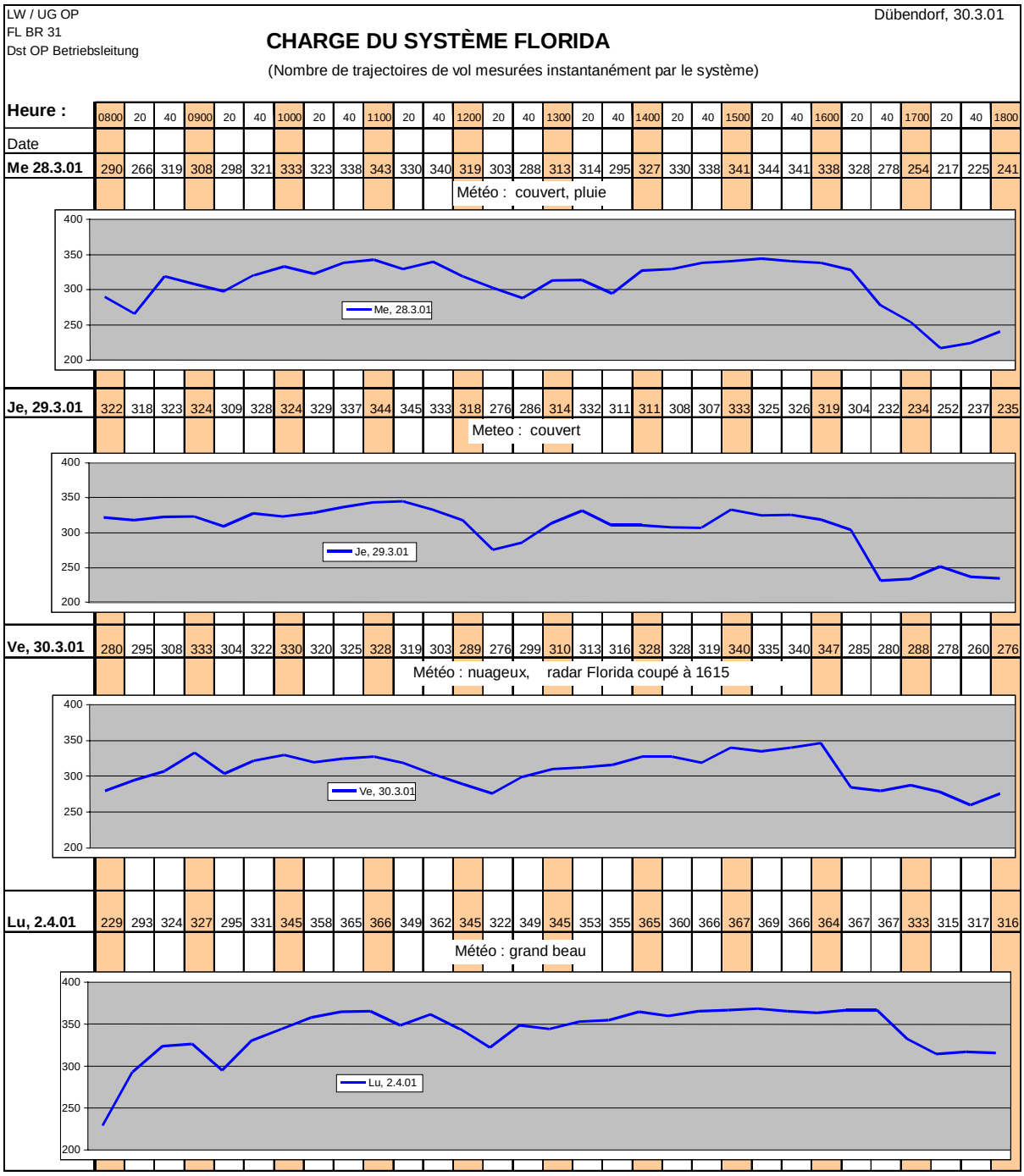


Figure 17 : Nombre de pistes systèmes dans l'exemple de FLORIN (MRT FLORIDA). A partir de 350 pistes systèmes, FLORIN limite la charge en réduisant les bords de la zone de détection.

La répartition de la charge dépend de la position des couloirs aériens qui constituent le trafic. Voici la répartition des pistes systèmes qui ont été enregistrées pendant une période de 5 heures le 2 avril 2001.

Figure 18 : Somme de toutes les pistes qui ont été enregistrées par FLORIN le 2 avril 2001 pendant la période entre 13H00 et 18H00.

3.2.5 Aéronefs sans transpondeur (radar primaire)

L'ACC de Genève ne dispose plus des données d'un radar primaire (« En-route ») depuis septembre 1998. Les aéronefs dont le transpondeur est défectueux ne peuvent plus être détectés par le MRT de l'ACC GVA et ne sont plus affichés sur les écrans. Il en est de même pour les aéronefs qui éteignent leur transpondeur pour ne pas être identifiés.
L'intégration du radar primaire militaire n'est pas prévue dans le cadre du projet ATMAS et FLORAKO. Dans le projet ATMAS, l'utilisation de la situation aérienne commune préparée par FLORAKO se limite à la mise en œuvre de la possibilité d'affichage dans une fenêtre sur la console.

3.2.6 Espace aérien sans couverture radar

Certaines parties de l'espace aérien suisse sont sans couverture radar, notamment en raison de la topographie. Un trafic qui pénètre dans une zone sans couverture radar disparaît de l'écran du CCA.

3.3 Analyse

3.3.1 Perturbations du transpondeur par des liaisons à faisceaux hertziens

Une perturbation de transpondeur peut conduire à ce qu'un SSR ne reçoive plus aucune réponse. La piste est effacée si le MRT n'obtient, 3 fois de suite, aucune donnée du SSR. Pour réapparaître sur la console du contrôleur de la circulation aérienne, la piste doit tout d'abord être initialisée par les données du SSR puis reconstituée.

3.3.2 Transpondeur non conforme aux spécifications

L'étude de la FAA se base sur l'analyse d'une large palette de 548 transpondeurs de 12 constructeurs différents installés dans des appareils privés ou d'usage commercial de l'aviation générale. Les transpondeurs ont été testés avec le système de test "DATAS" du William J. Hughes Technical Center de la FAA.

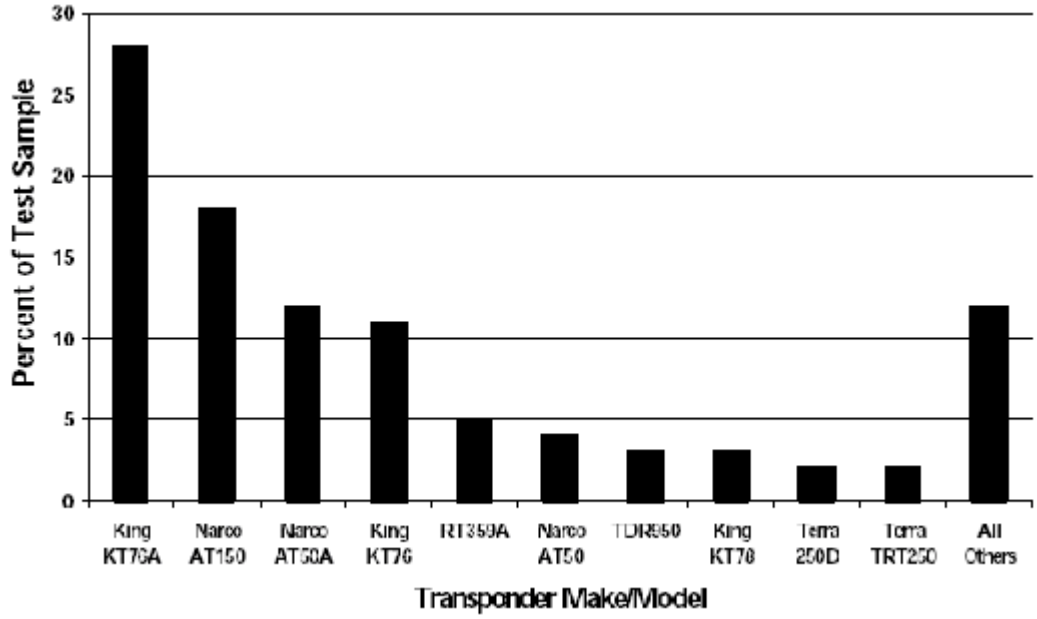


Figure 19 : Selon la FAA, répartition des modèles de transpondeur examinés pour leurs spécifications en fonction des différents fabricants.

Les problèmes de non-conformité aux spécifications des transpondeurs, constatés dans l'étude de la FAA, sont également d'importance pour Skyguide.

Les CCA ont constaté que les aéronefs de type Dornier 328, par exemple, qui sont équipés du transpondeur Honeywell RCZ833, disparaissent fréquemment de l'écran.

Les réponses inexploitables peuvent avoir pour conséquence que la piste ne puisse plus être renouvelée, qu'elle soit ensuite supprimée (par le MRT après 3 manques), et qu'il faille ensuite la réinitialiser et la reconstituer

3.3.3 Aéronefs en provenance d'une zone ORCAM voisine

Du fait de la limitation de la corrélation des données SSR par le MRT de Zurich aux pistes avec code transpondeur corrélé avec les données d'un plan de vol en cours a pour conséquence que les aéronefs qui pénètrent dans cette zone en provenance d'une zone ORCAM voisine ne sont affichés avec certitude que si les données du plan de vol correspondent au code réellement programmé, et si le changement des données du plan de vol est synchronisé avec le passage dans la zone suisse. Une extension de la corrélation aux codes dans les deux zones ORCAM voisines pourrait réduire considérablement le problème des aéronefs invisibles lors de la transition entre les zones ORCAM.

3.3.4 Capacité et surcharge des éléments du système radar

Les exemples de nombre de pistes systèmes fournies par FLORIN donnent une indication de la charge du MRT de Skyguide.
La surface couverte par FLORIDA est environ 50 % plus grande que celle couverte par les deux MRT de Skyguide. En supposant une répartition identique, la charge du MRT de Skyguide serait alors de 1/3 inférieure à celle de FLORIN. A partir de 350 pistes, FLORIN limite la charge en réduisant les bords de la zone de détection. La limite de 350 pistes est aujourd'hui fréquemment dépassée au niveau de FLORIN. Des charges de plus de 450 pistes sont courantes dans l'espace aérien couvert par FLORIN. Si l'on tient également compte de la forte densité de trafic aérien au-dessus de la Suisse selon la figure 18, les charges FLORIN indiquent alors clairement des charges de plus de 300 pistes dans la zone de détection des MRT de Skyguide. Seul Skyguide est en mesure de collecter et d'interpréter des données quantitatives fiables sur la charge et la répartition des pistes au niveau de chacun des éléments.

3.3.5 Aéronefs sans transpondeur (radar primaire)

La tâche du contrôle du trafic aérien exige aussi une surveillance de la région aérienne contrôlée en considération des dangers créés, pour les aéronefs contrôlés, par d'autres aéronefs. Cependant, comme dans le cas de l'ACC de Genève, où aucun radar primaire (« En-route ») n'est disponible, les aéronefs sans transpondeur, respectivement les aéronefs avec un transpondeur défectueux ou délibérément déclenché ne seront pas détectés et ne seront pas présentés au CCA.
Par la liaison des radars primaires militaires existants, respectivement en cours d'acquisition, dans l'élaboration de la situation aérienne pour Skyguide, la tâche de surveillance aérienne pourrait être à nouveau possible.

3.3.6 Espace aérien sans couverture radar

Un espace aérien sans couverture radar peut également apparaître dans le système radar de Skyguide dans certaines régions topographiques avec des zones d'ombre radar; qui surviennent pour une zone MRT où les 3 radars prédéfinis sont en défaut.

3.4 Conclusion

Les aéronefs dans la zone de compétence de Skyguide peuvent ne pas être présenté ou disparaître de l'écran du contrôleur de la circulation aérienne responsable. Ces non présentation ou disparitions peuvent avoir différentes causes :

- Perturbations du transpondeur de l'aéronef, provoquées par exemple par des liaisons à faisceaux hertziens dans la gamme de fréquence du SSR de 1030 MHz.
- Certains transpondeurs ont des problèmes avec l'interrogation du SSR en raison de paramètres qui sont hors spécification.
- Dans certaines circonstances, les aéronefs en provenance d'une zone ORCAM voisine sont filtrés et ne sont ainsi pas affichés.
- Si la charge dépasse les limites de capacité des éléments du système radar, les pistes sont alors complètement ou partiellement (pour certains SSR) perdus de manière imprévisible. Il n'existe aucune mesure ciblée destinée à ramener la charge en deçà des limites de capacité en tenant compte des pertes de performance (par exemple réduction de la portée).
- L'ACC de Genève travaille sans radar primaire (« En-route »). Les aéronefs sans transpondeur ou avec un transpondeur défectueux ou délibérément éteint ne sont ni détectés ni affichés.

En l'absence de radar primaire, il est seulement possible de guider le trafic coopératif, mais il est impossible d'assurer une surveillance de l'espace aérien.

3.5 Recommandations de sécurité

- Il faut non seulement assurer la tâche de contrôle de l'espace aérien (SSR) mais également celle de la surveillance de l'espace aérien à l'aide d'un radar primaire performant (PSR).
- Les aéronefs suivants doivent également apparaître dans la situation aérienne affichée au CCA :
    - ceux dont le transpondeur est perturbé.
    - ceux qui sont équipés d'un transpondeur non conforme aux spécifications.
    - Ceux provenant d'une zone ORCAM voisine et entrant dans l'espace aérien suisse.

  - ceux dont le transpondeur est défectueux.
  - ou encore ceux qui volent avec un transpondeur éteint.
- La charge dans les différentes partie des systèmes doit être régulièrement contrôlée, enregistrée et faire l'objet d'une évaluation systématique.
- Il faut vérifier périodiquement les alarmes qui signalent un dépassement des valeurs critiques.
- Il faut prendre des mesures permettant une diminution contrôlée de la charge système si celle-ci tend à dépasser les limites de capacité.
- Avant d'autoriser une augmentation du trafic aérien dans l'espace aérien suisse, il faudra impérativement vérifier si les systèmes techniques existants suffisent.

Sur la base de l'étude sur les transpondeurs, la FAA recommande :

- *« The results of this study were the basis for recommending the pursuit of follow-on research initiatives aimed at: (1) the in-depth investigation of operationally significant transponder failures, (2) determining the technical health of transponders carried by commercial aircraft, and (3) identifying the level of transponder and altitude encoder performance that will be needed for safe operations in the future Free Flight environment.*
- *A further recommendation is made to examine the need for improved methods and procedures to ensure the performance of transponders operating in the NAS. It is recommended that this be accomplished by forming a special committee composed of members drawn from government, industry, and GA user organizations. As a part of its charter, the committee should be tasked to: (1) examine current and future transponder performance requirements for safe NAS operations, (2) evaluate the effectiveness of biennial tests in meeting these requirements, and (3) make recommendations for methods and evaluation procedures that would support a consistently high level of transponder performance in the GA population, and (4) assess any system safety impact with either TCAS or SSR/NAS operations if determined to be a problem and suggest corrective action.* »

4 « Legal Recording » de la situation aérienne

4.1 Description des faits

L'incident radar suivant du 2 décembre 1999 a été signalé par écrit au BEAA par des CCA :

> « *Un incident de trafic est évité de justesse entre un avion à destination de Genève (TAR 700, descente stoppée à la dernière minute) et un avion en transit au niveau de vol 240 (RGI 672K) non visualisé sur les ICWS radar du secteur de contrôle concerné (KINES). Le radariste du 6ème secteur (position physique adjacente) ne voit pas non plus cet avion sur son écran après avoir effectué la manipulation adéquate. Cet avion n'est correctement visualisé qu'après affichage du code demandé par Genève.* »

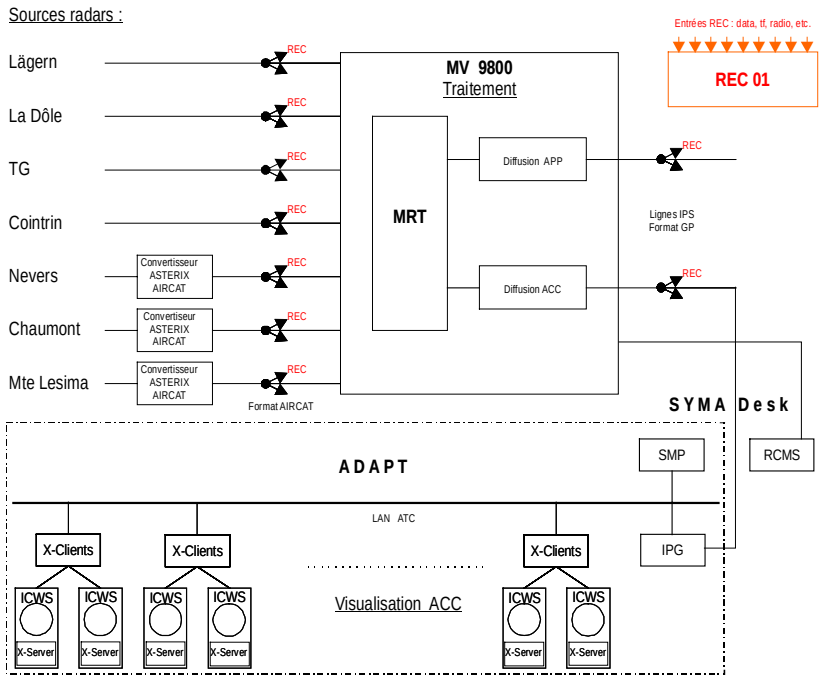
Dans leur conclusion, les CCA ont noté, à propos de l'incident du 2 décembre 1999, la remarque suivante :

> « *Cet avion, qui n'est pas visualisé sur les ICWS, l'est sur l'enregistrement de la situation radar* ».

Il faut trouver la réponse à la question suivante : est-ce que la reproduction de l'enregistrement des pistes radar par le système « Legal Recording » de la situation aérienne peut se différentier de celle présentée aux CCA sur leur station de travail ?

4.2 Faits établis

Le schéma bloc suivant montre que le système « Legal Recording » (REC01) enregistre les données radar à l'entrée du MRT (sources radar) et les données traitées (pistes ACC et APP) à sa sortie :



Les éventuelles erreurs ou pertes provoquées par le système ADAPT et par l'influence des réglages de chacun des postes de travail (ICWS, écrans) sont ignorés par le « Legal Recording ».

Concernant le « Legal Recording », le standard Eurocontrol contient la déclaration suivante :

« *The recording medium and mechanism should be such that a complete reconstruction of the surveillance data presentation, display settings and selections can be produced at the controller's display position.* »

Les affirmations suivantes sont à retenir dans le rapport de la 19ème réunion ATCOM :

« *The source used for the investigation is based on a mono-radar distance. The controller uses a certain processed picture, which is not always identical to the picture printed with the ATL evaluation software. ... In a further Step (REC02), the set-up of the working places, the various inputs into the working stations, the positioning of the windows will be included in the recording* »

La phase d'extension REC02 du système « Legal Recording » n'a pas été réalisée jusqu'à présent.

Skyguide a écrit, dans sa réponse du 8.9.1998 à la recommandation intermédiaire du BEAA, au sujet de la presque-collision SWR3779/CRX985 du 15 juin 1998 :

« *Il reste bien sûr la question de la fiabilité des enregistrements radar en cas d'enquête. Je pense pouvoir affirmer qu'en l'espèce, les enregistrements monoradars présentent une précision et une cohérence suffisantes pour pouvoir établir les faits en cas d'incident* ».

4.3 Analyse

Skyguide suggère d'utiliser une seule source radar (SSR) à la place du MRT pour l'analyse d'un accident ou d'un incident, car il est plus facile de classifier la cohérence et l'exactitude d'une source radar unique.

Mais le CCA prend ses décisions en se basant sur les données du MRT. Ce sont également celles-ci qui sont enregistrées par le système « Legal Recording », mais pas sous la forme ou elles sont affichées pour le CCA. Le logiciel de présentation est notamment influencé par l'historique des actions et des processus depuis la mise en route de la station de travail. En considération de la complexité du logiciel, une « relecture » des données permettant d'émettre une affirmation en toute certitude concernant la situation aérienne effectivement affichée est considérée comme insuffisante.

Cela diminue, voire annule, la possibilité d'analyse d'un incident ou d'un accident.

4.4 Conclusion

L’enregistrement des données radar à l'entrée et la sortie du MRT est insuffisant pour une reconstitution complète de la situation aérienne telle qu’elle se présentait sur la console du CCA responsable. Le « Legal Recording » peut être différent de la présentation sur les consoles.

4.5 Recommandations de sécurité

Il faut adapter le système « Legal Recording » conformément à la recommandation Eurocontrol de manière à permettre une reconstitution complète au niveau de la console du CCA, notamment en ce qui concerne la présentation du trafic aérien, des paramètres de l’écran et des réglages de la console.

Berne, le 26 juin 2002 Bureau d’enquête sur les accidents d‘aviation

5 Glossaire

ACC **A**rea **C**ontrol **C**entre
Centre de contrôle régional, il contrôle le trafic "en-route"et les échanges avec les centres voisins (autres centres de contrôle régionaux ou d'approche). En Suisse il y a deux ACC : Genève et Zurich.

ADAPT **A**ir Traffic Management **D**ata **A**cquisition **P**rocessing and **T**ransfert
Nom du projet lancé par Swisscontrol, au début des années quatre-vingt, pour remplacer les équipements des systèmes du contrôle aérien civil suisse par des stations de travail intégrants l'ensemble des fonctions techniques. Seule, la première phase (nouveaux écrans de visualisation : ICWS) a été réalisée (mise en service en 1998) .

AIRCAT *Format utilisé par Thomson-CSF (actuellement "Thales ATM") pour déporter par modem les données des sources radars vers les utilisateurs.*

AIRPROX **AIR PROX**imity
Presque-collision entre deux aéronefs.

AGNES **A**utomatisches **G**PS **NE**tz **S**chweiz
(**A**utomated **G**PS **NE**twork for **S**witzerland)
Réseau composé d'une vingtaine de stations GPS disséminées dans toute la Suisse pour servir de référence nationale afin d'effectuer des relevés avec une grande exactitude.

APP **APP**roach control
Centre de contrôle d'approche, il contrôle les arrivées et les départs dans l'espace associé à un ou plusieurs aérodromes.

ATC **A**ir **T**raffic **C**ontrol
Service de contrôle de la circulation aérienne dans un espace aérien attribué. Est réparti en contrôle d'aérodrome (TWR), en contrôle d'approche (APP) et en contrôle régional (ACC).

ATCAR **A**ir **T**raffic **C**ontrol **A**reas of **R**esponsability
Englobe le contrôle "En Route" et "Approche".

ATCOM **A**ir **T**raffic **COM**mission
Groupe de Skyguide constitué pour débattre des questions professionnelles des contrôleurs de la circulation aérienne (Art 40 de la CCT des contrôleurs).

ATIR **A**ir **T**raffic **I**ncident **R**eport
Rapport sur un incident de la circulation aérienne

BEAA **B**ureau d'**E**nquête sur les **A**ccidents d'**A**viation.
(**BFU** : **B**üro für **F**lugunfall**U**ntersuchungen).
Organisme chargé d'enquêter sur les circonstances et les causes des accidents d'aviation et des incidents majeurs dans le trafic aérien.

CCA **C**ontrôleur de la **C**irculation **A**érienne.

(**FVL** = **F**lug**V**erkehrs**L**eiter)

DGPS **D**ifferential **G**lobal **P**ositioning **S**ystem.
Récepteur GPS dont l'erreur de positionnement est réduite à l'aide de la différence calculée par une station de référence entre sa position vraie et sa position mesurée.

EATCHIP **E**uropean **A**ir **T**raffic **C**ontrol **H**armonisation and **I**ntegration **P**rogramme.
Programme européen d'harmonisation et d'intégration du contrôle de la circulation aérienne. Ce programme s'appelle maintenant EATMP.

EATMP **E**uropean **A**ir **T**raffic **M**anagement **P**rogramme
Programme d'Eurocontrol pour améliorer les performances des systèmes de gestion de la circulation aérienne en Europe pour faire face à l'accroissement du trafic et à la nécessité de contenir les délais.

Eurocontrol *Organisation européenne créée en 1960 pour contrôler les vols internationaux dans l'espace aérien supérieur de ses Etats membres. La Suisse y a adhéré en 1992. L'organisation, qui compte actuellement 28 Etats, a décidé d'augmenter la capacité et l'efficience de tout le système européen de navigation aérienne tout en réduisant les coûts.*

FAA **F**ederal **A**viation **A**dministration
Organisme du Département des transports des Etats-Unis principalement responsabl de la sécurité de l'aviation civile de ce pays.

FLORIDA *Système militaire actuel de surveillance de l'espace aérien suisse et de guidage des vols militaires.*

FLORIN **FLOR**IDA **IN**tegration
Système militaire de poursuite radar pour "Florida".

GP **G**énérateur de **P**istes.
Par extension, nom du format utilisé par Thomson-CSF (actuellement "Thales ATM")pour diffuser les informations MRT (pistes radar).

GPS **G**lobal **P**ositioning **S**ystem
Système de positionnement par satellite à l'échelle du globe.

GVA **G**ene**VA**
Abréviation IATA utilisée pour désigner l'aéroport de Genève.

IATA **I**nternational **A**ir **T**ransportation **A**ssociation
Association internationale fondée en 1919, qui regroupe actuellement presque 280 compagnies d'aviation, dont le but est de les représenter et de les servir.

ICWS **I**ntegrated **C**ontrol **W**ork**S**tation
Station de travail équipée d'un écran graphique couleur de grande dimension pour présenter la situation radar aux contrôleurs.

IPG **I**PS **P**rocessor **G**ateaway

Station de travail effectuant le lien entre les calculateurs MV9800 et le système ADAPT.

IPS **I**ndicateur **P**anoramique **S**ynthétique**.**
Nom des écrans analogiques utilisés pour présenter la situation radar. Ils ont été remplacés par les ICWS du système ADAPT.

LAN **L**ocal **A**era **N**etwork
Réseau local permettant d'interconnecter des systèmes informatiques.

MRT **M**ulti**R**adar **T**racker
Système de poursuite radar.

NM **N**autical **M**ile
Unité de mesure de longueur équivalente à 1852 mètres.

OACI **O**rganisation de l'**A**viation **C**ivile **I**nternationale.
Organisation spécialisée des Nations Unies (ONU) qui a pour but d'élaborer les règles et de promouvoir le transport aérien international. L'OACI compte actuellement 187 Etats membres.

ORCAM **O**riginating **R**egion **C**ode **A**ssignment **M**ethodology
Méthode d'assignation des codes SSR selon la région d'origine du vol. Ce principe permet d'assigner un code qui peut être conservé dans d'autres régions.

PSR **P**rimary **S**urveillance **R**adar.
Radar primaire classique par opposition au radar secondaire (SSR).

REC01 **REC**ording system phase **01**
Système d'enregistrement et de reproduction des données radars et des communications (radio et téléphone).

RCMS **R**emote **C**ontrol and **M**onitoring **S**ystem
PC utilisés pour le contrôle et la supervision des calculateurs MV9800.

RMS error **R**oot **M**ean **S**quare **error**
Erreur moyenne quadratique : est utilisée pour qualifier l'exactitude (erreur absolue) d'une mesure physique.

SMP **S**ystem **M**anagement and Control **P**rocessor
Station de travail utilisée pour le contrôle et la gestion de l'ensemble des équipements ADAPT.

SSR **S**econdary **S**urveillance **R**adar
Radar secondaire : système radar faisant appel à une cible active, c'est-à-dire équipée d'un émetteur-récepteur qui transmet des informations codées utiles (identification et altitude pression).

SYMA **SY**stem **Ma**nager

Position technique en salle de contrôle où est regroupé l'ensemble des terminaux ou des consoles de gestion et de supervision des systèmes techniques majeurs.

TCAS **T**raffic **A**lert and **C**ollision **A**voidance **S**ystem
Système embarqué d'avertissement et d'évitement d'abordage à très court terme, avec des aéronefs équipé d'un transpondeur SSR.

UTC **U**niversal **T**ime **C**oordinated
Temps universel coordonné : temps solaire, à moins d'une seconde près, périodiquement corrigé des variations saisonnières du mouvement de la terre et ayant les qualités métrologiques des étalons atomiques de fréquence. C'est le temps civil de Greenwich, autrefois appelé GMT.

X-Client **X** Window **Client**
Client X : programme utilisateur qui, par l'intermédiaire du protocole X, exploite les services d'un serveur X en lui soumettant des requêtes d'affichage ou de dialogue avec l'utilisateur.

X-Server **X** Window **Server**
Serveur X : programme qui assure la gestion et le contrôle des périphériques d'entrées-sorties (écran, clavier et souris) d'une station de travail graphique X Window.

X Window *Système de fenêtrage, basé sur le modèle client/serveur, fonctionnant de manière distribuée sur un réseau local.*

ZRH **Z**u**R**ic**H**
Abréviation IATA utilisée pour désigner l'aéroport de Zurich.