

# Expérimentation ADS-B sur la plateforme de Dakar-Yoff

*Dans le cadre de ses activités R&D et conformément au plan d'orientations stratégiques approuvé lors des Réunions Statutaires de juillet 2011 à Ndjamena, l'ASECNA a inscrit dans son Plan de Services et Equipements – "PSE" 2015 -2017, le projet "**Extension du plan de surveillance**" qui vise à mettre en place des moyens de surveillance aéronautique complémentaires à ceux déjà déployés ou en cours de déploiement depuis 2013 (Radars secondaires Mode S ou MSSR Mode S); associés à un système ATM TOPSKY disposant d'une capacité multi senseur (Radar, ADS-B, ADS-C, MLAT).*

*En vue donc de déployer d'autres types de senseurs tels que l'ADS-B et de maîtriser d'une part, les contraintes liées à l'installation et à la maintenance, et d'autre part d'évaluer son apport sur le plan opérationnel pour la surveillance du trafic aérien, l'Agence a entrepris des expérimentations sur cette technologie.*

*Ainsi, dans le cadre d'une convention de collaboration signée avec l'Entreprise INDRA en décembre 2014; l'Agence a bénéficié d'un prêt de station ADS-B qui a été déployée sur le site aéroportuaire de Dakar-Yoff pour le déroulement d'un programme d'expérimentation pour une durée de douze (12) mois.*

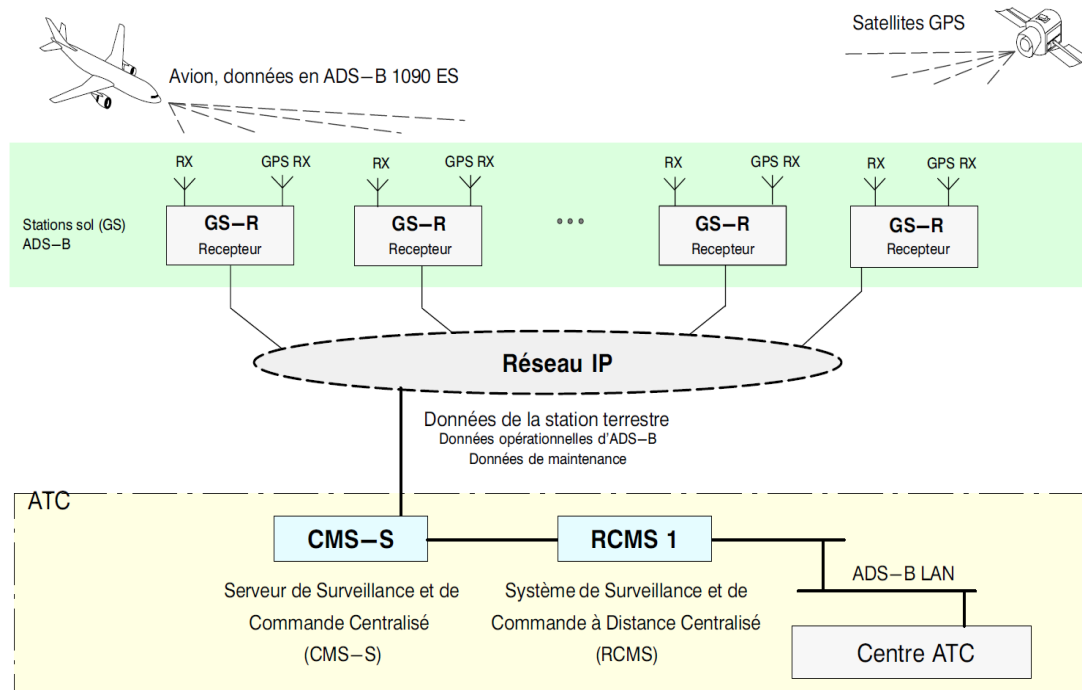
**Les objectifs assignés à ce programme d'expérimentation sont:**

- *Evaluer les contraintes associées à l'intégration de station ADS-B dans notre système ATM (TOPSKY);*
- *Evaluer les bénéfices opérationnels du senseur ADS-B pour une couverture en Surface, en Approche et l'En-route de l'aéroport de Dakar;*
- *Evaluer le trafic équipé de transpondeurs ADS-B dans la FIR de Dakar;*
- *Familiariser les Techniciens de maintenance avec la technologie ADS-B, les contraintes d'installation, d'intégration et de maintenance;*
- *Familiariser les ATCOs avec les fonctionnalités ADS-B et son apport opérationnel;*
- *Rechercher l'adhésion des compagnies aériennes et susciter la réflexion sur l'apport de cette technologie pour le service de Recherche et sauvetage (SAR).*

## **I- ZOOM SUR LA TECHNOLOGIE ADS-B**

**L'ADS-B (surveillance dépendante automatique en mode diffusion)** est une technologie de surveillance qui utilise la diffusion des informations de position par avion comme base de surveillance, au lieu d'un balayage radar pour tracer les cibles aériennes. En effet l'avionique de bord détermine en permanence la position de navigation et le vecteur de mouvement de l'avion.

Le principe de l'ADS-B consiste à rendre ces informations disponibles au moyen d'un mode de diffusion automatique via une liaison de données numérique.



**Schéma de principe de l'ADS-B**

Les aéronefs (ou véhicules) équipés de transpondeurs ADS-B transmettent en continu des informations, directement à partir du système de gestion de vol - FMS. Ces données permettent de fournir un affichage visuel très précis contenant des informations **comme la hauteur (altitude), la vitesse et l'identité, de manière similaire à un radar secondaire, mais de manière plus détaillée et complète.**

**Le système ADS-B offre entre autres les avantages suivants :**

- Encombrement réduit;
- Meilleure perception situationnelle et sécurité accrue pour les pilotes;
- Réduction des retards de taxi/décollage;
- Surveillance accrue sur la surface d'aéroport;
- Réduction des coûts.

L'ADS-B offre d'autres avantages comme des mises à jour plus fréquentes et la possibilité d'acheminer les données dérivées de l'avion comme les mises à jour des conditions météorologiques, l'intention de l'avion et les données avioniques.

*Ces informations peuvent être reçues et traitées par d'autres avions ou systèmes sols en vue d'améliorer la visualisation de la situation aérienne, d'éviter les conflits et de gérer l'espace aérien.*

*Trois technologies de liaison de données ADS-B émergent comme candidats potentiels – à savoir: émetteur-récepteur à accès universel (UAT), liaison de données VHF (VDL) en mode 4 et squitter long 1090 MHz (liaison de données en Mode S).*

***L'OACI a recommandé l'utilisation de la liaison de données 1090 MHz (mode S) comme technologie de liaison de données mondiale aux fins de l'ADS-B.***

*La station sol ADS-B reçoit donc les messages ADS-B (informations sur la position actuelle de l'avion, son altitude, son vecteur de vitesse, son indicatif d'appel, etc) en mode S (squitters longs) périodiquement émis par l'avion équipé d'un tel dispositif ; fournit par la suite les données décodées sous forme de sortie ASTERIX standard via un réseau relié aux applications de surveillance ATC.*

*Enfin, à noter les trois types d'applications ADS-B:*

- ***Applications air-air*** : réception des messages ADS-B par un aéronef ; donc possibilité pour le pilote de voir les autres avions à proximité ;
- ***Applications air-sol*** : fourniture des messages ADS-B aux contrôleurs du trafic aérien et/ou aux appareils de navigation aérienne au sol.
- ***Applications sol-sol*** : indication de la position précise et identification de l'avion et des autres véhicules équipés pour la surveillance de la surface d'aéroport.

*L'application traditionnelle de la technologie ADS-B est la surveillance en route avec une couverture théorique allant jusqu'à 250 NM. Les autres applications incluent la surveillance de l'aire terminale et la surveillance de la surface d'aéroport.*

## **II- INSTALLATION DE LA STATION DE DAKAR**

### **II-1- ETUDE THEORIQUE DE COUVERTURE**

*Dans le but de déterminer le meilleur emplacement pour la station (antenne), une étude théorique de couverture a été réalisée. Cette étude a tenu compte des contraintes suivantes:*

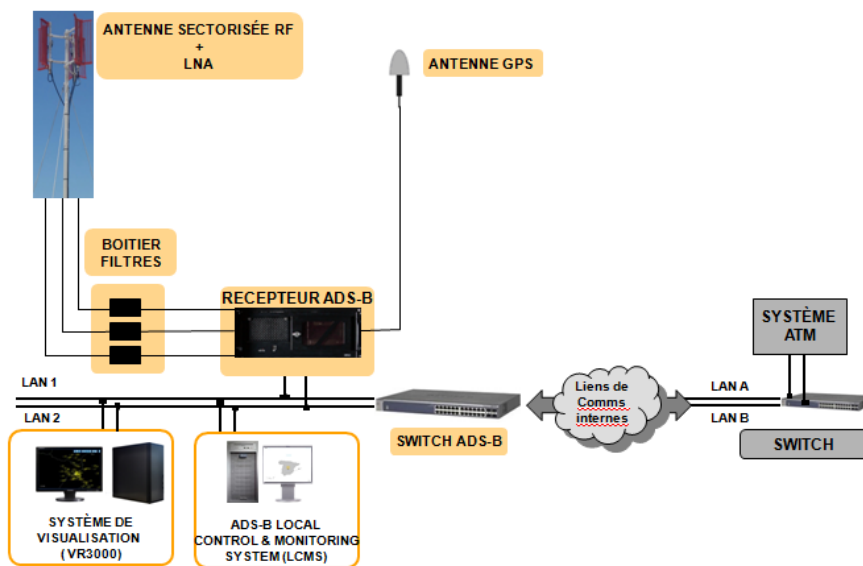
- *Environnement dégagé de tout obstacle pour une surveillance En-route, approche et surface;*
- *Emplacement pour loger les équipements;*
- *Alimentation sans coupure;*
- *Air conditionnée;*
- *Distance maximum de 30 mètres entre l'antenne et le Récepteur;*
- *Accès au réseau de communication pour l'acheminement des données ADS-B vers le système ATM.*

A l'issue de cette étude de couverture théorique, les couvertures escomptées de la station ADS-B à différents niveaux de vol se présentent comme ci-après:

Niveau de vol	Couverture
0 à 500 pieds	36 NM
500 à 10 000 pieds	116 NM
10 000 à 20 000 pieds	160 NM
20 000 à 30 000 pieds	190 NM
Plus de 30 000 pieds	200 NM

## II-2- ARCHITECTURE DEPLOYEE

L'architecture déployée dans le cadre de cette expérimentation est la suivante:



Architecture de la station de Dakar



Antenne ADS-B sur le mat du CRNA

*L'installation complète de la station de Dakar a été entièrement réalisée par les Ingénieurs de l'ASECNA (DGDI, DEX et Représentation ASECNA au Sénégal).*

*L'antenne déployée pour le site de Dakar est un système d'antennes multisectionnelles : les colonnes d'antennes (avec leurs amplificateurs faible bruit ou LNA) sont directionnelles et chaque colonne couvre au minimum un secteur de 120° qui peut être orientée en fonction du besoin (Piste, Parking et Océan dans notre cas).*

*Cette disposition augmente la portée et réduit le bruit reçu sur chaque canal.*

*De chacune de ces antennes de réception ES part un câble coaxial de 30 mètres pour aboutir au boîtier RF à l'entrée duquel sont disposés des parafoudres.*



**Vue intérieure du boîtier RF**

*Au niveau de ce boîtier RF sont disposés les filtres RF et les dispositifs d'alimentation des LNA.*

***En plus des antennes de réception 1090 ES, une antenne GPS est installée pour le datage des messages reçus et est directement connectée au récepteur ADS-B.***



*Récepteur ADS-B 1090 ES fonctionnant sous Linux et équipée de deux boîtiers d'alimentation et de deux disques durs redondants en configuration maître / esclave, de dispositifs de réception RF et d'éléments auxiliaires qui définissent plusieurs configurations matérielles pour le système final.*



**Récepteur ADS-B 1090 ES**

*Cette unité reçoit sur chacune de ses entrées le signal 1090 ES, traite un message ES et codifie les informations finales ADS-B en Astérix catégorie 021 dans des rapports, avant de l'envoyer à la visualisation.*

*L'unité Récepteur ADS-B est reliée via ses deux (02) ports Ethernet à un switch Ethernet 24 ports lui-même connecté au système de contrôle/monitoring (CMS), au système de visualisation "Visual Radar 3000" et au système ATM "TOPSKY".*



**Vue d'ensemble du système ADS-B (récepteur, CMS et VR3000)**

*Pour le contrôle et la surveillance du fonctionnement de l'ensemble du système mis en œuvre, la station dispose d'un sous-système dédié à cet effet. Ce CMS permet entre autres:*

- *La localisation sur carte et la supervision de chaque station sol;*
- *La supervision du statut de chaque module du Récepteur;*
- *La supervision et le contrôle des paramètres d'exploitation;*
- *la génération de rapport et la gestion des alarmes;*
- *La sécurisation des accès au système;*
- *L'analyse des statistiques et l'historique de fonctionnement.*



### III- PREMIERS RESULTATS

Dans le cas de cette expérimentation, il a été fourni un équipement dénommé Visual Radar 3000 ou VR3000 qui est un outil multi-capteurs à usage général (visualisation, surveillance et analyse de données de surveillance et susceptible de d'intégrer les données de différents types de capteurs (Radars, ADS-B...).

A cet outil de visualisation VR 3000 fourni avec la station ADS-B, nous avons intégré aussi bien les données du senseur ADS-B que les données du Radar SSE de Dakar, ainsi que celles du Radar RRS de Nouakchott.

Fonctionnant sous Microsoft Windows XP, il prend en charge les données de multiples catégorie ASTERIX et divers types de formats vidéo, y compris Radar MSR, PSR et SSR / S-Mode et est capable de surveiller jusqu'à 3500 cibles simultanément.



Vue du VR3000 intégrant les données radars (Dakar et Nouakchott) et ADS-B

#### III-1- INTEGRATION AU SYSTEME ATM

L'intégration des données du senseur ADS-B du Fabricant INDRA dans le système ATM TOPSKY du Fabricant THALES constitue l'un des objectifs majeurs de cette expérimentation.

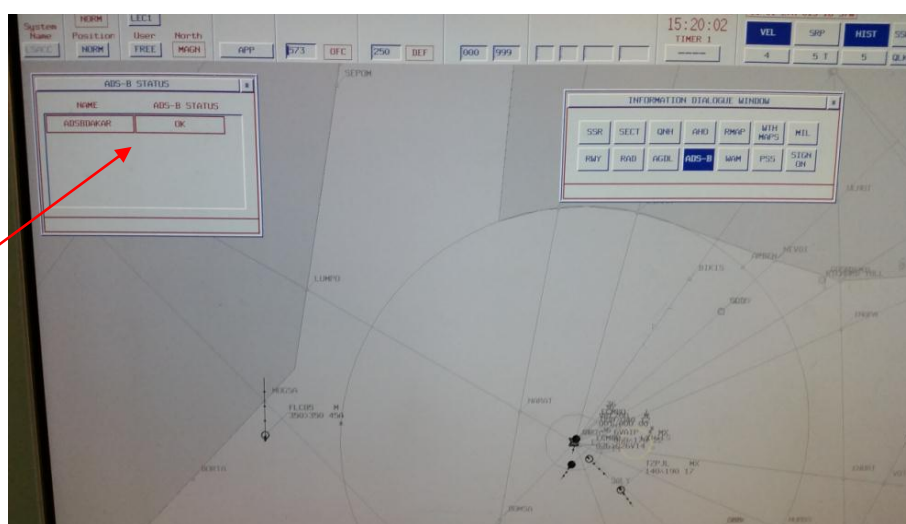
Les opérations se sont déroulées en trois étapes:

1- Configuration du réseau de communication de données

2- Configuration logicielle du système TopSky

3- Basculement opérationnel du TopSky intégrant l'ADS-B

La configuration du TopSky a été finalisée offline et les données ADS-B ont été intégrées avec succès sur le système opérationnel TOPSKY, comme l'indique le schéma ci-après :



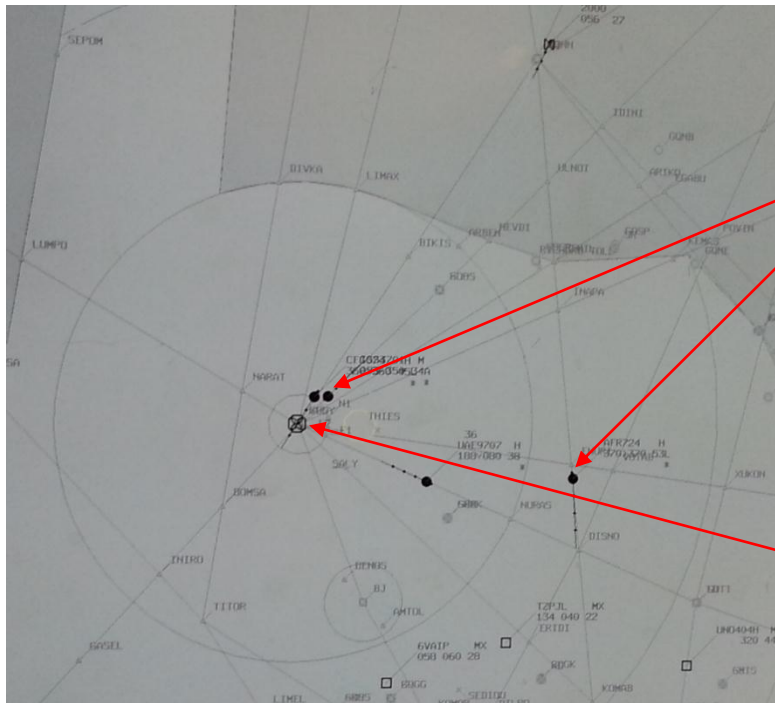
Statut OK de  
l'ADS-B

IHM du TopSky avec le Statut OK de l'ADS-B

Cette intégration a permis de :

- Démontrer l'interopérabilité des deux systèmes c'est-à-dire leur conformité au format ASTERIX Cat 21 Edition 0.23 ;
- Valider la fonctionnalité Multi-senseur MEDISIS (à l'exception des données du senseur MLAT) du TOPSKY.

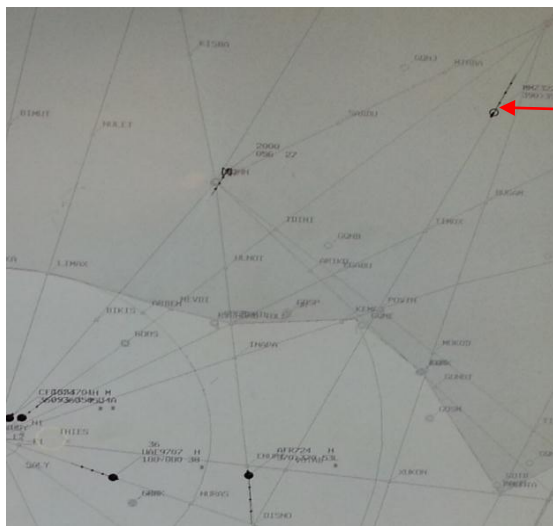




Plots Radar et ADS-B fusionnés sur IHM TOPSKY

Plot ADS-B sur IHM TOPSKY

track ADS-B et radar ADS-B fusionnés sur l'IHM du TopSky



Plot radar SSR sur IHM TOPSKY

Tracks radar et radar ADS-B et fusionnés sur l'IHM du TopSky

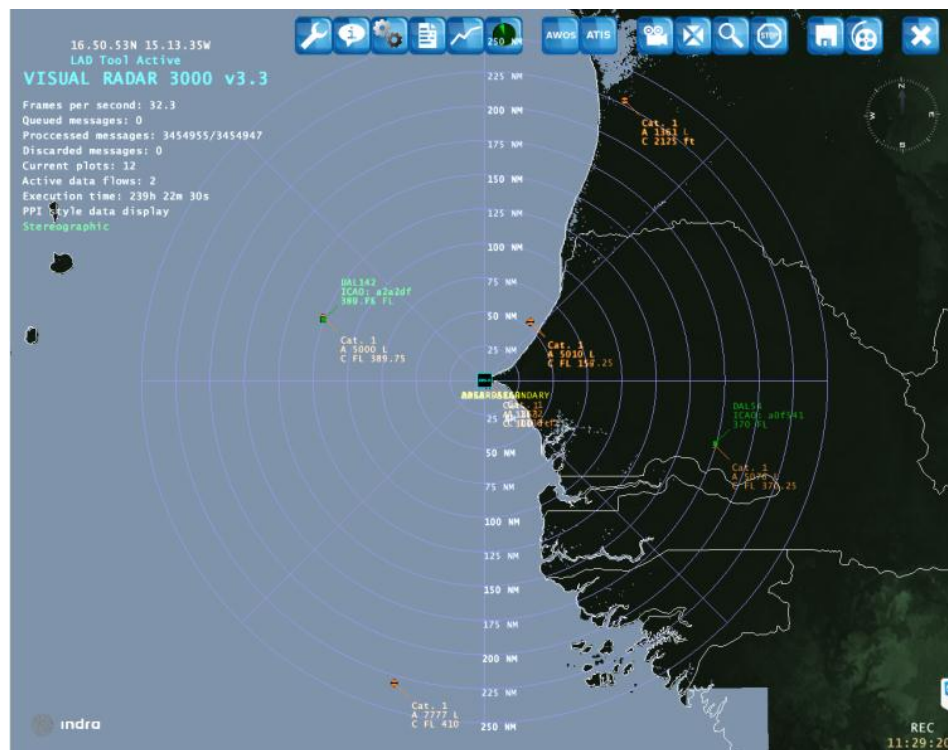
Les images ci-dessus montrent des:

- Plots correspondant à des cibles vues par l'ADS-B non vues par les deux Radars de Nouakchott et Dakar;
- Plots confondus pour des cibles simultanément vues par le Radar SSR de Dakar, Radar Mode S de Nouakchott et l'ADS-B;

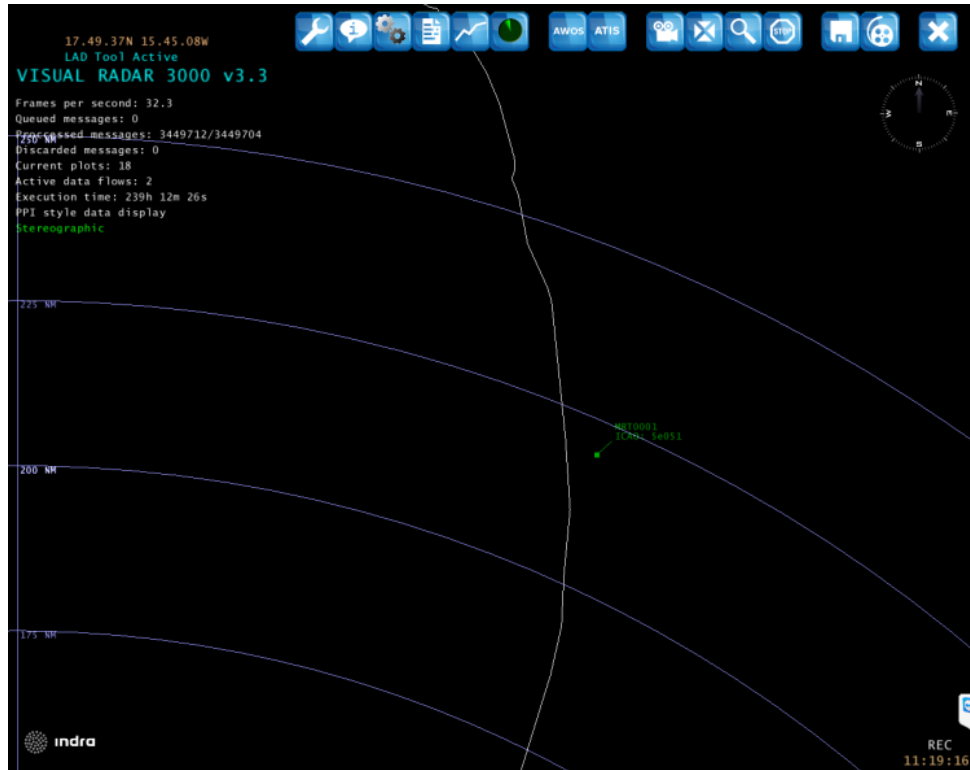
- Plots mettant en exergue des cibles vues par les stations ADS-B et Radar Mode S de Nouakchott et non vus par le Radar de Dakar;
- Plots mettant en exergue des cibles vues par le Radar MSSR de Dakar et non vues par l'ADS-B;
- Plots mettant en exergue des cibles vues par le Radar MSSR de Nouakchott et non vues par l'ADS-B.

Les premiers constats notés dès la mise en service de la station ont été:

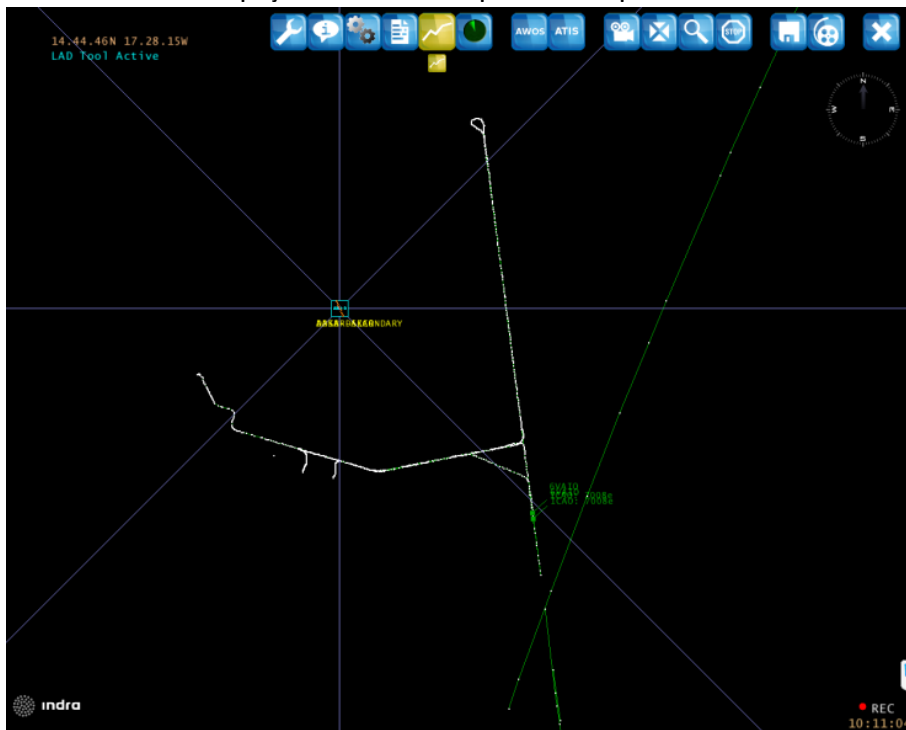
- La très bonne performance de détection de la station ADS-B (voir rapport détaillé d'analyse SASS-C);
- Une couverture réelle bien supérieure à la couverture théorique (>300 NM en pratique, contre 200-220 NM théorique);
- Au niveau de la détection, on constate :
  - Des cibles détectées par le radar et non détectées par l'ADS-B;
  - Des cibles détectées par l'ADS-B et non détectées par le radar;
  - La non détection par le radar des cibles sur la piste;
  - La détection par l'ADS-B des cibles sur la piste, en mouvement TAXI et en stationnement PARKING ;
- Ecart de position d'une même cible détectée par les trois senseurs sur l'IHM du VR3000;



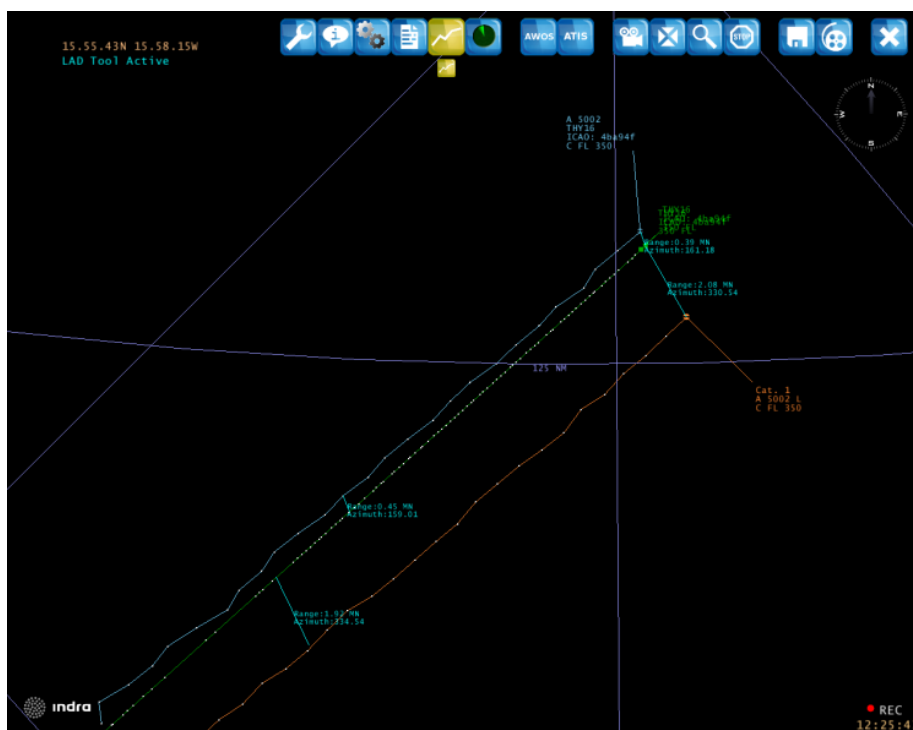
Aperçu des cibles détectées par les trois senseurs



Aperçu d'une cible détectée par l'ADS-B uniquement



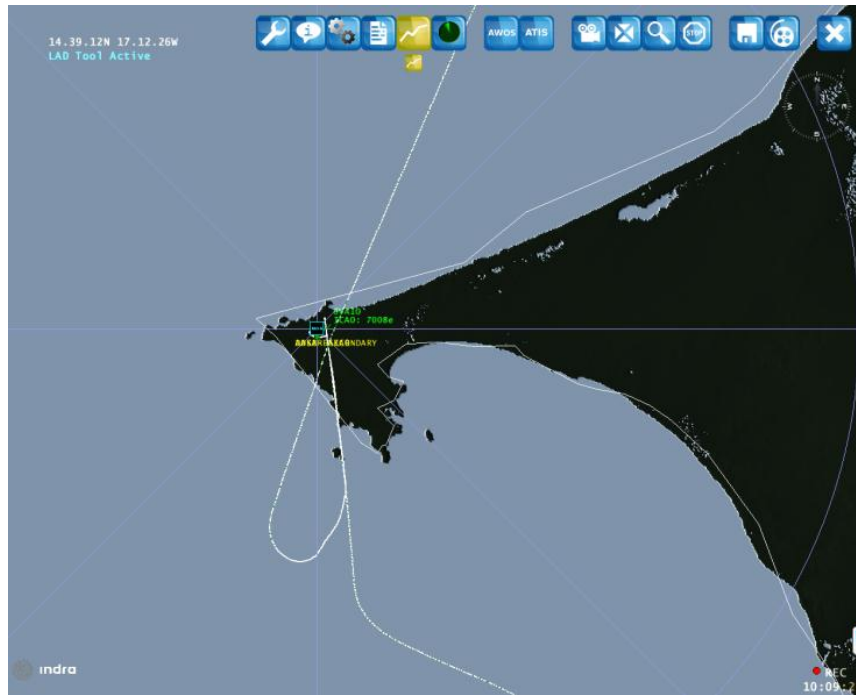
### Aperçu d'une cible détectée par l'ADS-B sur la piste



Ecarts de position d'une même cible détectée par les trois senseurs sur l'IHM du VR3000

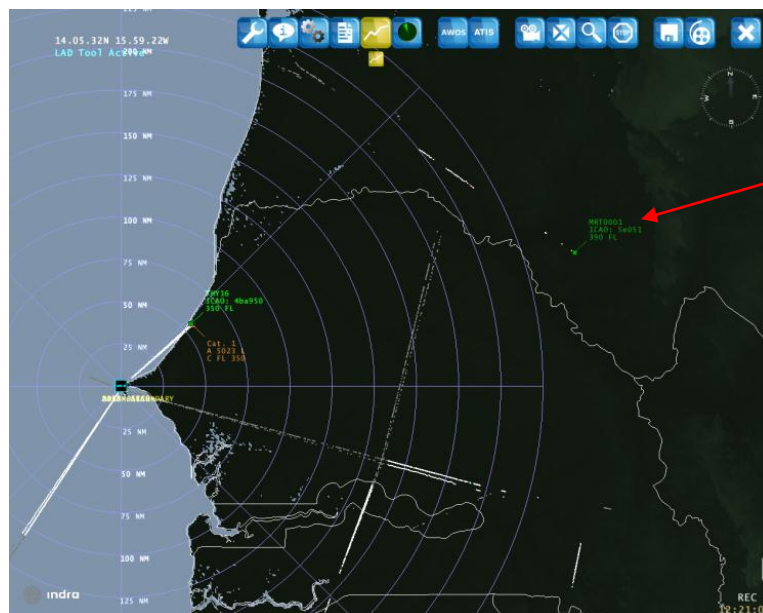
Sur l'image ci-dessus, nous pouvons apprécier le plot du vol THY16 au niveau de vol FL350. Les plots ADS-B (en vert) bien rectilignes sont à une distance de 0.19 NM du plot MSSR Mode S (radar de Nouakchott) en bleu et 3.12 NM du plot SSR (radar de Dakar) en orange.

- Amélioration de la couverture Radar:
  - Cibles détectées dans le cône de silence du Radar;



Cible détectée dans le cône de silence du radar de Dakar par l'ADS-B

- Cibles détectées jusqu'à 350 NM par l'ADS-B au-delà de 220 NM correspondant à la portée du Radar;



cible détectée à 350 NM par l'ADS-B

- *Cibles détectées en approche, sur la piste et le taxiway.*



**Cible détectée sur le taxiway par l'ADS-B**



- Enrichissement des informations (avec un taux de rafraichissement plus important) des plots détectés uniquement par le Radar Mode A/C de Dakar (voir tableau ci-dessous).

The image shows three screenshots of the 'Detection detail' window, each for a different sensor. The first window is for 'DAKAR-SECONDARY' (SSR / Mode S), the second for 'NKC5SR' (SSR / MSSR), and the third for 'ADSB-DAKAR' (ADSB). Each window displays a comprehensive set of data fields categorized into sections like TYPE, IDENTIFIERS, POSITION, HEIGHT, SPEED, OTHERS, TIME, HEADING, MOVEMENT, TIMESTAMPING, STATUS, TARGET REPORT, and OTHERS. The ADSB-DAKAR window shows significantly more detailed information, including aircraft ID (ISS3701), aircraft address (4cab75), and various performance metrics like climb rate and roll angle.

SSR DKR Mode A/C  
Downlink data

SSR NKC Mode S  
Downlink data

ADSB-B Downlink data

This image shows three more screenshots of the 'Detection detail' window, identical in layout to the first set. The first window is for 'DAKAR-SECONDARY' (SSR / Mode S), the second for 'NKC5SR' (SSR / MSSR), and the third for 'ADSB-DAKAR' (ADSB). These screenshots provide a more complete view of the data fields, including additional information like 'Link technolog...' (MDS), 'MDS version', 'Link technol...' (MDS), 'Country' (Ireland), 'Height resolu...' (25 Ft), 'Mode C Code' (FL 350), 'Confidence C...' (---), 'Mode-C Cod...' (---), 'Altitude (Baro...)' (35000 ft), 'Speed' (---), 'Received Po...' (---), 'Asterix UTC t...' (16:15:36.695), 'Reception UT...' (15:15:58.826), 'Lag' (-59 m 37 s 867 ms), 'Heading' (36.5186°), 'Mag. Heading' (37.4414°), 'Speed' (469.336 NM/h), 'Ground speed' (460 knots), 'Airspeed' (263 knots), 'True airspeed' (498 knots), 'MACH' (0.776), 'Climb Rate' (---), 'Roll Angle' (-0.351562°), 'T TRK Angle' (35.6836°), 'Track angle r...' (0°/s), 'B Alt. Rate' (-64 Ft/m), 'Vertical Velocity' (0 Ft/m), 'DataLink' (BDS 1.0, BSD 0, 0), 'Continuation' (No), 'Subnetwork' (0), 'Transponder' (Level 2 - 4), 'Uplink ELM, ca...' (0), 'Downlink ELM...' (0), 'Aircraft ID ca...' (No), 'Squitter regis...' (No), 'Surveillance I...' (No), 'BSD Capabili...' (No), 'DTE Subadre...' (74 32 172 120 220 203...), 'Reception UT...' (---), 'Transponder' (1), 'Bar. Pressure' (1013.2 mb), 'Asterix UTC t...' (16:17:00.804), 'Reception UT...' (15:17:22.921), and 'Lag' (-59 m 37 s 863 ms).

SSR NKC Mode S  
Downlink data (suite)

ADSB-B Downlink data  
(suite)

Les deux images précédentes présentent le détail des informations disponibles dans les plots SSR, MSSR mode S et ADS-B. **La richesse des informations contenues dans les messages ASTERIX 1, 48 et 21 respectivement sont différentes d'une catégorie à l'autre :**

- Les plots du SSR ont potentiellement 22 champs à présenter, et dans ce cas précis 13 champs sont renseignés, les principaux étant le Mode A, Mode C, Range, Azimuth et Altitude;
- Les plots du MSSR mode S ont potentiellement 55 champs à présenter, et dans ce cas précis 43 champs sont renseignés, les principaux étant le Mode A, Adresse ICAO de l'aéronef, le numéro de vol, les Range, Azimuth, Position, Altitude, les différentes vitesses, et les données de Data Link propres au Mode S;
- Les plots de l'ADS-B ont potentiellement 59 champs à présenter, et dans ce cas précis 43 champs sont renseignés, les principaux étant l'Adresse ICAO de l'aéronef, le numéro de vol, la latitude, longitude, la FOM, l'altitude, le niveau de vol, les différentes vitesses

### III-2- ANALYSE DE LA FLOTTE

Il est à noter qu'à partir du 05 Mai 2015, toutes les données reçues par la station sont enregistrées automatiquement avec une périodicité de 24 heures sur un fichier au format ASTERIX, permettant ainsi postérieurement son rejeu et une analyse plus détaillée sur feuille Excel.

De ces premières données recueillies, nous avons pu noter que:

- Pour l'enregistrement de 24 heures réalisé du 05/05/2015 de 15 :39 :47.20 au 06/05/2105 à 15 :39 :45.87, un total de 212 905 messages ADS-B pour 91 Vols détectés dont 33 décollages et/ou atterrissage (Dakar, Bissau et Nouakchott) et 58 survols avec 51 aéronefs détectés entre 250 et 347 NM;
- La flotte équipée détectée appartenait aux compagnies aériennes suivantes: MAURITANIA AIRWAY, AIR COTE D'IVOIRE, ETHIOPIAN, ASKY, ROYAL AIR MAROC, TUNIS AIR, ARIK, ANGOLA, SOUTH AFRICA AIRWAYS, AIR FRANCE, DELTA AIRLINES, BRUSSELS AIRLINES, AIR Portugal, IBERIA, LUFTHANSA, ALITALIA, CORSAIR, UNITED AIRLINES, BRITISH AIRWAYS, AIR EUROPA, AIR ARGENTINA;
- La flotte équipée détectée était composée de: Airbus 320 - 330 – 340, Boeing 737 – 747 – 767 – 777, FOCKER et MAC DONEL;
- Les routes aériennes les plus fréquentées étaient: UA302, UR075, UR975, UR979, UB600, UB601, UA601 et AU600.

### III-3- FAMILIARISATION

L'installation de la station ADS B ayant été réalisée par le personnel de l'ASECNA; ces opérations ont donc permis aux Techniciens de maintenance de prendre connaissance de technologie ADS-B, des différentes composantes du système, des avantages d'une antenne sectorisée et d'en mesurer les contraintes d'installation, d'intégration des données de surveillance au système ATM en place et de se familiariser avec les différents outils logiciels mis en œuvre, sans oublier les bénéfiques opérationnels.

#### **IV- PROCHAINES ETAPES**

*Par rapport aux objectifs visés pour cette expérimentation, les résultats obtenus à ce jour paraissent satisfaisants. Des travaux d'analyse vont se poursuivre afin de valider, consolider ces premiers résultats et recueillir plus de données pour les objectifs à longs termes.*

*En vue de la mise en service opérationnel, un certain nombre d'actions dont l'étude de sécurité et la validation des fonctionnalités du système ont été recensées dans le tableau ci-dessous:*

<b>Objectifs</b>	<b>Actions</b>	<b>Echéance</b>
La comparaison des performances MSSR Mode S avec celles de l'ADS-B	Upgrade du radar de Dakar en mode S et poursuite de la comparaison des performances avec celles de l'ADS-B.	30/11/2015
L'évaluation du trafic équipé de transpondeurs ADS-B dans la FIR Dakar	- Mise en place d'une statistique de la flotte équipé ADS-B et poursuite de l'analyse	30/11/2015
Modification du filtrage des FOM	Etude du comportement de la station par rapport au dimensionnement du paramètre sur la Figure Of Mérite (FOM)	30/11/2015
<b>Mise en service opérationnel</b>	Etude de sécurité et validation opérationnelle des nouvelles fonctionnalités implémentées	30/11/2015