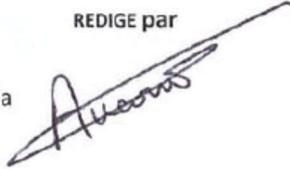
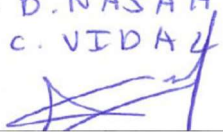


	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk		Version 01 Date : 12/05/2021 1/119 DR-SF
	DIFFUSION RESTREINTE	SPECIAL FRANCE	

Code Affaire : N° Marché ou N° Cde :
 Classification : **DR-SF**

Diffusion interne : **Gilles AUDOLY, Bernard TENEZE, Marc HOURY, Dounia NAJAH, Jérôme AUCOURT**
 Diffusion externe :

REDIGE par Visa 	VERIFIE par P.O : D. NAJAH C. VIDAL Visa 	APPROUVE par Visa
---	--	----------------------

Nombre de pages: **119**

Note Technique relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk

(Opération d'Expérimentation Réactive)

EVOLUTIONS

IND.	DATE	SECR.	REDACTEUR	OBJET
00	12/04/21		Equipe FlashHawk	Version Draft
01	12/05/21		Equipe FlashHawk	Prise en compte remarques client post-revue

SOMMAIRE

1. OBJET	4
2. DOCUMENTS CITES	4
2.1. DOCUMENTS APPLICABLES	4
2.2. DOCUMENTS DE REFERENCE	4
3. TERMINOLOGIE ET SIGLES UTILISES	4
4. INTRODUCTION	6
5. DESCRIPTION DU SYSTEME	7
5.1. ARCHITECTURE GENERIQUE	7
5.2. RAPPEL SUR LES FONCTIONNALITES DU FLASHHAWK	8
5.2.1. RECUEILLIR LE SIGNAL	8
5.2.2. VALORISER LE SIGNAL	8
5.2.3. VALORISER LA LOCALISATION	9
5.2.4. EXPLOITER LE RENSEIGNEMENT	9
5.3. ARCHITECTURE FLASHHAWK DANS LE CADRE DE L'OER	10
5.4. CARACTERISTIQUES	12
6. INSTALLATION SUR PORTEUR	13
7. CALIBRATION BANDE BASSE	17
7.1. DESCRIPTIF DE L'ANTENNE	17
7.2. DESCRIPTION DE LA CALIBRATION	18
7.3. JOURNEE DE CALIBRATION BANDE BASSE	18
7.4. PARCOURS AVION	20
7.5. DUREE DE CALIBRATION	22
7.6. CONDITIONS DE CALIBRATION	23
7.7. VALIDATION DE LA TABLE DE CALIBRATION	23
8. DESCRIPTION DETAILLEE DES VOLS, TESTS ET FREQUENCES ASSOCIEES	26
8.1. SCENARIOS DE VOLS ET FREQUENCES DE TESTS	26
8.2. PRECISIONS ANGULAIRES POUR 1 BURST TELECOM (VOLS 1 & 2)	27
8.2.1. PRINCIPE GENERAL DE L'ALGORITHME DE MESURE DE GONIOMETRIE	27
8.2.2. PRINCIPE DU TEST	27
8.2.3. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST	29
8.2.4. RESULTATS	30
8.3. PRECISIONS DE LOCALISATION POUR 1 CLUSTER (VOLS 1 & 2 & 5)	32
8.3.1. FONCTIONNEMENT DU CLUSTERING	32
8.3.2. PRINCIPE DU TEST	33
8.3.3. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST	34
8.3.4. TRACES DE VOL	35

8.3.5. RESULTATS (LOCALISATION EN MOINS DE 5 SECONDES)	36
8.3.6. CONCLUSION	38
8.4. SENSIBILITE / PORTEE (VOL 5)	39
8.4.1. PRINCIPE DU TEST	39
8.4.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST	39
8.4.3. TRACE DE VOL	40
8.4.4. RESULTATS A 20000 PIEDS	41
8.4.5. COMPLEMENTS A 10000 PIEDS	41
8.5. GESTION DES SIGNAUX EVF (VOLS 1 & 5)	42
8.5.1. PRINCIPE DU TEST	42
8.5.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST	42
8.5.3. RESULTATS	43
8.6. TESTS DE SEPARATION SPATIALE (VOLS 3 & 4)	45
8.6.1. PRINCIPE DU TEST	45
8.6.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST	45
8.6.3. PREPARATION	47
8.6.4. DEROULEMENT	48
8.6.5. RESULTATS	71
8.6.6. FOCUS SUR LA LIMITE DU POUVOIR SEPARATEUR	72
8.7. VOL OPERATIONNEL (VOL 4)	73
8.7.1. CHASSE AU RENARD	73
8.7.2. SUIVI VEHICULE EN DEPLACEMENT	82
8.8. VOL DE VOIES D'ÉCOUTE & DEMODULATEUR DU COMMERCE (VOLS 3 & 4)	103
8.8.1. PRESENTATION DES CAPACITES DE FLASHHAWK	103
8.8.2. PRESENTATION DES DEMODULATEURS DU COMMERCE	105
8.8.3. BUT DU SCENARIO	106
8.8.4. ESSAIS	106
8.8.5. CONCLUSION	110
 9. EVOLUTION – ALGORITHME DE LOCALISATION PAR DEFILEMENT	 111
 9.1. SIMULATION BASEE SUR UN VOL EXISTANT	 111
9.2. SIMULATION BASEE SUR UN VOL EN L	112
 10. CONCLUSION	 115
 10.1. MATRICE DE DEBRIEFING DES VOLS	 115
10.2. SYNTHESE	115
10.3. LES LEÇONS QUE L'INDUSTRIEL A RETIREES DE L'OER	118
 --- FIN DU DOCUMENT ---	 119

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 4/119 DR-SF
---	--	--

1. OBJET

L'objet du document est de décrire l'ensemble des tests mis en oeuvre lors de l'OER (Opération d'Expérimentation Réactive) du capteur de localisation et d'ISR FlashHawk ; cette OER permettra au client étatique d'évaluer ce capteur vis-à-vis de leurs besoins opérationnels.

Les tests décrits sont basés sur les scénarios identifiés lors la réunion de Lancement (voir [A1]) ; puis ils ont été modifiés pour optimisation du temps de test sur proposition d'Avantix, lors de la séance du 4 Mars avec accord du client.

Ces tests permettent de vérifier l'ensemble des fonctionnalités et de quantifier les performances du capteur FlashHawk tel que proposé dans l'offre technique et financière d'Avantix (voir [A2]).

2. DOCUMENTS CITES

2.1. DOCUMENTS APPLICABLES

2.2. DOCUMENTS DE REFERENCE

[R1] : Méthodologie de développement de logiciels intégrés GAMT17 V2-DGA/DEI Juillet 1989

3. TERMINOLOGIE ET SIGLES UTILISES

AIS	Automatic Identification System (transpondeurs pour bateaux)
ALSR	Avion Léger de Surveillance et de Reconnaissance
APCO	Association of Public-safety Communications Officials-international (P25 = Project 25)
BB	Bande Basse
BH	Bande Haute
CE	Capteur Embarqué
CER	Centre d'Essais Radio
DMR	Digital Mobile Radio
dPMR	Digital Private Mobile Radio
EVF	EVasion de Fréquences
FM	Fixed Modulation
FH	FlashHawk
FFT	Transformée de Fourier
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IHM	Interface Homme Machine
INS	Inertial Navigation System
IR	Infra-Rouge
ISR	Intelligence Surveillance Reconnaissance
LDD	Liaison De Données
MNT	Modèle Numérique de Terrain

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 5/119 DR-SF
---	--	---

NA	Non Applicable
OER	Opération d'Expérimentation Réactive
PMR	Professional Mobile Radio
RA	Réseau Antennaire
ROEM	Renseignement d'Origine Electro-Magnétique
SDT	Système de Drone Tactique
SNR	Signal to Noise Ratio (Rapport Signal à Bruit)
UTC	Universal Time Coordinated

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 6/119 DR-SF
---	--	---

4. INTRODUCTION

L'objectif de l'Opération d'Etude Réactive FlashHawk est de caractériser la nouvelle charge ROEM aéroportée développée par AVANTIX fruit du PEA ECLAIR. Les plateformes cibles pour la France mentionnées lors de la réunion de lancement de l'OER pour cette charge sont :

- le drone SDT de l'Armée de Terre



Fig.1 – Drone SDT

- l'ALSR de l'Armée de l'Air



Fig.2 – avion ALSR

- et le drone Euromale de l'Armée de l'Air



Fig.3 – Drone Euromale

Les altitudes en opération de ces plateformes varient entre 3 000 pieds et 45 000 pieds. Le programme de vol n'a pu couvrir la totalité de ces altitudes dû au fait que l'avion était un avion non pressurisé avec une limite de vol à 20 000 pieds ainsi qu'un nombre d'heures de vol de 10 heures. Le programme de vol s'est donc concentré sur 3 altitudes de test à 8000, 10 000 et 20 000 pieds. Les résultats étant positifs à ces altitudes, AVANTIX peut par calcul modéliser des performances à des altitudes plus hautes jusqu'à 45 000 pieds. De plus AVANTIX a réalisé plus de 200 heures de vol à des altitudes plus basses sur ballon fixe à partir de 300 pieds qui sont cohérents des résultats de l'OER.

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 7/119 DR-SF
---	---	---

Fig.4 – Cessna F-406



L'OER a eu lieu depuis l'aéroport de Nîmes Garon et les vols ont eu lieu principalement dans la zone d'Istres avec un agrément C.E.R du centre d'essai d'Istres. AVANTIX a la charge de fournir la charge FlashHawk et l'ensemble de la prestation d'essai.

DGA MI fournit les générateurs des signaux au sol et les plastrons au sol.

Les essais se font sur Cessna F-406 opéré par la société AVDEF (AViation DEFense services) qui bénéficie des agréments C.E.R et d'un Bureau d'Etudes qui a les agréments DOA pour faire les modifications avions pour la bonne installation du système.

La société ASMAN Technology fournit la liaison de données nécessaire à la réalisation de la table de calibration sur porteur. Afin

de réduire les coûts de l'OER, une fréquence libre a été utilisée à 2.3 GHz et donc la LDD n'a pas été active durant les vols de l'OER (uniquement pendant le vol de calibration). La configuration drone (opérateur FlashHawk au sol) avec une LDD en dehors de la bande 30 MHz - 3 GHz avait été utilisée lors de l'ETO faite avec l'Administration fin 2019. L'exploitation du FlashHawk en configuration drone avait donc déjà pu être démontrée.

La semaine des essais a compris 5 vols de 2 heures chacun et a eu lieu du 22 au 26 mars 2021. La calibration du capteur FlashHawk a eu lieu avant la semaine de test toujours à Nîmes le 4 Mars 2021 sur un créneau d'une heure de vol en présence de l'Administration.

5. DESCRIPTION DU SYSTEME

5.1. ARCHITECTURE GENERIQUE

L'architecture générique d'un FlashHawk est présentée ci-après pour une configuration avion piloté :

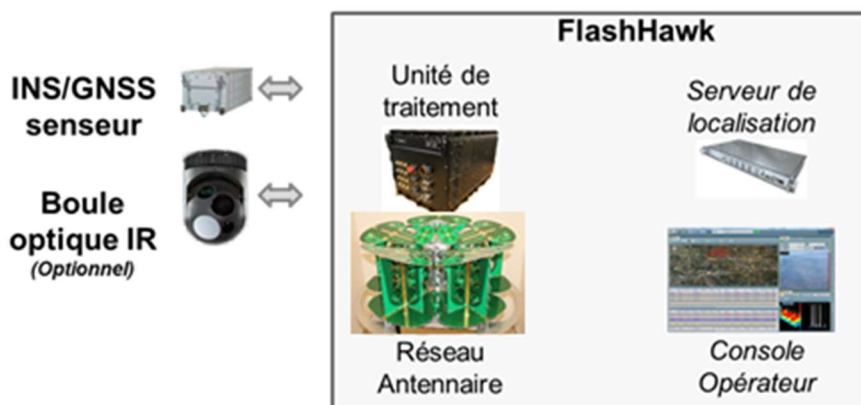


Fig.5 – architecture FH pour avion piloté

L'architecture générique d'un FlashHawk est représentée ci-après pour une configuration drone :

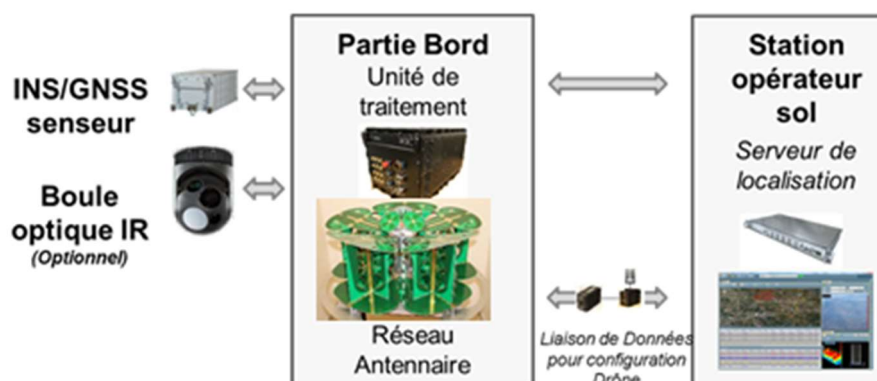


Fig.6 – architecture FH pour drone

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 8/119 DR-SF
---	--	---

5.2. RAPPEL SUR LES FONCTIONNALITES DU FLASHHAWK

5.2.1. RECUEILLIR LE SIGNAL

FlashHawk intercepte les signaux présents dans l'environnement sur un théâtre d'opérations. Il détecte la présence de ces signaux et en extrait les caractéristiques techniques.

5.2.1.1. ACQUERIR LE SIGNAL

La fonction « Acquérir le signal » permet de détecter la présence d'une émission dans la ou les bandes programmées, de transposer le signal si besoin puis de le numériser et de le canaliser. Elle se décline sur toutes les bandes de fréquence et pour tous les types d'émetteurs d'intérêt.

5.2.1.2. CARACTERISER

La fonction « Caractériser » permet la détermination des paramètres primaires du signal intercepté et les capitalise pour les traitements de valorisation. Cette fonction contribue à la création des pistes élémentaires en réalisant la mesure ou le calcul des paramètres suivants :

- fréquence centrale,
- largeur de bande,
- niveau,
- rapport signal sur bruit,
- dates de début et de fin d'émission,
- durée d'émission,
- type de modulation (analogique ou numérique),
- estimation de la polarisation.

Cette fonction, réalisée en parallèle de la fonction « localiser », se décline sur toutes les bandes de fréquence et pour tous les types d'émetteurs d'intérêt.

5.2.1.3. LOCALISER

La fonction « Localiser » fournit la direction d'arrivée d'une émission détectée avec un niveau de précision estimé. La mesure d'angle fournie correspond à l'azimut/gisement et au site/élévation de l'émetteur. Cette fonction contribue à la création des pistes élémentaires en réalisant la mesure ou le calcul des paramètres suivants :

- localisable (Oui/Non)
- azimut/gisement,
- site/élévation,
- incertitude estimée (angle alpha).

Cette fonction, réalisée en parallèle de la fonction « caractériser », se décline sur toutes les bandes de fréquence et pour tous les types d'émetteurs d'intérêt.

5.2.1.4. AGREGER LES MESURES

La fonction « Agréger les mesures » permet d'associer les mesures de localisation aux mesures de caractérisation. Elle permet également, par un suivi limité dans le temps (de l'ordre de la seconde), de déterminer le type d'émission (émission continue à fréquence fixe, émission brève à fréquence fixe, ou émission à évasion de fréquence) avec le nombre d'alternats associés, et de fiabiliser les mesures effectuées au travers des fonctions « caractériser » et « localiser ». La sortie de cette fonction est un ensemble de pistes élémentaires, chaque piste correspondant à un seul émetteur. Elle se décline sur toutes les bandes de fréquence et pour tous les types d'émetteurs d'intérêt.

5.2.2. VALORISER LE SIGNAL

Cet ensemble fonctionnel a pour finalité de démontrer la faisabilité de réalisation d'un système COMINT complet, intégrant des fonctionnalités d'écoute et d'identification.

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 9/119 DR-SF
---	--	---

5.2.2.1. EXPLOITER LES DONNEES I/Q

La fonction « Exploiter les données I/Q » permet, à partir de la production I/Q de la fonction « acquérir », de s'interfacer avec un outil existant d'identification / démodulation / accès au contenu. Durant l'OER, un logiciel de démodulation du commerce a pu être testé (cf le chapitre concerné).

5.2.2.2. CLASSIFIER L'EMETTEUR

La fonction « Classifier l'émetteur » fournit la classe de l'émission interceptée sur la base des pistes élémentaires générées par la fonction « recueillir ». Pour cela, cette fonction s'appuie sur une base de données adaptée répertoriant les caractéristiques des principales émissions d'intérêt (bibliothèque technique). Cette fonction se décline sur toutes les bandes de fréquence et pour tous les types d'émetteurs d'intérêt.

5.2.3. VALORISER LA LOCALISATION

Cet ensemble fonctionnel a pour objectif de transformer les mesures de localisation en données de renseignement exploitables.

5.2.3.1. PILOTER LA CAMERA

Cette fonction permet d'améliorer l'exploitation d'un capteur optique en l'orientant dans une direction ou vers une zone d'intérêt, via l'exploitation des pistes élémentaires ou des informations de localisation issues de la fonction « localiser au sol ».

5.2.3.2. LOCALISER LES EMETTEURS TERRESTRES

Cette fonction permet de localiser automatiquement et en temps réel les émetteurs opérant depuis le sol, en procédant au croisement entre les pistes élémentaires, un modèle numérique de terrain et les données de navigation du porteur. Elle fournit également une zone d'incertitude définissant la zone de recherche optique des émetteurs.

5.2.4. EXPLOITER LE RENSEIGNEMENT

Cet ensemble fonctionnel a pour but de mettre en forme et capitaliser dans le temps les données issues des autres ensembles fonctionnels pour les rendre synthétiques et directement exploitables par un opérateur.

5.2.4.1. ASSOCIER LES DONNEES

Cette fonction permet de lier les informations de classification et de localisation aux pistes élémentaires afin de construire des pistes valorisées.

5.2.4.2. SUIVRE LES EMETTEURS

Cette fonction permet de suivre l'évolution des émetteurs dans le temps en capitalisant les pistes valorisées issues de la fonction « associer ».

5.2.4.3. ELABORER LA SITUATION TACTIQUE

L'objectif de cette fonction est de permettre à un opérateur de visualiser sur une carte les émetteurs présents, de procéder à leur identification tactique (ami/ennemi), d'exporter ces données, et éventuellement de procéder à une confirmation via l'emploi du capteur optique.

5.2.4.4. METTRE EN FORME LES DONNEES

Cette fonction regroupe toutes les exigences relatives à l'affichage et la mise en forme des données pour les rendre exploitable par un opérateur.

5.2.4.5. PREPARER LA MISSION

La fonction « Préparer la mission » réalise la mise au point du dispositif pour faciliter l'exécution de la mission. Ceci inclut le paramétrage des équipements, l'intégration des référentiels techniques pour les traitements automatiques, la définition des critères d'alerte.

5.3. ARCHITECTURE FLASHHAWK DANS LE CADRE DE L'OER

Le sous-système bord se compose de :

- un réseau antenne radomé sous le F-406



Fig.7 – réseau antenne

- un capteur embarqué de série



Fig.8 – Capteur embarqué

- des cartes de réception 30-3000MHz (D3C) et carte de distribution des signaux d'horloge (CK10)



Fig.9-Carte de réception 30MHz-3GHz



Fig.10 – Carte de distribution d'horloge

- une IHM opérateur (sol et bord), développement Avantix

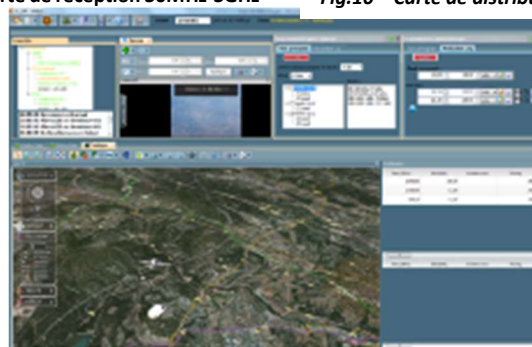


Fig.11 – IHM FH

- la composante bord de la liaison de donnée pour la calibration,



Fig.12 – Liaison de Données

- d'un système à double GPS pour la localisation et altitude du porteur, de type THALES TOTEM.



Fig.13 – INS/GNSS

Le sous-système pour la calibration sol se compose :

- de la composante sol de la liaison de données à la fréquence de 2305Mhz ;
- d'un GPS pour la localisation de la station sol,
- de servitudes (alimentation, groupe électrogène et accessoires).

Schéma d'interconnexion "Sol"

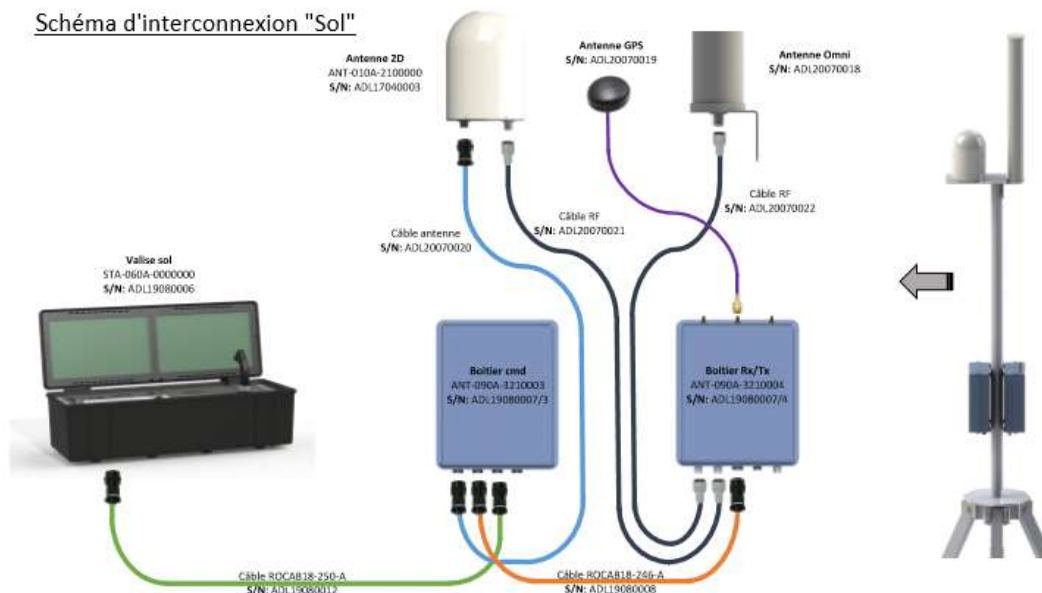


Fig.14 – Système calibration au Sol

Ci-joint un schéma d'architecture des différents composants mis en œuvre lors de la réalisation de l'OER FlashHawk :

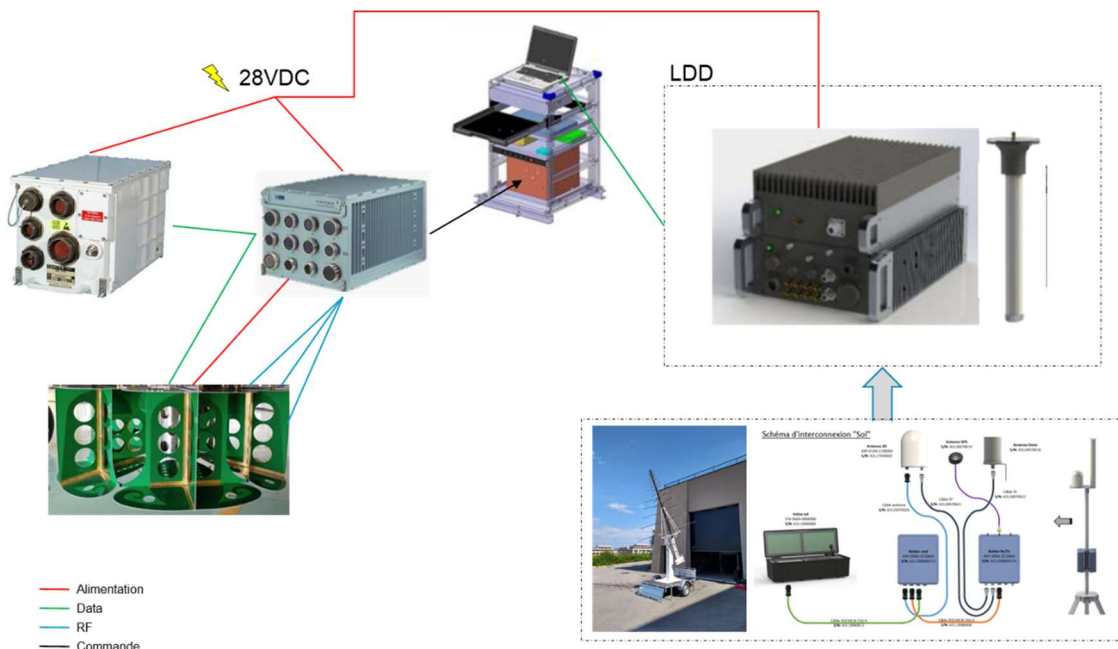


Fig.15 – Architecture globale de FH lors de l'OER

5.4. CARACTERISTIQUES

- Les caractéristiques des différents composants du système FlashHawk sont les suivants :

ANTENNE 	800 mm de diamètre 400 mm de hauteur	12 kg	Alimentée par le Calculateur
CALCULATEUR EMBARQUE 	487 mm de profondeur (sans connecteur) 271 mm de hauteur 281 mm de largeur	25 kg	28 V 450 W (consumation antenne incluse)

Fig.16 – Tableau de caractéristiques du système FH

- Le détail de la face avant du Calculateur Embarqué et de ses connecteurs est détaillé ci-après :

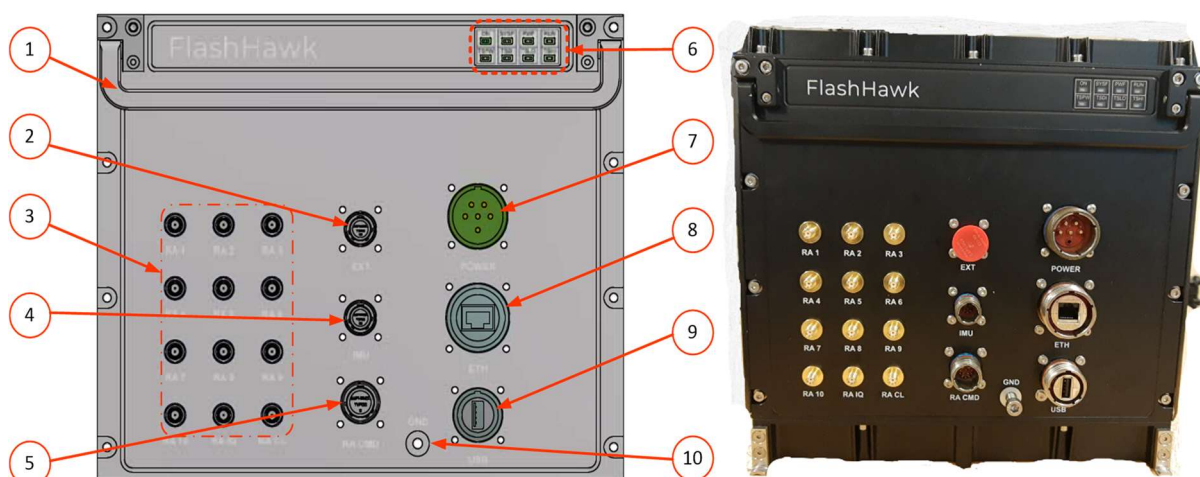


Fig.17a – Détails face avant des connecteurs du Calculateur Embarqué

Rep	Fonction	Commentaires
1	Poignée d'insertion et d'extraction	.. / ..
2	Extension (réserve)	connecteurs MIL-38999
3	Connecteurs RF	12 x connecteurs semelles SMA
4	Interface INS / GNSS	connecteurs MIL-38999
5	Commande du Réseau Antennaire	Réserve pour la réserve de connecteurs MIL-38999
6	Indicateurs LED	
7	Alimentation	connecteurs MIL-38999
8	Ethernet	RJ-45 MIL-38999
9	Port USB	
10	Borne de terre	M6 Helicoil - Verrouillage par vis

Fig. 17b - Détails face avant des connecteurs du Calculateur Embarqué - légende

6. INSTALLATION SUR PORTEUR

Une vue de l'implémentation cabine sur le Cessna F-406 est proposée ci-dessous : la baie FlashHawk avec l'unité de traitement et la possibilité d'avoir deux opérateurs quand la liaison de données n'est pas active, l'antenne FlashHawk étant sous le radôme.

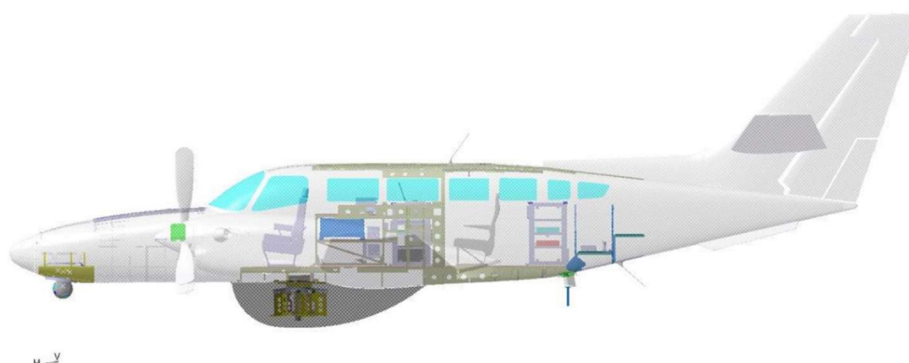


Fig.18 - Porteur Cessna F-406

Note : la boule optique n'était pas prévue durant l'OER, mais a été utilisée durant le vol n°4.

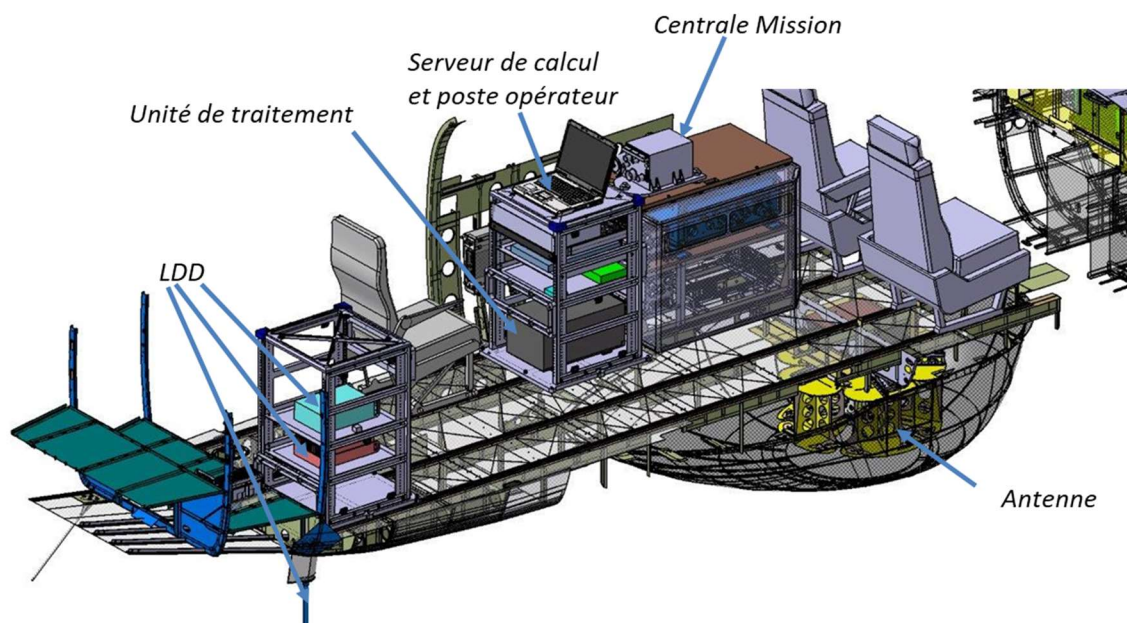


Fig.19 – Représentation 3D de l'installation de FH à l'intérieur du Cessna F-406

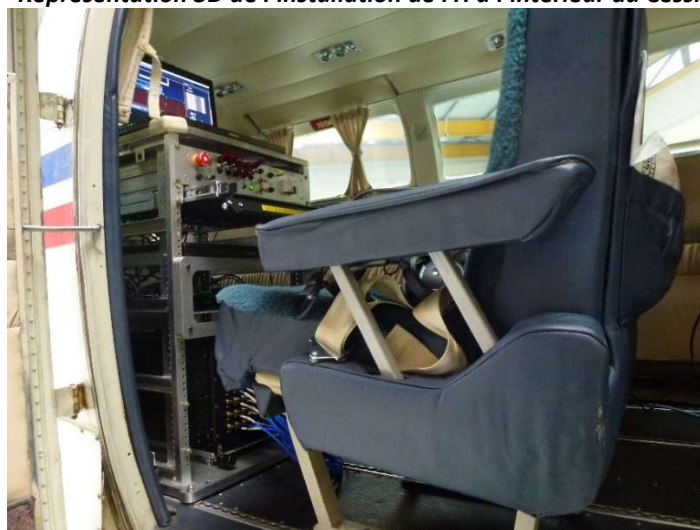


Fig.20 – Focus sur le siège & le poste opérateur

Note : un deuxième siège (non représenté) est prévu pour accueillir un deuxième opérateur en tranche arrière.

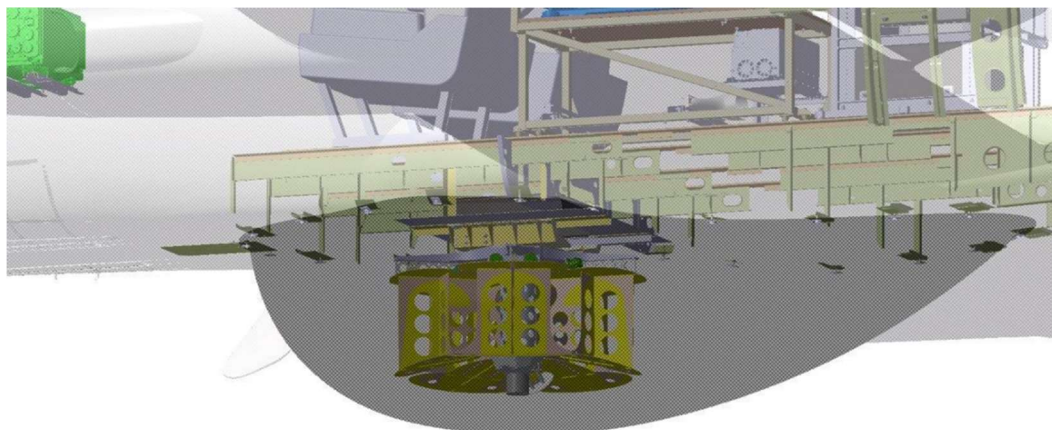


Fig.21 – Simulation de l'antenne FH sous radome

Les images suivantes montrent l'installation de l'antenne sur la nouvelle interface mécanique en étoile de l'antenne prévue au titre de l'OER :

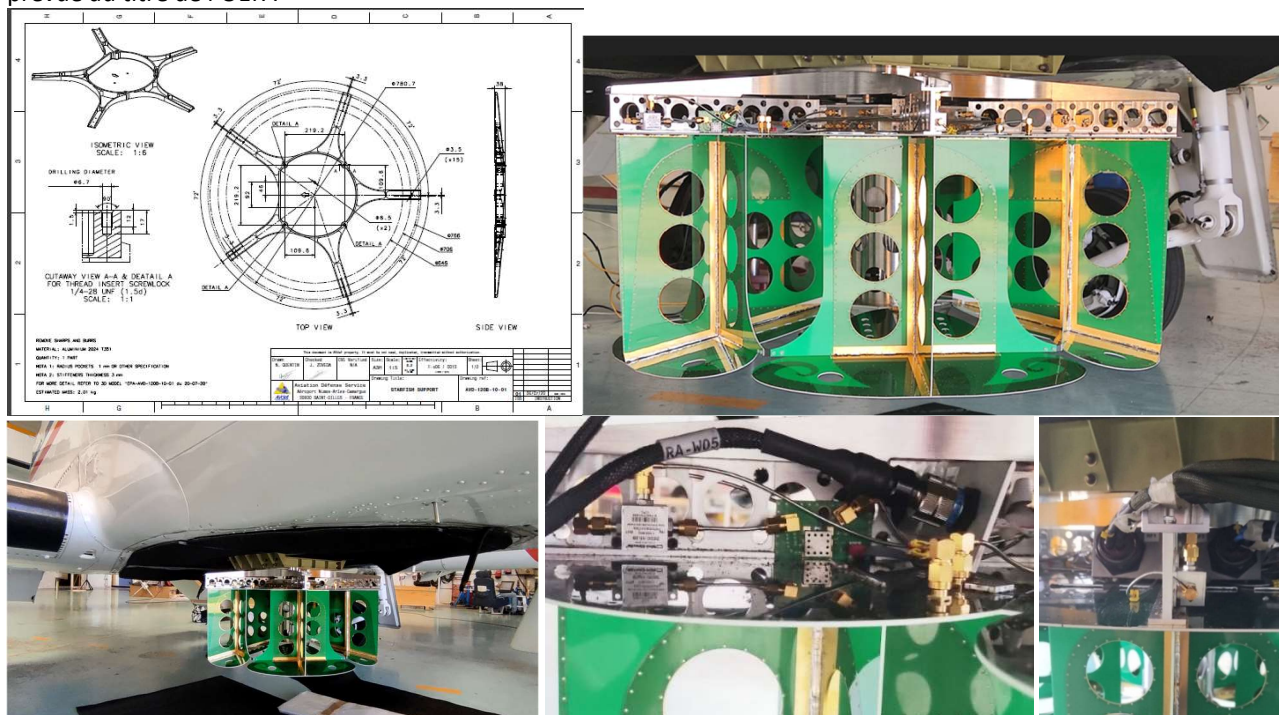


Fig.22 – Antenne FH et interface mécanique en étoile

L'installation du poste opérateur est décrite ci-dessous :

- unité de traitement
- poste opérateur FlashHawk

Console opérateur et
serveur de localisation

Unité de traitement

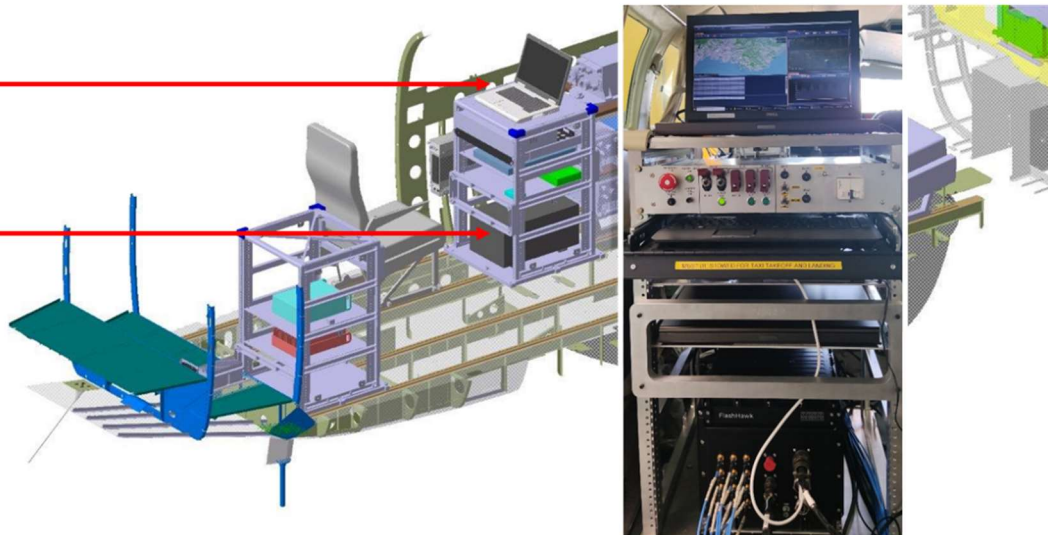


Fig.23 – Représentation 3D de l'installation du poste opérateur

L'installation du calculateur avec sa plaque d'interface est présentée ci-dessous :

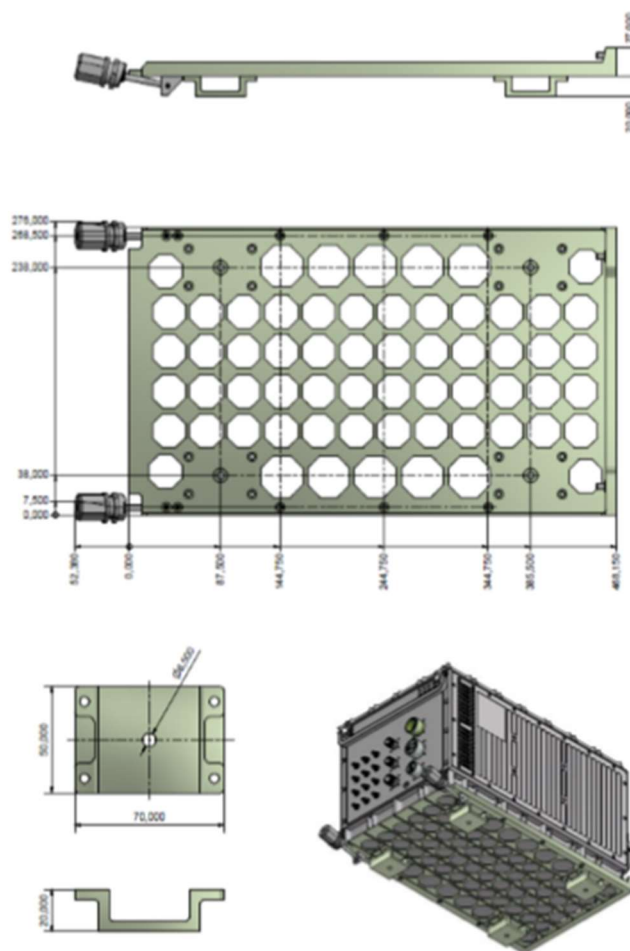


Fig.24 – Plan 2D de la plaque d'interface du calculateur

Puis il est possible d'étudier ci-dessous l'installation de la liaison de données à 2,3GHz dans l'avion :

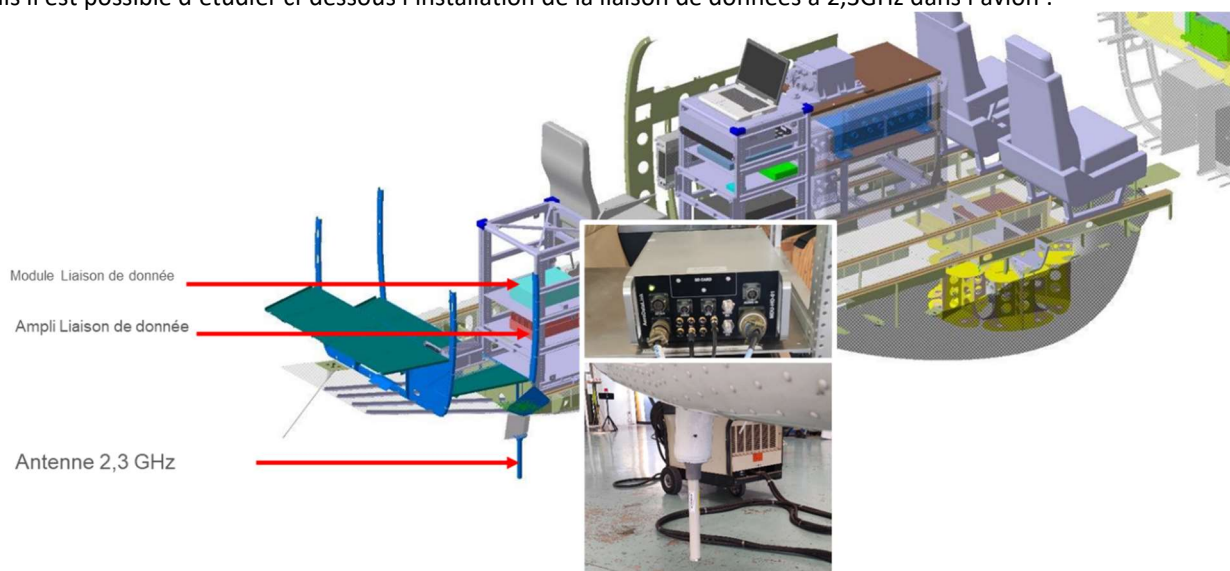


Fig.25 – Représentation 3D de l'installation de la Liaison de Données

Ci-joint la liaison de données (2.3GHz) pour la calibration en bande basse :
Schéma d'interconnexion "Air"

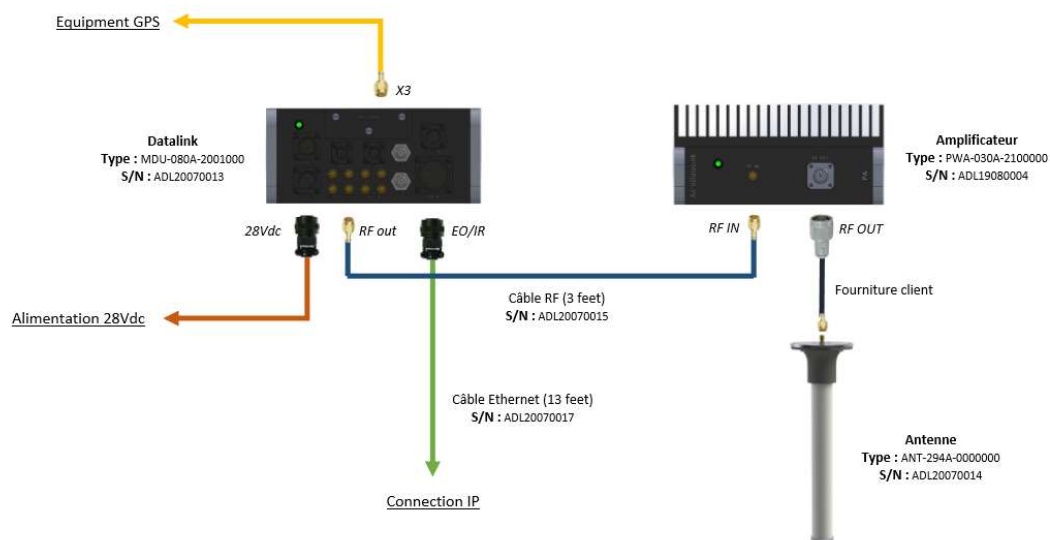


Fig.26 – Liaison de Données « Air » (MDU & antenne)

7. CALIBRATION BANDE BASSE

7.1. DESCRIPTIF DE L'ANTENNE

Le réseau d'antenne est composé de 21 antennes contenues dans un cylindre de 80 cm de diamètre sur 40 cm de hauteur. Un faisceau comprenant 4 torons (3 torons comprenant 4 câbles) sort de ce réseau antenne pour aller vers le calculateur ce qui en simplifie l'installation (1 seul passage du faisceau de la structure externe de l'avion vers l'interne). Il couvre la bande 30MHz à 3GHz en deux sous bandes :

- Réseau Bande basse : 30MHz - 760MHz
- Réseau Bande haute : 760MHz - 3GHz

Le réseau de 21 antennes se décompose en :

- 20 antennes, qui sont dédiées à la localisation :
 - 10 antennes bande basse (5 antennes à polarisation verticale et 5 antennes à polarisation horizontale)
 - 10 antennes bande haute (5 antennes à polarisation verticale et 5 antennes à polarisation horizontale)
- 1 antenne omni-directionnelle pour la voie d'écoute (ou voie I/Q).



Fig.27 - Antenne FlashHawk et ses 21 antennes

7.2. DESCRIPTION DE LA CALIBRATION

Les fréquences calibrées lors de l'OER correspondent à celles de l'autorisation d'émettre obtenue par DGA MI.

Le balayage en fréquence de FlashHawk et des générateurs au sol était donc calé sur la liste des fréquences bande basse de l'autorisation, c'est-à-dire fréquences inférieures à 420 MHz pour l'OER.

La fréquence frontière entre les deux réseaux BB et BH est 764 MHz.

Les fréquences supérieures à 420 MHz n'ont pas été calibrées car l'autorisation ne nous le permettait pas.

La réponse de l'antenne en BB entre 420 MHz et 764 MHz est très proche (vue par les mesures en chambre anéchoïde). Les performances obtenues par la calibration à 420 MHz seront donc très vraisemblablement les mêmes jusqu'à 764 MHz.

La table de calibration mesurée par le LETI en chambre anéchoïde en 2017, pour la bande haute, a directement été utilisée (le laboratoire du LETI étant le concepteur de l'antenne).

La table de calibration du réseau antenne est discrétisée en angle et en fréquence :

- 5° et 1 MHz pour les fréquences de la BB
- 2.5° et 5 MHz pour les fréquences de la BH

Ces pas sont établis par le LETI.

La calibration consiste à émettre deux émissions sur deux polarisations orthogonales.

Ces émissions sont séparées par un léger décalage fréquentiel entre elles.

Les deux polarisations orthogonales permettent à notre algorithme de goniométrie de traiter par la suite toute polarisation reçue (linéaire, circulaire, etc...).

L'avion effectue une trajectoire permettant d'optimiser le nombre d'angles d'azimut et d'élévation le plus important en un minimum de temps.

Les points non balayés sont complétés par un algorithme d'interpolation en post-traitement.

7.3. JOURNEE DE CALIBRATION BANDE BASSE

La calibration a eu lieu sur porteur Cessna F-406.

Les générateurs au sol balayent en fréquence et une synchronisation temporelle GPS bord et sol est effectuée.

L'antenne de calibration double polar (+/- 45°) montée sur positionneur suit l'avion, sur le site au sol dit « du haras ».

Une Liaison de Données unidirectionnelle Air → Sol était nécessaire dans ce cas pour redescendre la position GPS de l'avion car ce dernier était dépourvu de moyens de transmettre cette information.

Le positionneur suit automatiquement la position de l'avion.

La ficelle de vol est un vol circulaire montant de 4 km de diamètre qui démarre à 300 m du sol pour finir à 3 000 mètres. Puis l'avion fait demi-tour pour redescendre en sens inverse. Ce cercle est décalé de 5 km par rapport au positionneur d'antenne.

Enfin l'avion fait un rail de 5 km de long pour passer à gauche et à droite du positionneur.



Fig.28 - Antenne pour calibration bande basse sur positionneur

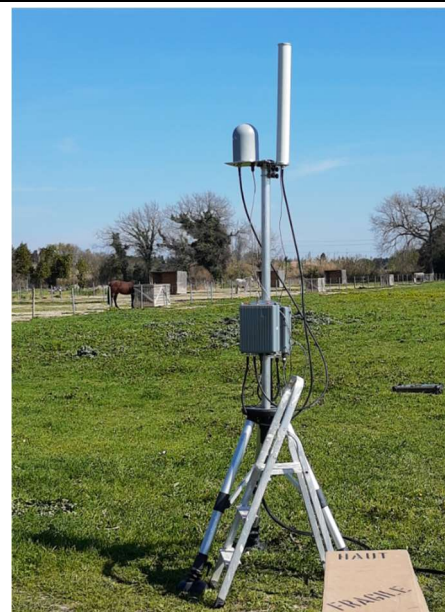


Fig.29 - Liaison de Données sur le site de calibration



Fig.30 - Liaison de Données complète testée dans le hangar avion



Fig.31 - Vue du positionneur pour antenne seul



Fig.32 - Focus sur les écrans de la Liaison de Données

7.4. PARCOURS AVION

Pour la Calibration Bande Basse ayant eu lieu le 4 mars, il est possible de visualiser le parcours de plusieurs manières :

- Parcours intégral vu de haut :
(note = les contours signalés par les chiffres 1 & 2 en rouge et ayant la même couleur que le vol sur la vue IHM sont à ignorer – éléments externes n'ayant rien à voir avec le parcours de l'avion)

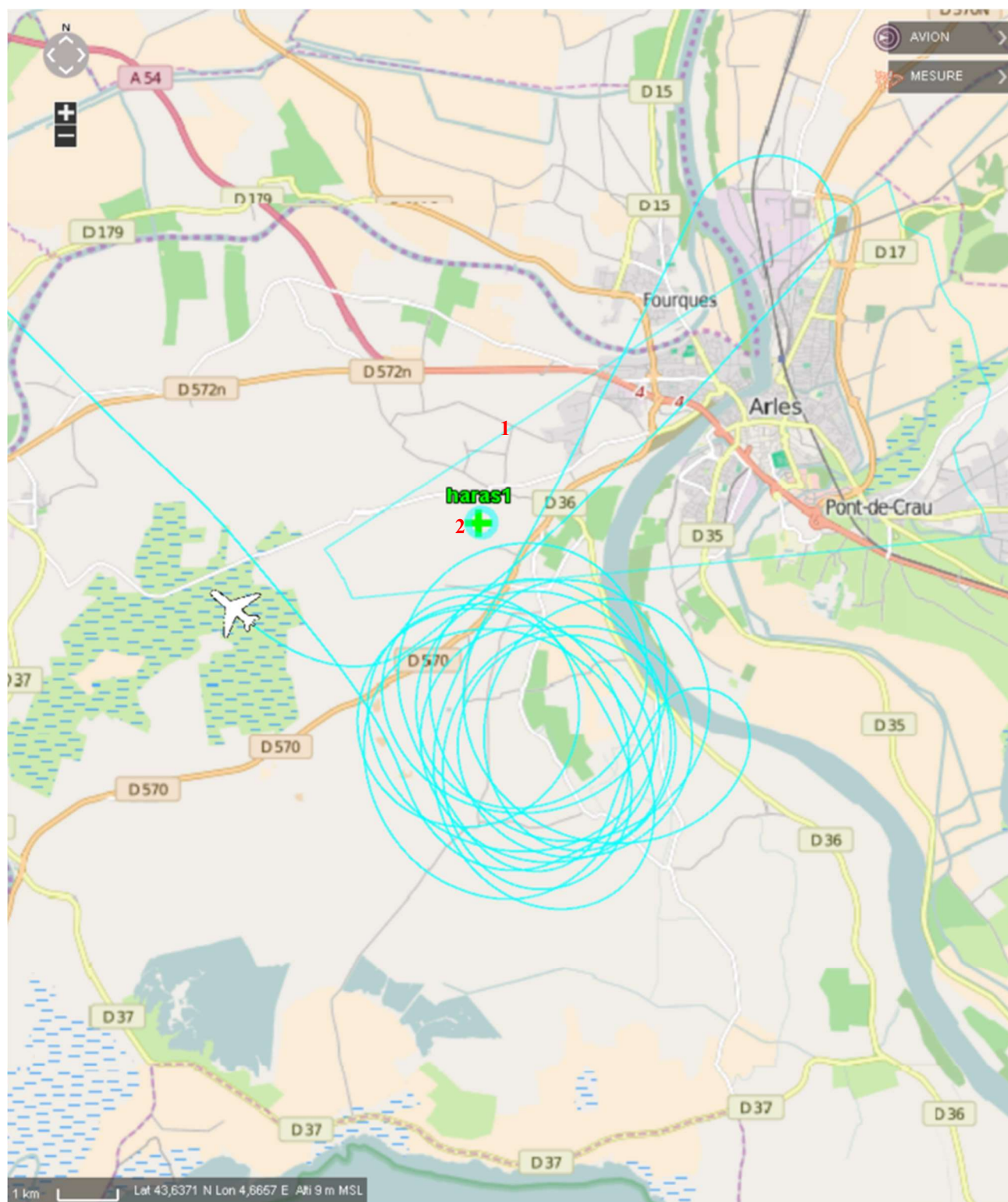


Fig.33 – Parcours de l'avion lors de la calibration (vue de haut)

- Parcours intégral vu en 3D :

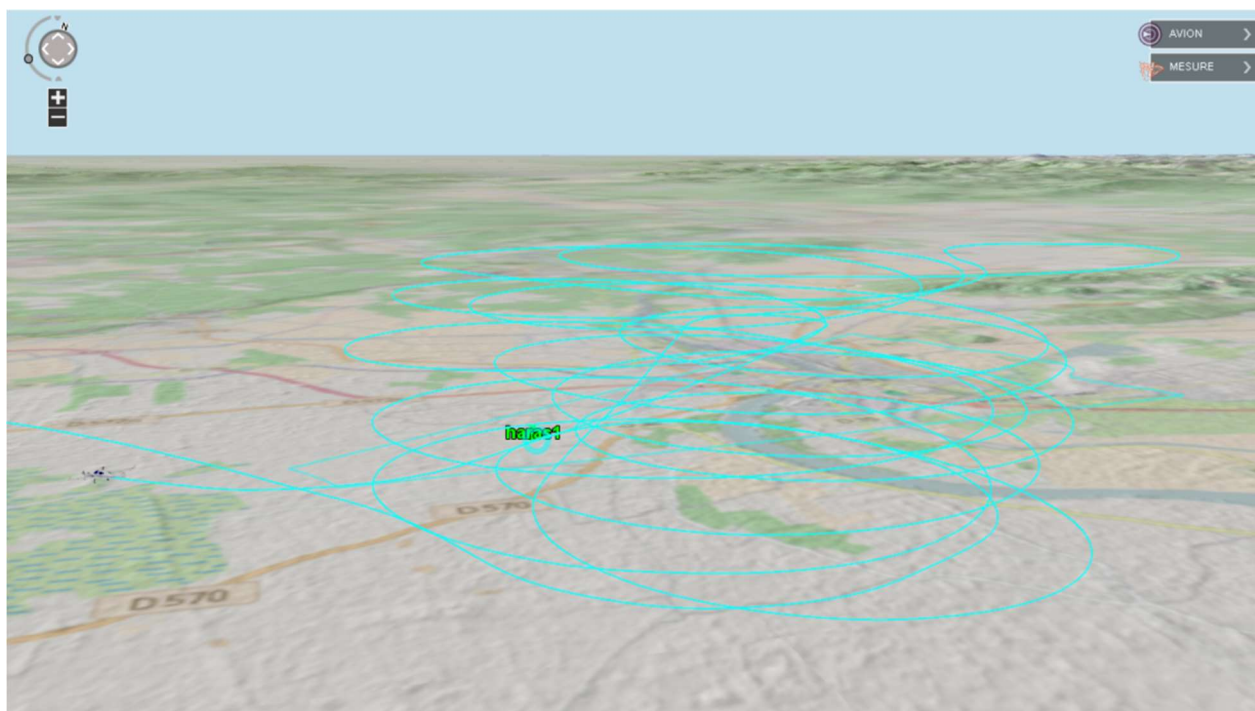


Fig.34 – Parcours intégral de l'avion lors de la calibration (vue en 3D – spirales)

- Affichage de l'avion et du parcours réalisé en 3D pendant la calibration :

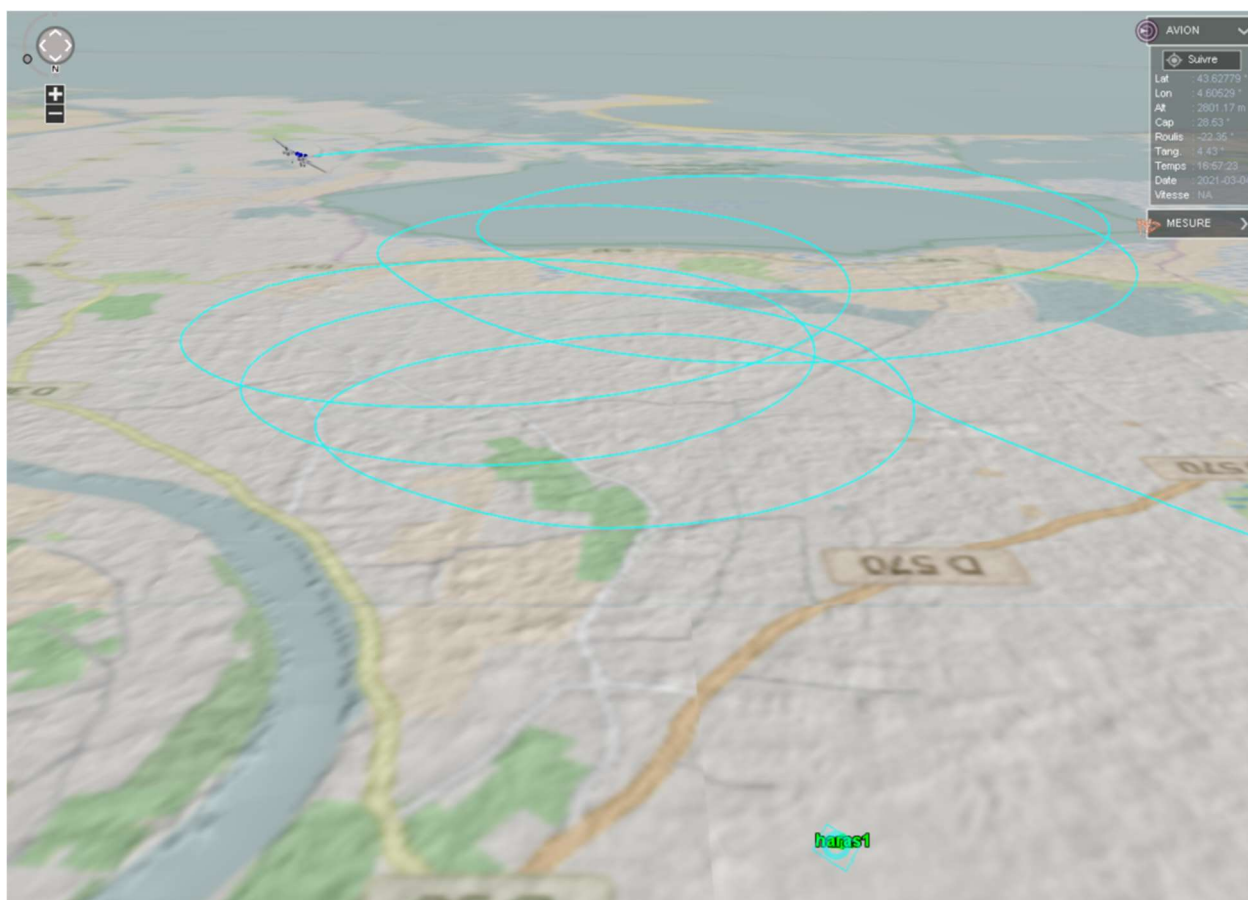


Fig.35 – Parcours de l'avion lors de la calibration (vue en 3D)

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 22/119 DR-SF
---	--	--

7.5. DUREE DE CALIBRATION

La durée de la calibration est déterminée par le nombre de points à mesurer.

Le nombre de points est fonction du nombre de fréquences à parcourir et du nombre d'angles (élévation + gisement) à parcourir.

Un algorithme d'interpolation développé spécialement pour cette calibration permet de calculer les points manquants afin de remplir complètement la table de calibration de l'antenne.

Les fréquences à parcourir vont de 30 à 764 MHz.

Pour que l'algorithme d'interpolation donne de bons résultats, le pas en fréquence doit être fin en bas de la bande et de plus en plus espacé jusqu'en haut de la bande.

Les valeurs utilisées pendant la calibration sont les suivantes :

- pas de 1 MHz pour les fréquences entre 30 et 70 MHz
- pas de 2 MHz pour les fréquences entre 70 et 190 MHz
- pas de 4 MHz pour les fréquences entre 190 et 764 MHz

Pour l'ensemble de la bande basse, le plan de balayage du capteur est constitué de 19 bandes :

- 30-70
- 70-110
- 110-150
- etc...

Pour la première bande 30-70, le pas de fréquence à calibrer est 1 MHz (voir plus haut).

Le générateur de calibration émet des pulses de 2 ms, et donc le temps d'écoute pour cette bande est 80 ms.

Note : il y a un générateur dédié à une polarisation, et un autre générateur dédié à l'autre polarisation, chacun émettant sur des fréquences légèrement décalées.

Pour les bandes entre 70 et 190 MHz, le temps d'écoute est de moitié : 40 ms.

Pour les bandes entre 190 et 764 MHz, le temps d'écoute est de moitié : 20 ms.

Le temps total de balayage est donc de : $1 * 80 + 3 * 40 + 15 * 20 = 500$ ms.

Pour l'ensemble de la bande basse, le système fait donc 2 mesures par seconde pour l'ensemble des fréquences à calibrer.

Les élévations à parcourir vont de -90 à +10° avec un pas de 5°.

Les gisements à parcourir vont de 0 à 360° avec un pas de 5°.

Au total, 1512 couples d'élévation et de gisement sont à déterminer.

La trajectoire suivie par le porteur aérien pendant la calibration doit être optimisée pour parcourir le maximum de points de la table de calibration en gisement et élévation pendant un minimum de temps.

L'algorithme d'interpolation développé par Avantix permet de calculer les points de gisement et d'élévation de la table en fonction des points réellement mesurés qui ne tombent évidemment pas sur les points de la table.

Ce même algorithme permet également de calculer les points manquants.

Pour que l'algorithme d'interpolation fonctionne correctement, et pour avoir un ordre de grandeur, il faut globalement qu'un point sur deux de la table soit mesuré.

La trajectoire utilisée est globalement un tire-bouchon montant suivi d'un tire-bouchon descendant, suivi d'un parcours type hippodrome pour les derniers points.

L'altitude de vol est comprise entre 500 et 3000 mètres.

L'angle de roulis pris par l'avion est au plus de 20 degrés.

Le diamètre des cercles des tire-bouchons est d'environ 4 km.

Ces cercles ne sont pas au-dessus des générateurs mais décalés d'environ 2 km.

L'avion vole à environ 300 km/h : il fait un cercle complet en environ 2 mn.

Sa vitesse ascensionnelle est d'environ 500 pieds/minute.

Il va donc faire environ 9 cercles en montant, et 9 cercles en descendant.

Du fait du roulis, ces 18 cercles permettent de parcourir les différentes élévations.

Les cercles permettent eux de parcourir les différents gisements.

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 23/119 DR-SF
---	--	--

En fait, certains angles ne sont pas bien couverts et nécessitent une trajectoire complémentaire finale.
Le temps total est donc d'environ 20 mn pour monter, 20 mn pour descendre, et 20 mn pour la trajectoire complémentaire.

Conclusions :

- pour une calibration complète de la bande basse, le temps de vol requis est d'environ 1h,
- le balayage angulaire est assuré par la trajectoire de l'avion,
- le balayage fréquentiel est assuré par les générateurs arbitraires.

7.6. CONDITIONS DE CALIBRATION

La calibration nécessite des formes d'onde particulières émises par les générateurs, et un mode spécial de synchronisation temporel entre ces générateurs et le capteur FH.

Avantix peut fournir à la vente ou à la location le matériel nécessaire.

L'environnement électromagnétique doit être libre sur les fréquences à calibrer.

Le choix de la zone de vol de calibration doit être fait avec ce critère.

En cas de difficultés pour certaines fréquences, le plan de balayage de la calibration peut être adapté.

La calibration peut être également effectuée en plusieurs fois, sur différentes bandes de fréquences et différents lieux de calibration.

L'algorithme de calibration est prévu pour pouvoir mixer différents vols de calibration.

7.7. VALIDATION DE LA TABLE DE CALIBRATION

La table de calibration créée par l'algorithme d'interpolation est validée de différentes façons.

La première validation consiste à rejouer les vols de calibration et à vérifier que l'utilisation de cette table de calibration permet bien de trouver la bonne position des générateurs de calibration.

La deuxième validation consiste à tester la localisation de quelques générateurs au sol, dont la position est connue. Ces générateurs peuvent être des émetteurs du commerce type PMR.

A titre d'illustration, les graphes suivants représentent les résultats de mesure de goniométrie en utilisant soit la table de calibration mesurée en chambre anéchoïde, soit la table de calibration mesurée lors de la calibration en vol, et ce pour deux fréquences : 137 MHz et 412 MHz.

Ces mesures sont issues du vol effectué le 22/03/2021.

Les courbes en rouge sont théoriques, et correspondent au résultat idéal.

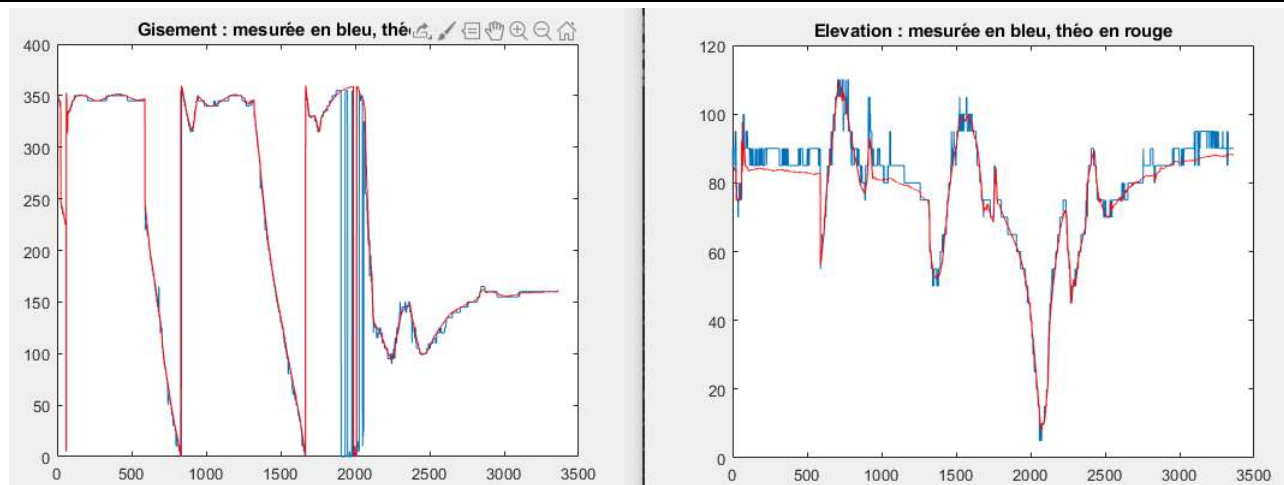


Fig.36 - Gisement et élévation obtenus avec la table de calibration mesurée en vol, pour la $F = 137$ MHz

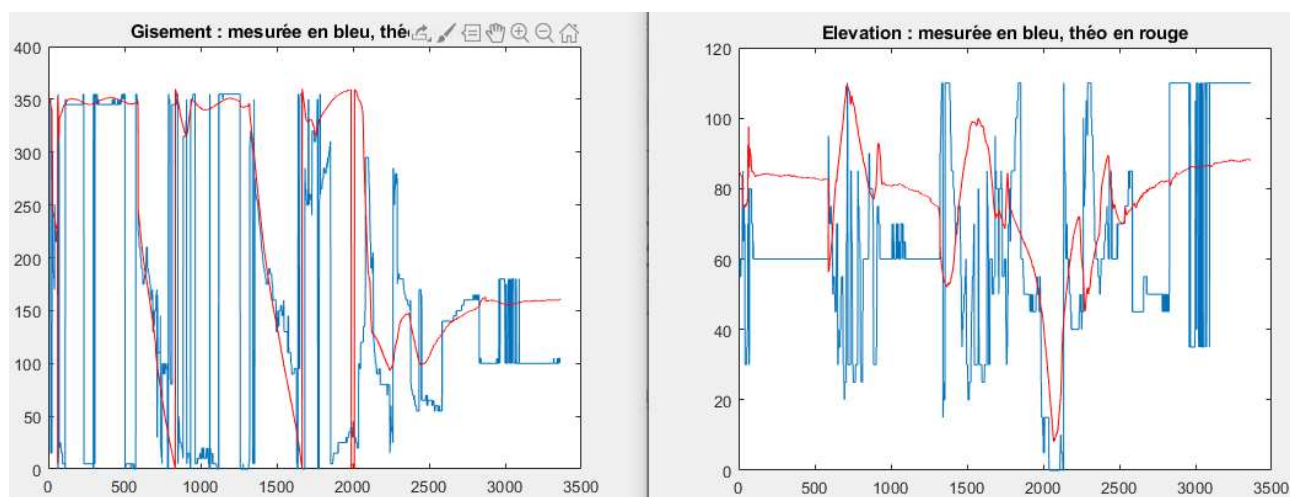


Fig.37 - Gisement et élévation obtenus avec la table de calibration mesurée en chambre anéchoïde, pour la $F = 137$ MHz

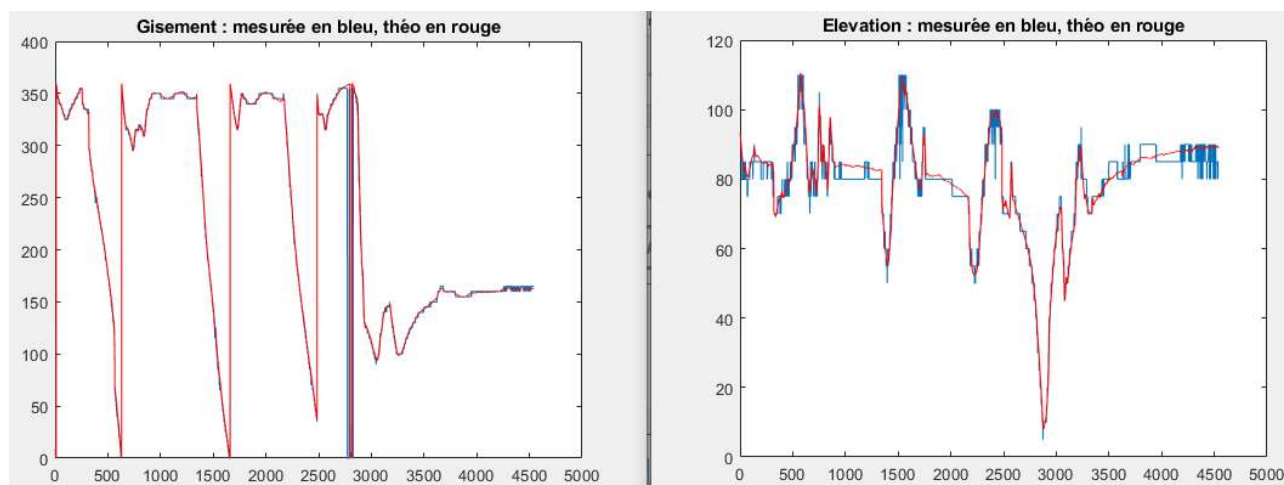


Fig.38 - Gisement et élévation obtenus avec la table de calibration mesurée en vol, pour la $F = 412$ MHz

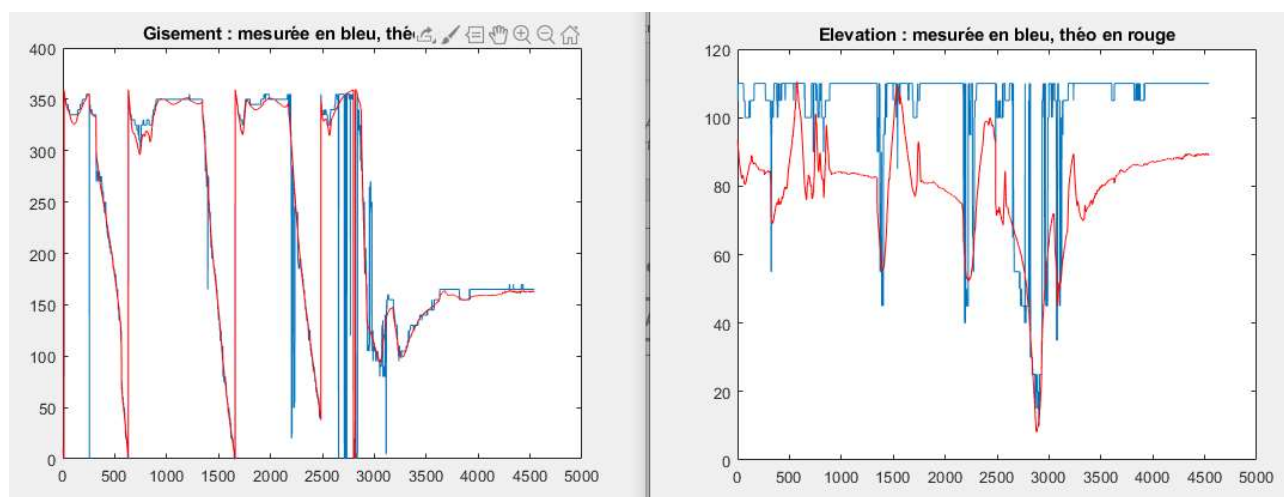


Fig.39 - Gisement et élévation obtenus avec la table de calibration mesurée en chambre anéchoïde, pour la $F = 412$ MHz

L'amélioration des résultats obtenue grâce à la calibration en vol est évidente au vu de ces courbes.

Remarque : il semble que la calibration en chambre anéchoïde fasse que l'erreur en gisement soit moindre que l'erreur en élévation.

8. DESCRIPTION DETAILLEE DES VOLS, TESTS ET FREQUENCES ASSOCIEES

8.1. SCENARIOS DE VOLS ET FREQUENCES DE TESTS

La validation du système FlashHawk comprend les scénarios et tests répertoriés dans la table ci-dessous :

Référence	Libellé du scénario	Type
Vol 1	Vol de performances - PRECISIONS ANGULAIRES POUR 1 BURST TELECOM (VOLS 1 & 2), - PRECISIONS DE LOCALISATION POUR 1 CLUSTER (VOLS 1 & 2 & 5) - GESTION DES SIGNAUX EVF (VOLS 1 & 5)	P
Vol 2	Vol de performances - PRECISIONS ANGULAIRES POUR 1 BURST TELECOM (VOLS 1 & 2), - PRECISIONS DE LOCALISATION POUR 1 CLUSTER (VOLS 1 & 2 & 5)	P
Vol 3	Vol de séparation spatiale et de voies d'écoute TESTS DE SEPARATION SPATIALE (VOLS 3 & 4) - VOL DE VOIES D'ÉCOUTE & DEMODULATEUR DU COMMERCE (VOLS 3 & 4)	P
Vol 4	Vol opérationnel avec scénario et gestion des alertes TESTS DE SEPARATION SPATIALE (VOLS 3 & 4) - VOL OPERATIONNEL (VOL 4) - VOL DE VOIES D'ÉCOUTE & DEMODULATEUR DU COMMERCE (VOLS 3 & 4)	O
Vol 5	Vol en haute altitude - PRECISIONS DE LOCALISATION POUR 1 CLUSTER (VOLS 1 & 2 & 5) - GESTION DES SIGNAUX EVF (VOLS 1 & 5) - SENSIBILITE / PORTEE (VOL 5)	P

Il existe deux types de scénarios :

- ❖ P : scénario d'essais de performances
- ❖ O : scénario d'essais opérationnels

Les fréquences de tests proposées par le client sont au nombre de 12 et sont les suivantes :

Fréquence #	Bande de fréquence	Fréquence testée	Type BB ou BH
F1	33,5 ± 1 MHz	33 MHz	BB
F2	41 ±1 MHz	41 MHz	BB
F3	72,3 ± 1 MHz	72 MHz	BB
F4	137,5 ± 1 MHz	137 MHz	BB
F5	235,25-240,25 MHz	237 MHz	BB
F6	301,25-306,25 MHz	303 MHz	BB
F7	363,75-368,75 MHz	365 MHz	BB
F8	410-414,5 MHz	412 MHz	BB
F9	862-869,2 MHz	867 MHz	BH
F10	1350-1375 MHz	1363 MHz	BH
F11	1492-1518 MHz	1502 MHz	BH
F12	2310-2400 MHz	2322 MHz	BH

Fig.40 - Fréquences de tests proposées par le client

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 27/119 DR-SF
---	--	--

La dernière colonne est uniquement liée aux moyens de tests déployés par Avantix lors de l'OER : cela indique si le banc de test utilisé est celui pour la Bande Basse ou celui pour la Bande Haute, donc si le test correspondant a été lancé dans le Vol #1 (correspondant au test Bande Basse) ou le Vol #2 (correspondant au test Bande Haute), comme cela sera expliqué dans les chapitres adéquats.

8.2. PRECISIONS ANGULAIRES POUR 1 BURST TELECOM (VOLS 1 & 2)

Dans toute la suite du document, les conventions d'orientation des mesures de goniométrie sont les suivantes :

- les termes « gisement » et « élévation » sont réservés aux mesures relatives au porteur
- les termes « azimut » et « site » sont réservés aux mesures relatives au repère terrestre

Le gisement 0 de l'antenne correspond à l'axe du porteur, dirigé vers l'avant du porteur.

L'élévation 0 de l'antenne correspond au plan du porteur.

L'azimut 0 correspond au nord.

Le site 0 correspond à l'horizon, et le site -90° correspond à l'aplomb du porteur.

8.2.1. PRINCIPE GENERAL DE L'ALGORITHME DE MESURE DE GONIOMETRIE

L'algorithme de goniométrie s'exécute pour chaque burst télécom détecté.

Pour chacun des bursts, un calcul de matrice de covariance est effectué.

Cette matrice est calculée à partir des IQ en sortie de FFTs.

Ce calcul moyenne le résultat de la matrice sur toute la durée du burst.

La matrice obtenue au final pour chaque burst télécom est une matrice de dimension 10x10 puisque les 10 antennes du réseau sont traitées simultanément.

La matrice est ensuite comparée à la table de calibration pour la fréquence centrale du burst reçu.

Cette comparaison se base sur une combinaison linéaire des informations de la table de calibration suivant les deux polarisations orthogonales la composant.

L'information intrinsèque de polarisation reçue est donc obtenue en même temps que l'information utile de gisement et d'élévation.

C'est l'erreur de mesure de l'angle solide formé par la valeur de gisement et d'élévation qui est reportée dans ce chapitre.

8.2.2. PRINCIPE DU TEST

Pour effectuer ce test, un vol a été programmé avec une trajectoire permettant de parcourir l'ensemble des gisements et de l'ensemble des élévations.

Cette trajectoire part du sud de la position des plastrons et va vers le nord en survolant les plastrons.

Ceci permet de balayer les élévations.

Avant de survoler les plastrons, l'avion effectue au moins 1 cercle complet (3 dans les faits).

Ceci permet de balayer les gisements.

Les plastrons au sol sont principalement des générateurs.

Ces générateurs sont connectés à des amplificateurs et des antennes d'émission.

Les caractéristiques détaillées sont fournies dans le paragraphe suivant.

Ces générateurs émettent des impulsions d'une durée plutôt courte (2.5ms) et d'une durée plus longue (12ms).

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 28/119 DR-SF
---	--	--

Les résultats de mesure résultent d'une exploitation de données internes au capteur FlashHawk, afin d'avoir les performances au niveau burst.

Ces informations ne sont pas celles restituées à l'opérateur, mais permettent de qualifier au niveau burst la réponse du capteur FH.

Le dépouillement au niveau burst n'est pas possible avec l'application de rejeu standard. Elle nécessite du code Matlab (propriété Avantix).

Remarque :

un burst au sens de FH est :

- soit la durée du burst télécom si le temps d'écoute sur cette fréquence est supérieur à la durée du burst
- soit la durée du temps d'écoute sur cette fréquence, si la durée du burst télécom est plus grande que le temps d'écoute

Exemple : le balayage écoute la bande de fréquence 900-940 MHz pendant 10 ms avant de passer à la suivante.

Si les bursts télécom captés ont des durées de 560us, alors la durée mesurée par FH est de 560us.

Si les bursts télécom captés ont des durées de 30ms, alors la durée mesurée par FH est de 10ms (temps d'écoute).

8.2.3. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST

Dénomination	Modèle Générateur	Fréquence (MHz)	Durée Burst (ms)	Modèle Ampli	Niveau pied d'antenne (dBm)	Type Antenne	Gain estimé antenne (dBi)
GEN2322b12	KEYSIGHT N5166B	2322	12	ZHL-5W-63-S+	30	COJOT WB525Q	3
GEN2322b3		2322.5	2.5		30		3
GEN1502b12		1502	12		28		2
GEN1502b3		1502.5	2.5		28		2
GEN1363b12		1363	12		28		2
GEN1363b3		1363.5	2.5		28		2
GEN867b12		867	12		34.5		2
GEN867b3		867.5	2.5		34.5		2
GEN412b12		412	12	ZHL-20W-13SW+	40	OMNI A0180	1
GEN412b3		412.5	2.5		40		1
GEN365b12		365	12		39.5		1
GEN365b3		365.5	2.5		39.5		1
GEN303b12		303	12		40		0
GEN303b3		303.5	2.5		40		0
GEN237b12		237	12		40		0
GEN237b3		237.5	2.5		40		0
GEN137b12		137	12		39.5		-2
GEN137b3		137.5	2.5		39.5		-2
GEN72b12		72	12		40		-13
GEN72b3		72.5	2.5		40		-13
GEN41b12		41	12		41		-24
GEN41b3		41.5	2.5		41		-24
GEN33b12		33	12		41		-26
GEN33b3		33.5	2.5		41		-26

Fig.41 – Table des plastrons au sol pour Vols 1 & 2

8.2.4. RESULTATS

Les mesures sont issues des vols 1 et 2.

Les résultats présentés ne sont pas moyennés. Ils correspondent à la répartition statistique de chaque mesure unitaire faite au niveau de la réception d'un burst télécom.

Le relevé d'écart en angle solide est donné pour les élévations comprises entre +10° et -90°.

Le relevé d'écart en azimut est donné pour les gisements compris entre +10° et -30°.

Les résolutions des FFT utilisées étaient de 6.25 et 12 kHz.

Remarque : les élévations et les gisements sont les angles relatifs au porteur.

Dénomination	Fréquence (MHz)	Durée burst (ms)	RESULTATS	
			Relevé écart angle solide (°RMS)	Relevé écart gisement (°RMS)
GEN2322b12	2322	12	3.8	2.5
GEN2322b3	2322.5	2.5	3.7	2.45
GEN1502b12	1502	12	4.9	3.7
GEN1502b3	1502.5	2.5	5.1	3.8
GEN1363b12	1363	12	4	3.45
GEN1363b3	1363.5	2.5	4.05	3.45
GEN867b12	867	12	7.8	3.75
GEN867b3	867.5	2.5	10.9	6.3
GEN412b12	412	12	3.85	2.2
GEN412b3	412.5	2.5	4.15	2.35
GEN365b12	365	12	3.45	2.2
GEN365b3	365.5	2.5	3.75	2.35
GEN303b12	303	12	3.75	2.3
GEN303b3	303.5	2.5	4.05	2.5
GEN237b12	237	12	3.75	2.5
GEN237b3	237.5	2.5	4.5	2.85
GEN137b12	137	12	4.8	2.7
GEN137b3	137.5	2.5	5.3	2.9
GEN72b12	72	12	9.1	6.6
GEN72b3	72.5	2.5	11.7	9.85
GEN41b12	41	12	7.9	4.3
GEN41b3	41.5	2.5	7.9	5.4
GEN33b12	33	12	20	13.7
GEN33b3	33.5	2.5	44	25.7

Fig.42 – Table des précisions angulaires pour 1 burst Télécom

De façon globale, l'ensemble des écarts mesurés est cohérent avec le chiffre ayant guidé la conception du réseau antenne par le LETI (à toutes fins utiles, ce chiffre était de 5° comme objectif).

L'écart augmente en bas de la bande haute (limite à 764MHz) et en bas de la bande basse :

- pour la bande haute, cette augmentation d'écart s'explique par une dimension trop petite du réseau au fur et à mesure que la fréquence diminue ;
- pour la bande basse, cette augmentation d'écart s'explique également par une dimension trop petite du réseau, mais aussi par le fait que les 5 antennes fente le constituant ont un gain diminuant de façon plus importante que le gain des 5 autres antennes dites mono-cônes.

A titre d'illustration, la répartition statistique complète de l'erreur d'angle solide est donnée pour la fréquence 412 MHz sur la figure suivante :

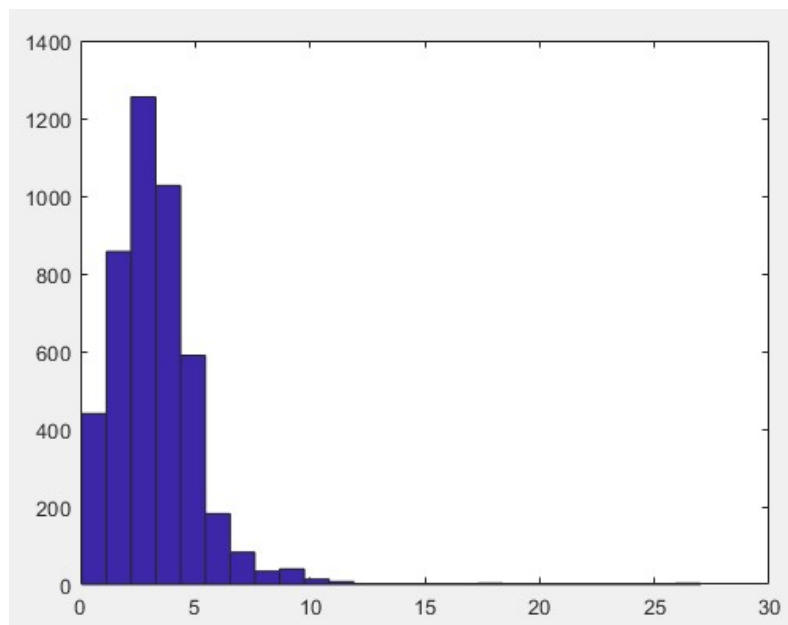


Fig.43 - Répartition statistique de l'erreur d'angle solide à F = 412 MHz

L'axe des abscisses est l'erreur d'angle solide en degrés.

L'axe des ordonnées est le nombre de réalisation de la mesure.

La valeur notée pour cet exemple dans le tableau est de 3.85 degrés, correspondant à 1 sigma de la répartition (maximum d'erreur pour 68% des mesures).

8.3. PRECISIONS DE LOCALISATION POUR 1 CLUSTER (VOLS 1 & 2 & 5)

8.3.1. FONCTIONNEMENT DU CLUSTERING

Ce chapitre s'intéresse aux résultats de localisation obtenus par le clustering.

Le clustering est l'algorithme de « désentrelacement » et de localisation permettant de créer la situation tactique.

Il regroupe les bursts détectés par émetteur.

Un cluster est donc à priori un émetteur présent au sol.

L'algorithme de clustering testé pendant l'OER est un algorithme basé sur la projection du tir goniométrique sur le modèle numérique du terrain survolé, pour localiser les bursts puis les émetteurs présents au sol.

Cet algorithme se base essentiellement sur la position des bursts au sol pour les regrouper en émetteur.

Il se base évidemment également sur la fréquence et la durée des bursts pour ce regroupement.

Pour cela, il s'appuie sur le contenu de la base de données des émetteurs.

Avantix sait s'interfacer avec un logiciel de démodulation du commerce pour compléter la classification en temps différé (identifiants,...).

L'opérateur à travers l'IHM de FH visualise donc directement les résultats en temps réel fournis par l'algorithme de clustering.

Ces résultats sont de plusieurs types selon le site auquel est capté l'émission :

- **si le site est compris entre 0 et -45°**, alors le cluster est affiché sous forme d'une croix oblique, et d'un trait pointillé partant du centre de la croix.

Le trait pointillé indique la direction dans laquelle l'émetteur se trouve.



Fig.44-Croix oblique avec trait pointillé

La croix se déplace dans la direction de l'émetteur au sol, au fur et à mesure que l'avion s'approche de l'émetteur.

Sa colonne de précision dans le tableau des émetteurs indique alors « affinage » si l'émetteur est en cours de pistage, ou « horizon » si son pistage a été abandonné.

- **si le site est compris entre -45 et -70°**, alors le cluster est affiché sous forme d'une croix verticale.

Cette croix n'a plus de trait pointillé. Sa position est affinée au fur et à mesure que les mesures s'accumulent pour ce même émetteur.

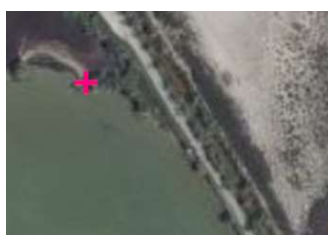


Fig.45a-Croix verticale

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 33/119 DR-SF
---	--	---

Sa colonne de précision dans le tableau des émetteurs indique alors « bon affinage » ;

- **si le site est compris entre -70 et -90°**, alors le cluster est affiché sous forme d'une croix verticale. Cette croix n'a plus de trait pointillé. Sa position est affinée au fur et à mesure que les mesures s'accumulent pour ce même émetteur.

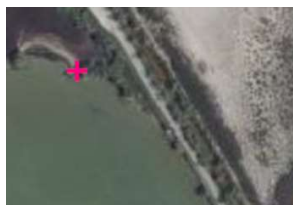


Fig.45b-Croix verticale

Sa colonne de précision dans le tableau des émetteurs indique alors « meilleur ».

La position taguée « meilleur » est plus précise que la position taguée « bon affinage » ;

- **si le site repart entre 0 et -45°** après un changement d'état vers « bon affinage » et/ou « meilleur », alors la position du cluster n'est pas modifiée.

Bien que toute l'OER ait été faite avec ce réglage, le tableau du paragraphe suivant va également montrer les performances avec un angle de -30° au lieu de -45°.

Remarque : un algorithme basé sur une localisation par défilement pourrait être adjoint à FH pendant la phase « d'affinage ». Voir le chapitre « 9 . EVOLUTION – algorithme de localisation par défilement » pour plus d'informations sur cet algorithme.

8.3.2. PRINCIPE DU TEST

Le test consiste à reprendre les mesures captées pendant les vols 1 et 2 aux différentes fréquences.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons donc aux performances de FH pour l'opérateur et fabriquées par l'algorithme de clustering.

Le clustering a un effet d'intégration des résultats obtenus burst par burst.

La durée de l'intégration reportée dans les tableaux de résultats est de 20 secondes pour les zones à l'horizon et de 5 secondes pour les zones « bon affinage » et « meilleur ».

Cette durée d'intégration correspond à la durée nécessaire d'émission pour avoir les performances relevées dans le tableau.

8.3.3. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST

Pour le vol #5, les plastrons au sol sont les 3 premiers de la liste ci-dessous.

Puis pour les vols #1 et #2, Les plastrons au sol sont les mêmes que ceux du paragraphe 8.1.2.

Dénomination	Modèle Générateur	Fréquence (MHz)	Durée Burst (ms)	Modèle Ampli	Niveau pied d'antenne (dBm)	Type Antenne	Gain estimé antenne (dBi)
GEN2322	DGA MI	2322	40 (balayage FH)	Ampli DGA MI	33	DGA MI ARA-5800	2
GEN1363	KEYSIGHT N5166B	1363	9.6 (balayage FH)	ZHL-5W-63-S+	28	DGA MI ARA-5800	1.5
GEN137	DGA MI	137	6.9 (balayage FH)	Ampli DGA MI	33	DGA MI ARA-5800	-2
GEN2322b12	KEYSIGHT N5166B	2322	12	ZHL-5W-63-S+	30	COJOT WB525Q	3
GEN2322b3		2322.5	2.5		30		3
GEN1502b12		1502	12		28		2
GEN1502b3		1502.5	2.5		28		2
GEN1363b12		1363	12		28		2
GEN1363b3		1363.5	2.5		28		2
GEN867b12		867	12		34.5		2
GEN867b3		867.5	2.5		34.5		2
GEN412b12		412	12	ZHL-20W-13SW+	40	OMNI A0180	1
GEN412b3		412.5	2.5		40		1
GEN365b12		365	12		39.5		1
GEN365b3		365.5	2.5		39.5		1
GEN303b12		303	12		40		0
GEN303b3		303.5	2.5		40		0
GEN237b12		237	12		40		0
GEN237b3		237.5	2.5		40		0
GEN137b12		137	12		39.5		-2
GEN137b3		137.5	2.5		39.5		-2
GEN72b12		72	12		40		-13
GEN72b3		72.5	2.5		40		-13
GEN41b12		41	12		41		-24
GEN41b3		41.5	2.5		41		-24
GEN33b12		33	12		41		-26
GEN33b3		33.5	2.5		41		-26

Fig.46 – Table des plastrons au sol pour Vols 1 & 2 & 5

8.3.4. TRACES DE VOL

Les tracés du parcours de l'avion sont présentés en bleu dans les images ci-après. En rouge est représentée la zone de vol autorisée du contrôle aérien d'Istres.

Fig.47 - Vol #1 du 22 mars

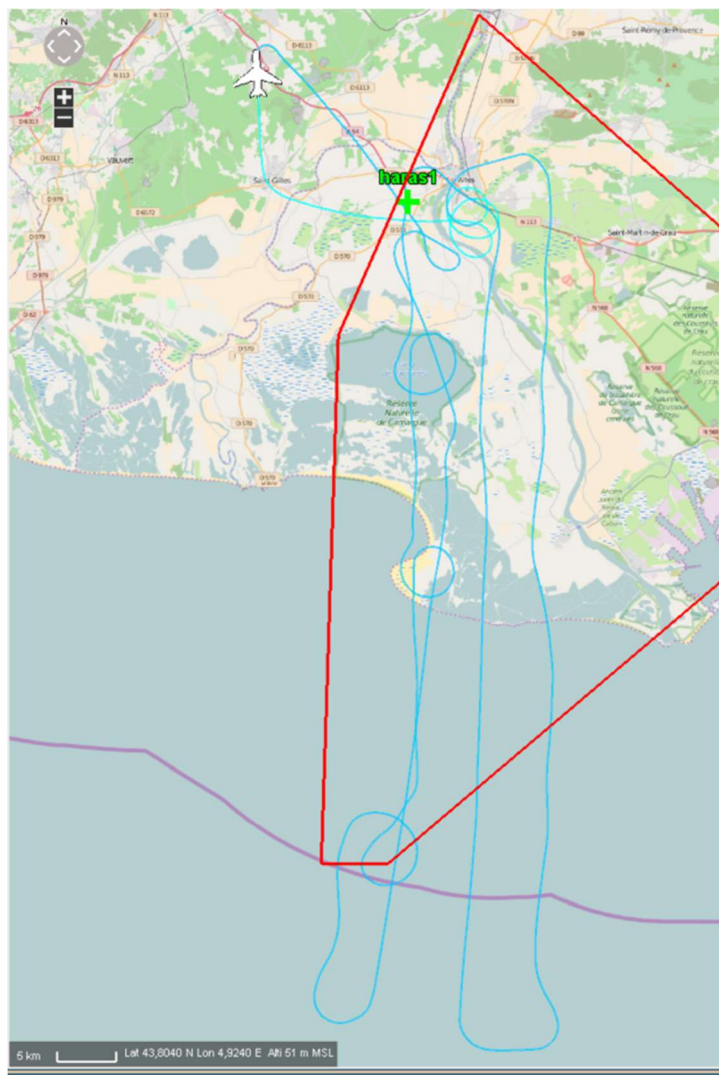
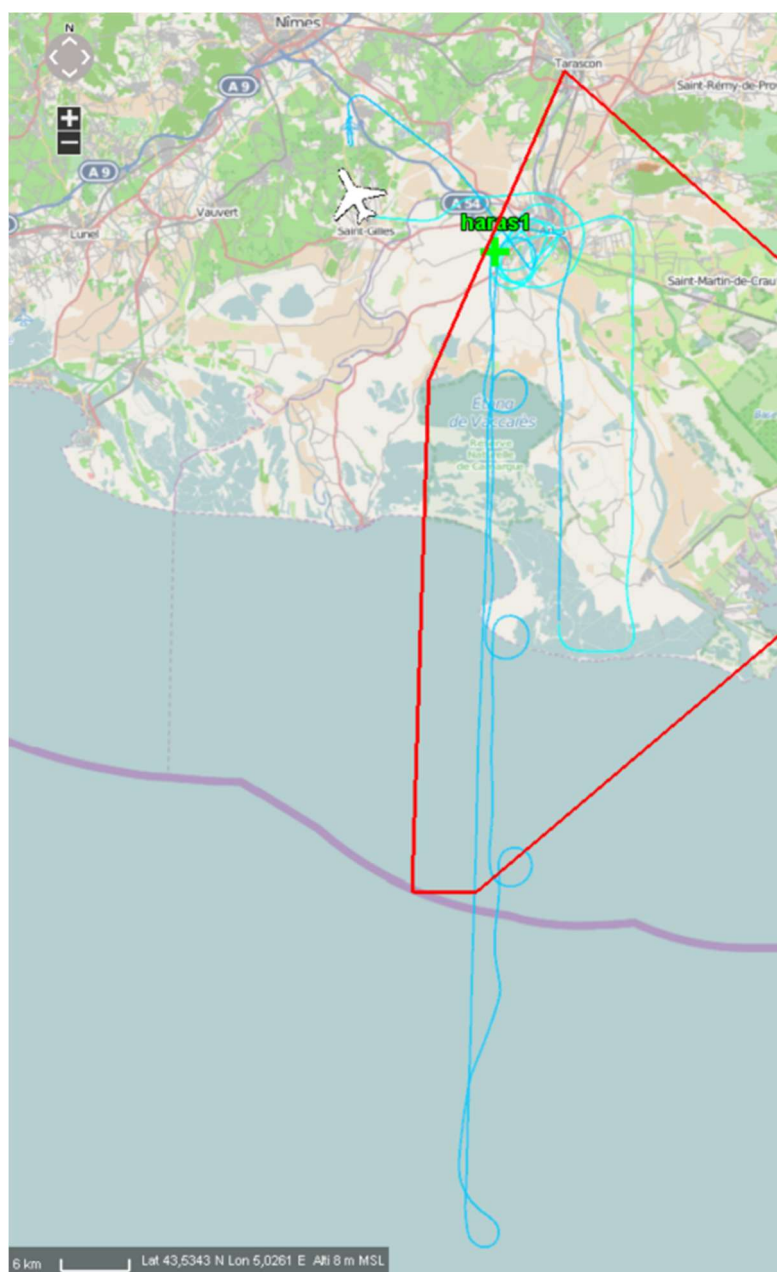


Fig.48 - Vol #2 du 23 mars



8.3.5. RESULTATS (LOCALISATION EN MOINS DE 5 SECONDES)

Les mesures sont issues des vols 1 et 2 et 5.

Les mesures de localisation instantanée sont obtenues en moins de 5 secondes d'écoute de la cible.

Ces mesures sont celles reportées dans les 3 colonnes de droite des tableaux ci-dessous.

Lorsque FH ne fait pas de localisation instantanée (Tag : affinage ou horizon), les mesures d'azimut peuvent être exploitées pour faire de la localisation par défilement. Le chapitre « 9 . EVOLUTION – algorithme de localisation par défilement » montre les résultats qui seraient obtenus par cet algorithme avec les performances de la colonne (Tag : affinage ou horizon).

RELEVES SUITE AUX VOLS 1 et 2 à 10000 pieds								
Détection horizon et possibilité de localisation par défilement			Localisation instantanée en moins de 5 secondes					
Site 0 à -30° Tag : Affinage ou horizon			Passage au site < -30° Tag : Bon affinage à -30° (non implémenté)		Passage au site < -45° Tag : Bon affinage à -45°		Passage au site < -70° Tag : Meilleur	
Fauchée à 10000 pieds (m)			11000		6100		2200	
Dénomination	Relevé écart azimut (°RMS)	Distance de détection maxi (m)	Relevé écart angle solide (°)	Relevé écart loc pour alt 10000 pieds (m)	Relevé écart angle solide (°)	Relevé écart loc pour alt 10000 pieds (m)	Relevé écart angle solide (°)	Relevé écart loc pour alt 10000 pieds (m)
GEN2322b12	2.3	28500	0,9	200	1,2	130	1,6	100
GEN2322b3	2.25	29000	0,7	150	1,2	135	1,6	100
GEN1502b12	3.5	39000	0,8	185	1,2	130	1,5	90
GEN1502b3	3.65	40500	0,8	165	1,3	140	1,5	90
GEN1363b12	3.2	42500	2,6	600	1,6	175	0,8	50
GEN1363b3	3.2	43000	2,7	620	2,3	260	0,8	50
GEN867b12	3.55	27500	2,7	625	3,1	350	0,8	50
GEN867b3	6.30	28500	0,8	165	2,9	330	0,8	50
GEN412b12	2.15	67000	0,5	110	0,8	90	1,2	75
GEN412b3	2.30	67000	0,6	125	0,7	80	1,2	75
GEN365b12	2.15	62000	1,4	320	1,3	140	1,6	100
GEN365b3	2.30	65000	0,9	190	1,2	130	1,8	110
GEN303b12	2.15	50500	0,7	160	3,7	425	1,7	105
GEN303b3	2.45	50500	1,2	265	3,8	430	1,7	105
GEN237b12	2.50	37500	0,7	160	1,3	140	2,2	135
GEN237b3	3.00	35000	0,7	160	1,4	150	2,4	145

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk						Version 01 Date : 12/05/2021 37/119 DR-SF	
	DIFFUSION RESTREINTE			SPECIAL FRANCE				

GEN137b12	2.40	55500	0,7	150	1,6	180	2,4	150
GEN137b3	2.65	56000	0,7	150	2,2	240	2,4	150
GEN72b12	6.25	38500	Pas d'extension de la zone de localisation instantanée pour ces fréquences *		2	220	0,5	30
GEN72b3	9.95	44000			2,3	250	0,7	40
GEN41b12	3.85	17000			2,1	230	1,2	70
GEN41b3	4.9	17500			2,7	300	1,6	100
GEN33b12	10.70	12500			6,7	810	10,4	680
GEN33b3	10.00	8500			7,7	950	14,7	1000

Fig.49 – Table des précisions de localisation pour 1 cluster à 10 000 pieds

* L'écart de mesure en site pour ces fréquences ne permet pas d'étendre la zone de localisation instantanée à -30°. Cette zone reste en possibilité de mesure par défilement (voir chapitre « 9 . EVOLUTION – algorithme de localisation par défilement » pour plus d'informations sur cet algorithme).

Remarque : la colonne « Passage au site < -30° - Tag : Bon affinage à -30° (non implémenté) » n'est pas implémentée dans l'algorithme utilisé pendant l'OER. Elle pourrait l'être pour affiner la localisation à une distance plus grande de la cible.

RELEVES SUITE AU VOL 5 à 20000 pieds								
	Site 0 à -30° Tag : Affinage ou horizon		Passage au site < -30° Tag : Bon affinage à -30° <i>(non implémenté)</i>		Passage au site < -45° Tag : Bon affinage à -45°		Passage au site < -70° Tag : Meilleur	
Fauchée à 20000 pieds (m)			22000		12400		4600	
Dénomination	Relevé écart azimut (°RMS)	Distance de détection maxi (m)	Relevé écart angle solide (°)	Relevé écart loc pour alt 20000 pieds (m)	Relevé écart angle solide (°)	Relevé écart loc pour alt 20000 pieds (m)	Relevé écart angle solide (°)	Relevé écart loc pour alt 20000 pieds (m)
			Rem : les relevés ci-dessous sont faits dans les 5 secondes autour de la valeur de la fauchée					
GEN2322	2.3	90100	0,4	190	1	210	2,3	280
GEN1363	3.2	109800	3,2	1550	1,5	330	1,3	155
GEN137	2.40	107600	1,9	850	2,1	475	2,3	280

Fig.50 – Table des précisions de localisation pour 1 cluster à 20 000 pieds

Pour l'ensemble de ces mesures, le SNR en réception était à une valeur de 20dB, sauf pour la bande haute à 20000 pieds où il était réduit à 14dB, sans dégradation visible des erreurs de mesure.

La valeur du SNR est programmable dans le plan de balayage du capteur, au même titre que la résolution de la taille FFT.

Remarque : le bruit capté par FH est diminué par une augmentation de la taille FFT, mais est également fonction du bruit ambiant de la zone survolée par le porteur aérien (et dans une certaine mesure du bruit généré par les équipements du porteur).

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 38/119 DR-SF
---	--	---

8.3.6. CONCLUSION

Les résultats obtenus sont cohérents avec les résultats au niveau du burst, donnés dans le chapitre précédent.
En fonction de l'altitude de vol, les erreurs angulaires restent globalement constantes.

De ce fait, on constate naturellement une augmentation de l'écart de localisation en mètre lorsque l'altitude augmente.
Cependant, lorsque l'altitude augmente, la zone de couverture permettant de faire de la localisation instantanée augmente également.

8.4. SENSIBILITE / PORTEE (VOL 5)

8.4.1. PRINCIPE DU TEST

L'avion monte à 20000 pieds en s'éloignant au sud du site d'essai.

Lorsque les dernières émissions des plastrons sont captées, il effectue un demi-tour et remonte vers le nord en direction du site d'essai.

Les distances relevées dans le tableau des résultats correspondent à la création de la piste émetteur.

8.4.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST

Dénomination	Modèle Générateur	Fréquence (MHz)	Durée Burst (ms)	Niveau pied d'antenne (dBm)	Type Antenne	Gain estimé antenne (dBi)
Tel IRIDIUM	IRID215U02 LLC	1621+-5.2	8.28 (burst iridium)	33 (à confirmer)	Spirale (à confirmer)	-3 (à confirmer) (à l'horizon)
PMR APCO	DGA MI	867.6	9.92 (balayage FH)	34.8	PMR fouet	0
PMR440	HYTERA PD405	440	9.6 (balayage FH)	37	PMR fouet	0
GEN2322	DGA MI	2322	40 (balayage FH)	33	DGA MI ARA-5800	2
GEN1363	KEYSIGHT N5166B	1363	9.6 (balayage FH)	28	DGA MI ARA-5800	1.5
GEN137	DGA MI	137	6.9 (balayage FH)	33	DGA MI ARA-5800	-2

Fig.51 – Table des plastrons au sol pour les tests de sensibilité & portée à 20 000 pieds

8.4.3. TRACE DE VOL

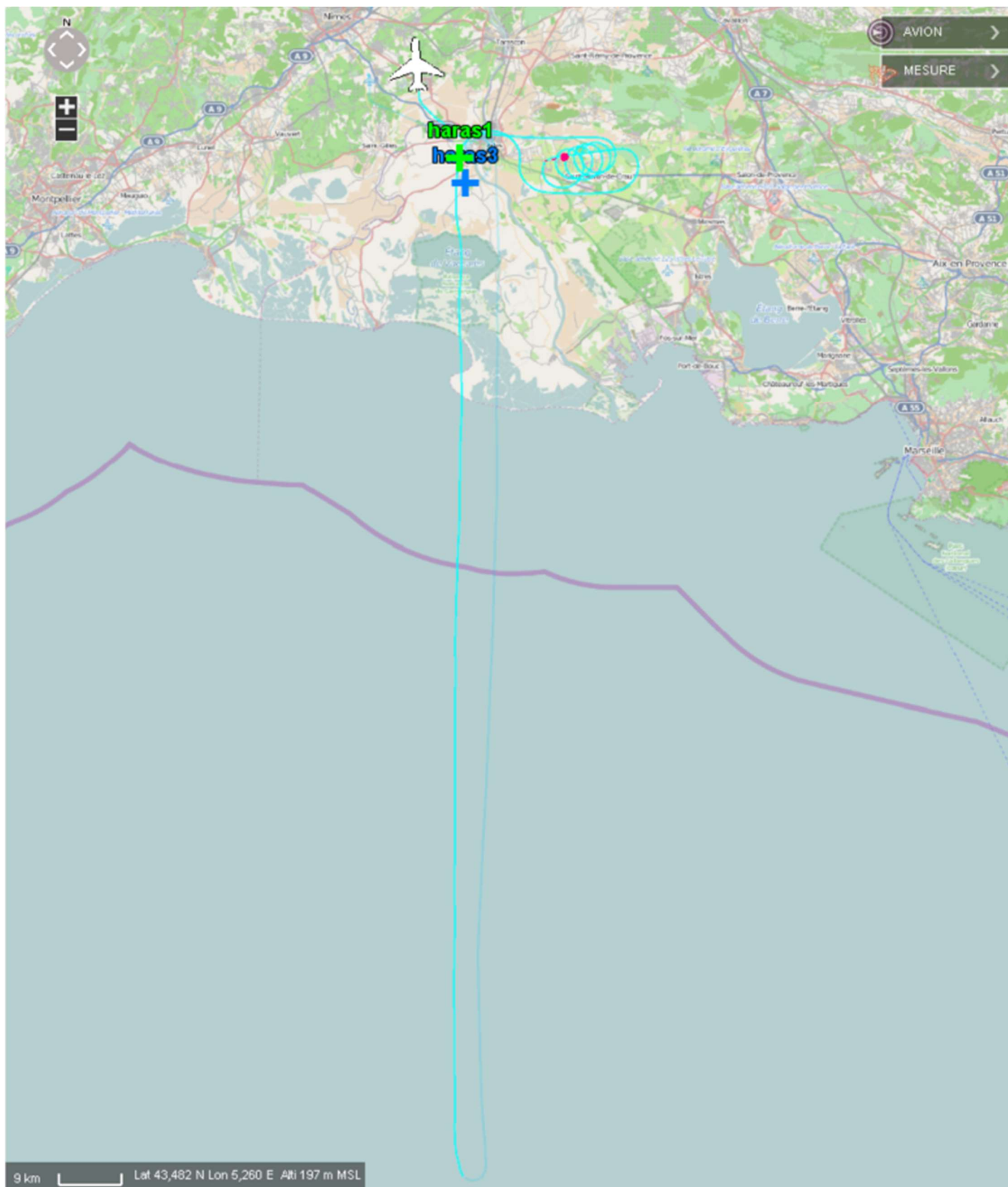


Fig.52 – Tracé de vol pour le test de sensibilité & portée à 20 000 pieds

8.4.4. RESULTATS A 20000 PIEDS

Plastron	Niveau Pied d'Antenne	Gain Antenne TX	Freq	Distance relevée	Atténuation théorique	Gain Nominal Antenne FH	Perte dans cables	Niveau Théorique reçu	Niveau Mesurée FH	Taille FFT	Seuil au bruit mesuré
GEN137	33	-2	137	107,6	115,770657	-7	2	-93,7706568	-96	6,25	20
GEN1363	28	1,5	1363	109,8	135,901964	2	3	-107,401964	-108	3,125	14
GEN2322	33	2	2322	90,1	138,81174	2	3	-104,81174	-99	12,5	14
PMR440	37	0	440	140	128,191614	-2	2	-95,1916142	-98	3,125	20
PMR APCO	34,8	0	867,6	45	124,230641	0	3	-92,4306411	-95	12,5	20
Iridium	33	-3	1610	29	125,784477	2	3	-96,7844775	-100	12,5	14

Fig.53 – Résultats de tests de sensibilité & portée à 20 000 pieds

La formule utilisée pour l'atténuation théorique en champ libre est :

$$A = 32.4 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d)$$

avec f la fréquence en MHz et d la distance en km.

La différence entre le niveau théorique reçu et le niveau mesuré en entrée capteur FH est cohérente.

On retrouve également les écarts de sensibilité dus à la programmation du capteur, aussi bien pour la taille FFT de canalisation et aussi pour le seuil par rapport au bruit mesuré.

La programmation de la taille FFT peut être légèrement ajustée en fonction des cibles, le tableau donnant une programmation cohérente avec les cibles rencontrées dans les bandes de fréquence.

La programmation du seuil au bruit mesuré est plus basse pour les hautes fréquences, car le bruit ambiant lors des essais était pour ces fréquences à la fois plus faible et plus homogène.

Le bruit mesuré par le capteur découle de son bruit intrinsèque, mais également du bruit pouvant être généré par les appareils présents à bord de l'avion, et également par le bruit lié à l'environnement survolé.

Ce niveau de bruit global conduit aux sensibilités et aux portées mesurées lors de ces essais.

8.4.5. COMPLEMENTS A 10000 PIEDS

En utilisant les données du vol 2 et du vol 3, les résultats de portée à 10000 pieds sont les suivants :

Plastron	Niveau Pied d'Antenne	Gain Antenne TX	Freq	Distance relevée	Atténuation théorique	Gain Nominal Antenne FH	Perte dans cables	Niveau Théorique reçu	Niveau Mesurée FH	Taille FFT	Seuil au bruit mesuré
PMR156	37	-12	156,55	35	107,174422	-7	2	-91,1744223	-93	12,5	20
PMR440	37	0	440	66	121,659932	-2	2	-88,6599322	-91	6,25	20
GEN867	30	0	867	27	119,787657	0	3	-92,7876572	-95	12,5	20
GEN1363	28	2	1363	43	127,759286	2	3	-98,7592862	-102	12,5	14
Iridium	33	-3	1610	26	124,835984	2	3	-95,8359845	-95	12,5	20

Fig.54 – Résultats de tests de sensibilité et portée à 10 000 pieds

Il est à noter que les réglages de taille FFT et de seuil au bruit mesuré ne sont pas tout à fait les mêmes que lors du vol à 20000 pieds.

La différence entre le niveau théorique reçu et le niveau mesuré en entrée capteur FH est cohérente.

On retrouve également les écarts de sensibilité dus à la programmation du capteur, aussi bien pour la taille FFT de canalisation que pour le seuil par rapport au bruit mesuré.

8.5. GESTION DES SIGNAUX EVF (VOLS 1 & 5)

8.5.1. PRINCIPE DU TEST

Afin de démontrer la capacité de gestion des signaux EVF par FlashHawk, 3 types de signaux EVF ont été utilisés :

- Signal EVF iridium : burst de 8.28 ms, avec évasion de fréquence lente, due au défilement des satellites
- SIGNAL1 de DGA MI, burst de 6 ms, avec changement de fréquence pseudo aléatoire à chaque burst
- SIGNAL2 de DGA MI, burst de 3 ms, avec changement de fréquence pseudo aléatoire à chaque burst.

Pour que FlashHawk traite ces signaux comme des EVF, il faut les déclarer dans la base de données comme « évasion de fréquence » en précisant leur durée de burst, ainsi que leur bande d'évolution fréquentielle.

FlashHawk va alors regrouper tous les bursts colocalisés qui correspondent à chaque émetteur EVF de la base.

Les résultats reportés montrent pour chaque émetteur détecté par FlashHawk l'évolution de la fréquence burst par burst.

Remarque : dans certains cas, il est très facile de correctement renseigner la base de données pour les émetteurs EVF.

Par exemple, la connaissance de ces paramètres est acquise pour les cibles de type iridium, mobile 2G, etc...

Si un émetteur inconnu non déclaré en EVF dans la base de données est capté, alors plusieurs pistes émetteurs seront affichées et colocalisées. Chacune des cibles correspondra à une des fréquences de l'EVF.

8.5.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST

Dénomination	Modèle Générateur	Fréquence (MHz)	Durée Burst (ms)	Niveau pied d'antenne (dBm)	Type Antenne	Gain estimé antenne (dBi)
Tel IRIDIUM	IRID215U02 LLC	1621+-5.2	8.28 (burst iridium)	33 (à confirmer)	Spirale (à confirmer)	-3 (à confirmer) (à l'horizon)
SIGNAL1	DGA MI	2322 +/- 10	6 (burst généré)	33	DGA MI ARA-5800	2
SIGNAL2	DGA MI	2322 +/- 10	3 (burst généré)	33	DGA MI ARA-5800	2

Fig.55 – Plastrons au sol pour test de signaux EVF

8.5.3. RESULTATS

- 1) EVF appelé SIGNAL 1 : pulse de 6000 μ s changeant de fréquence à chaque pulse.
Localisation à 60m pour 3000 pieds.
Evolution de la fréquence dans le cluster détecté :

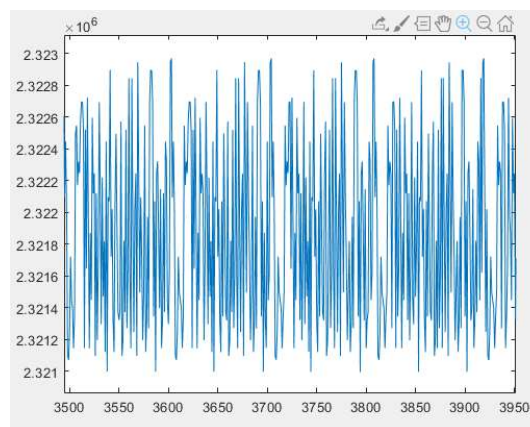
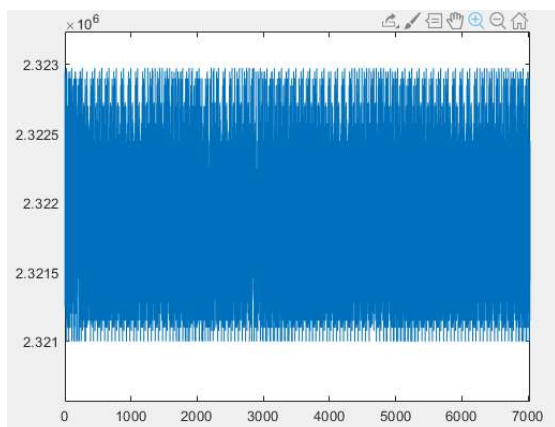


Fig.56 – Tracé du signal 1 EVF en fréquence (avec zoom à droite)

- 2) EVF appelé SIGNAL 2 : pulse de 3000 μ s changeant de fréquence à chaque pulse.
Localisation à 60m pour 3000 pieds.
Evolution de la fréquence dans le cluster détecté :

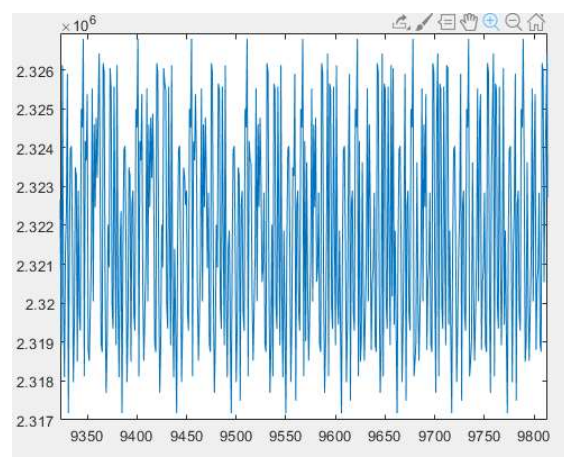
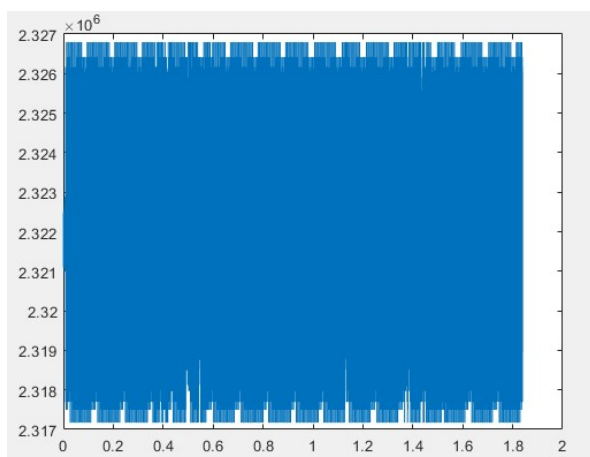


Fig.57 – Tracé du signal 2 EVF en fréquence (avec zoom à droite)

- 3) EVF par téléphone satellite iridium : pulse de 8280 μ s changeant en fonction du défilement des satellites.
Evolution de la fréquence dans le cluster détecté :

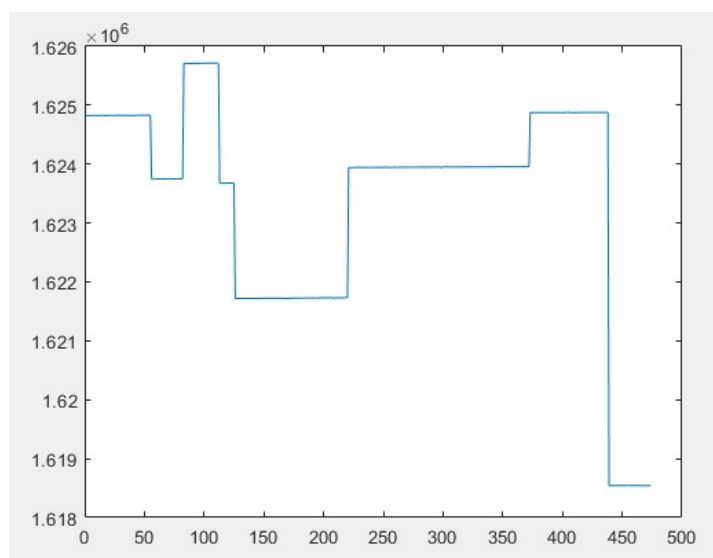


Fig.58 – Tracé du signal Iridium fréquence en fonction du temps

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 45/119 DR-SF
---	--	--

8.6. TESTS DE SEPARATION SPATIALE (VOLS 3 & 4)

8.6.1. PRINCIPE DU TEST

Sur plusieurs sites, 2 emplacements ont été sélectionnés, espacés de 1,8 km environ. Sur chaque emplacement d'un site, des équipements similaires sont placés pour vérifier que FlashHawk arrive bien à séparer chaque émetteur d'après la classification ou sinon d'après l'écart de position.

L'écart de position est testé pour valider les écarts d'angles solides suivants :

- 30° : 1800m d'écart pour une altitude de l'avion de 3048m (10000 pieds)
- 36° : 1800m d'écart pour une altitude de l'avion de 2438m (8000 pieds)

8.6.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST

3 sites de test :

- Site du « Haras » :
 - Terrain loué par Avantix : 43.660259, 4.570714
 - Croisement 1,8 km au sud : 43.643629, 4.568604
- Site de « Vaccarès », choix du client au bord de l'étang de Vaccarès :
 - 43.545821, 4.630520
 - 43.527784, 4.639343
- Site « Pampa » : choix du client dans la zone de vol autorisée du contrôle aérien d'Istres :
 - 43.586026, 4.734063
 - 43.596775, 4.752837

Equipements et fréquences à localiser :

- « Haras » VOL 3 :
 - 2 PMRs 156,55 MHz
 - 1 téléphone satellite Thuraya
 - 1 téléphone satellite Iridium
 - 2 PMRs 440 MHz
- « Haras » VOL 4 :
 - 2 téléphones satellite Iridium
 - 1 téléphone satellite Inmarsat
 - 2 PMRs 440 MHz
- « Vaccarès » :
 - 2 DMRs 137,5 MHz
 - 2 DMRs 412,5 MHz
 - 2 téléphones satellite Thuraya
 - 1 générateur de signal 303 MHz
 - 1 générateur de signal 2322 MHz
- « Pampa » :
 - 2 DMRs 137,5 MHz
 - 2 PMRs APCO 867,6 MHz
 - 2 DPMRs 412 MHz

Fig.59 – Plastrons au site du « Haras » (espacés de 1850m)

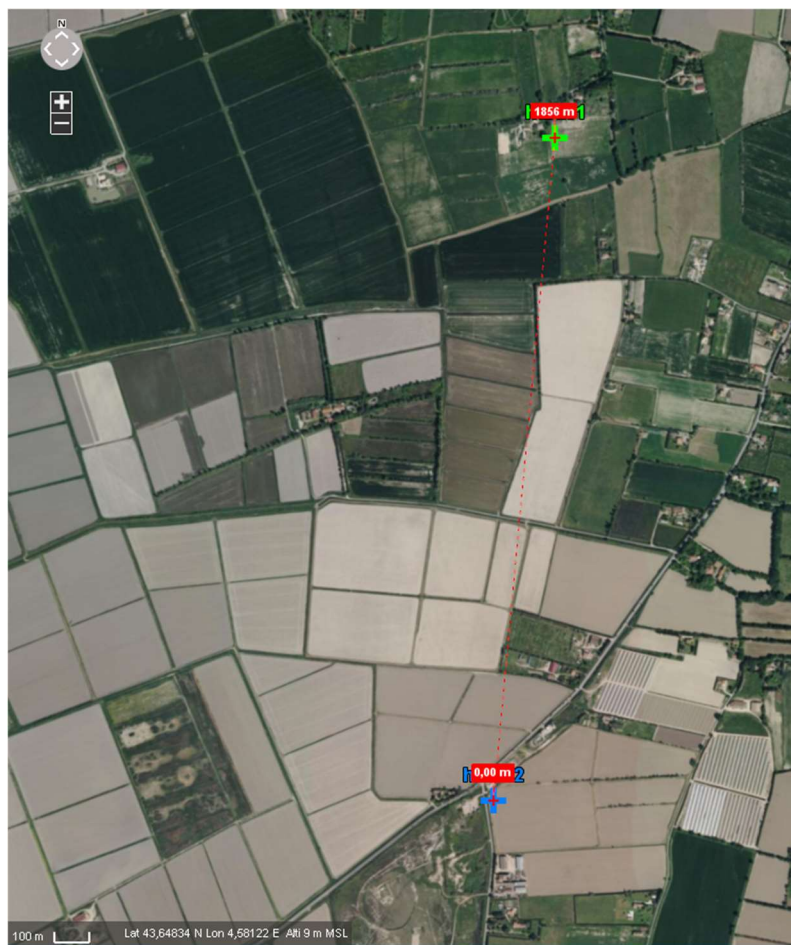


Fig.60 – Plastrons au site de « Vaccarès » (espacés de 2130m)

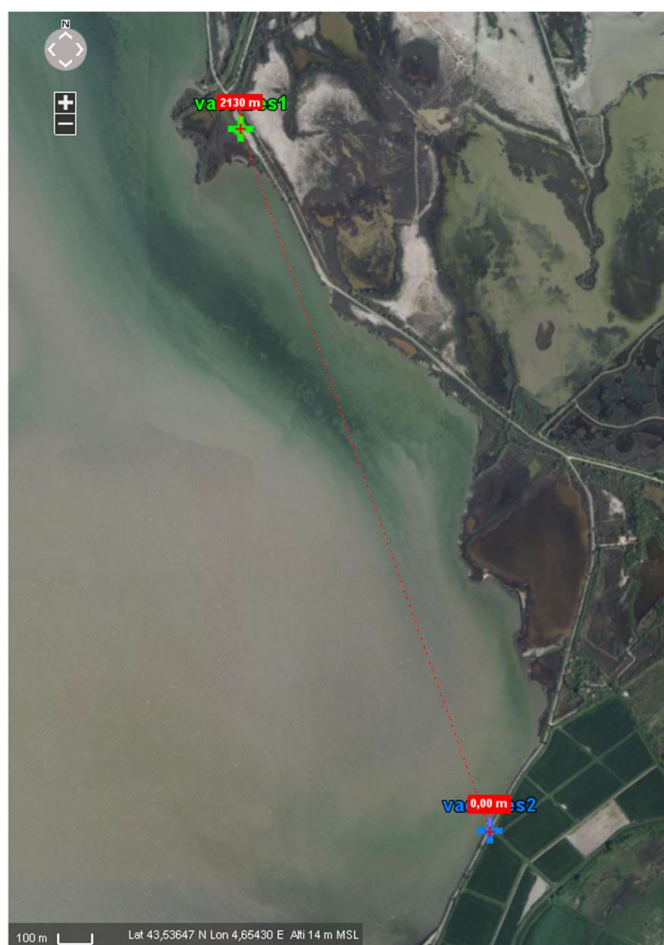


Fig.61 - Plastrons au site « Pampa » (espacés de 1930m)



8.6.3. PREPARATION

Sur les 6 emplacements des 3 sites, les 2 emplacements du Haras sont connus de l'opérateur, mais non utilisés pour valider l'utilisation de FlashHawk dans un cadre opérationnel.

Seule une carte générale de la région et le contour de la zone autorisée de vol sont utilisés dans la mission.

Le capteur embarqué est programmé sur le plan de balayage « OER ».

La voie IQ enregistre les canaux :

- 420 MHz et 421 MHz correspondants aux communications PMR entre l'avion et le sol.
- 412 MHz et 412,5 MHz des équipements concernés par le scénario de test de la voie IQ.

Fig.62 - Programmation voie principale :

Interval (MHz)	Res.	Durée (us)
133,00 - 139,00	12,5 KHz	7 000
152,00 - 162,00	12,5 KHz	7 000
299,00 - 305,00	6,25 KHz	7 000
408,00 - 414,00	6,25 KHz	7 000
435,00 - 445,00	6,25 KHz	7 000
863,00 - 869,00	12,5 KHz	10 000
1 610,00 - 1 626,00	12,5 KHz	40 000
1 626,00 - 1 660,00	12,5 KHz	40 000
2 318,00 - 2 324,00	12,5 KHz	10 000

Sensibilité : 14 dB

Mode gonio : Meilleur

Mode : Normale

Filtre bibliothèque ☒

Fig.63 - Programmation voie IQ :

Fréquence (MHz)	Larg. (KHz)
420,000	12,5
421,000	12,5
412,000	12,5
412,500	12,5

Bande instantanée : 400,00 - 440,00

flux I/Q : Bande passante utilisée : 50 / 2000 KHz

8.6.4. DEROULEMENT

8.6.4.1. DEPART DU VOL3

Le 24 mars 2021 :

- à 12h40, mise en marche du capteur embarqué,
- à 12h47, décollage,
- à 12h52, démarrage de l'acquisition, une fois en place au poste opérateur,
- cap à 30 km au sud du Haras, en montant à 10000 pieds.

8.6.4.2. SITE « VACCARES » A 10000 PIEDS

A 12h59, redémarrage de l'acquisition pour effacer les précédentes localisations d'émetteurs sur la carte.

Immédiatement, et d'après les détections, cap à azimut 6° vers le site de « Vaccarès ».

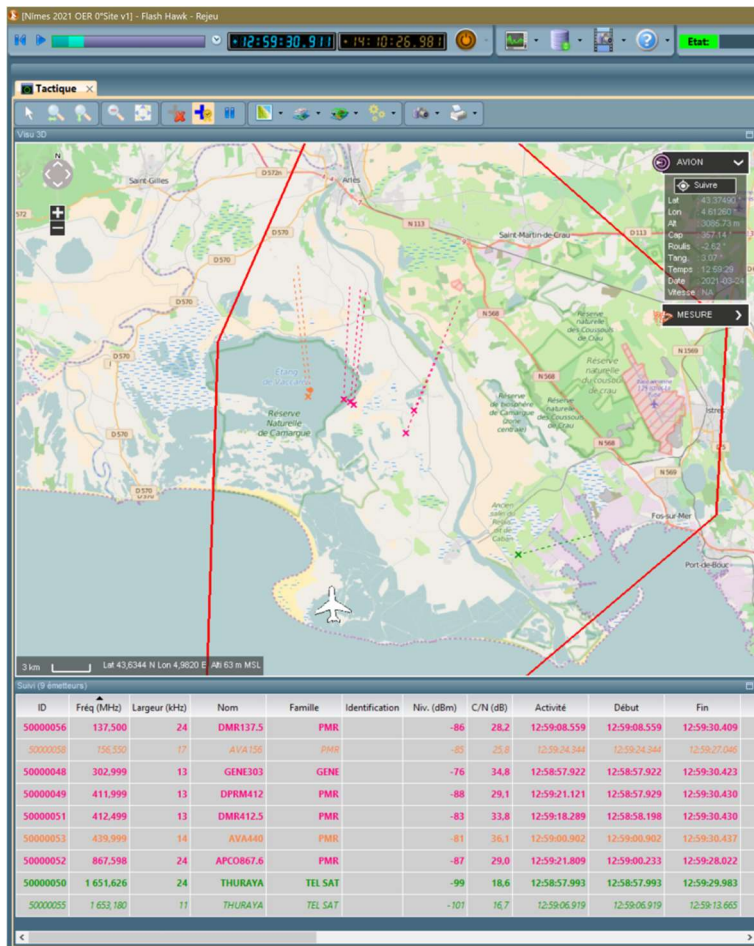


Fig.65 – Vol 3 site Vaccarès 10 000 pieds - démarrage

A 13h02, arrivée au site de « Vaccarès ». Séparation des différents émetteurs, mais constatation que les téléphones satellite et le générateur 2322 MHz sont éteints. Information confirmée par communication PMR avec le sol.

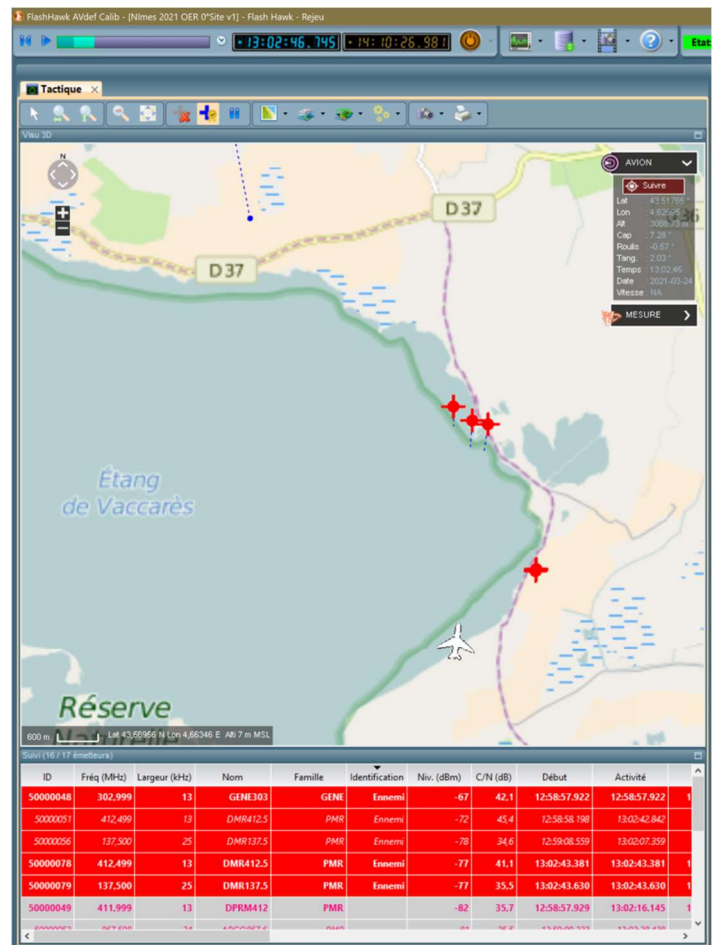


Fig.66 – Vol 3 site Vaccarès 10 000 pieds – séparation émetteurs

- A 13h52, reprise du test au Haras à 10000 pieds, avec tous les équipements allumés.
- A 13h56, arrivée sur le site de « Vaccarès » : séparation des 8 émetteurs.

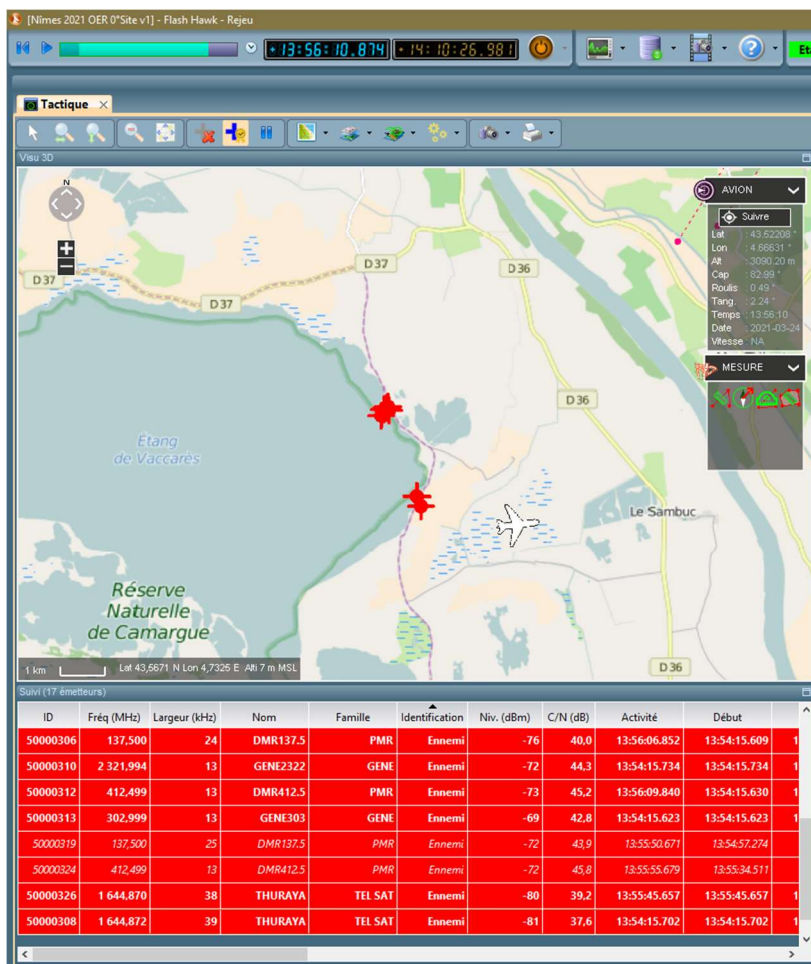


Fig.67 – Vol 3 site Vaccarès 10 000 pieds – séparation de tous les émetteurs

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.68 - 1^{er} DMR 137,5 MHz : 49m

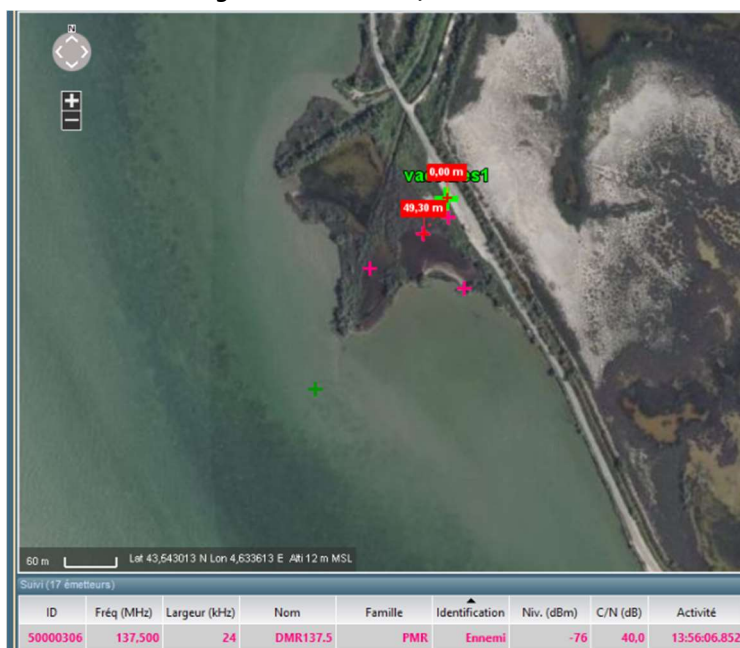


Fig.69 - 1^{er} DMR 412,5 MHz : 106m

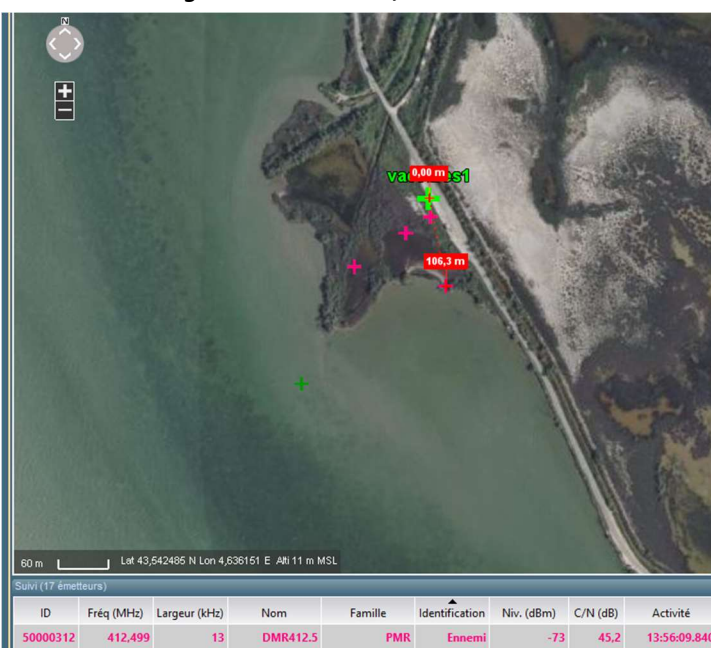


Fig.70 - Générateur 303 MHz : 119m

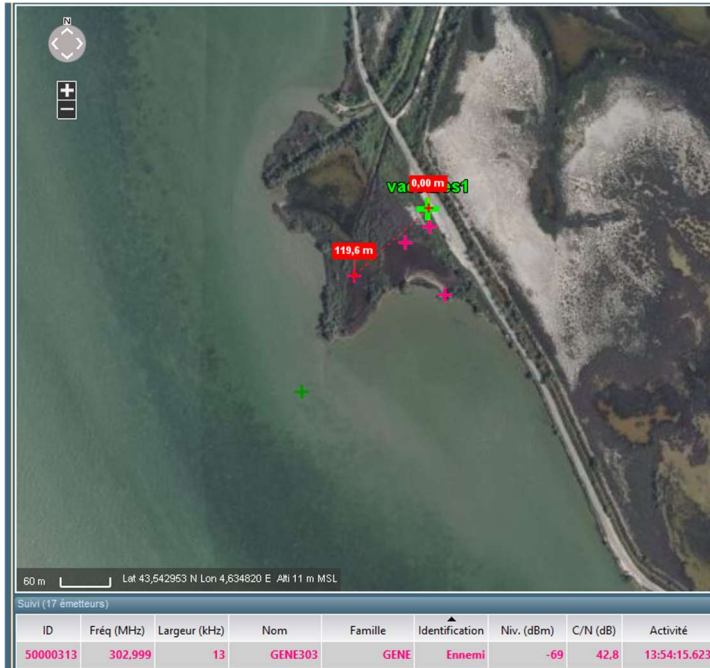


Fig.71 - Générateur 2322 MHz : 21m

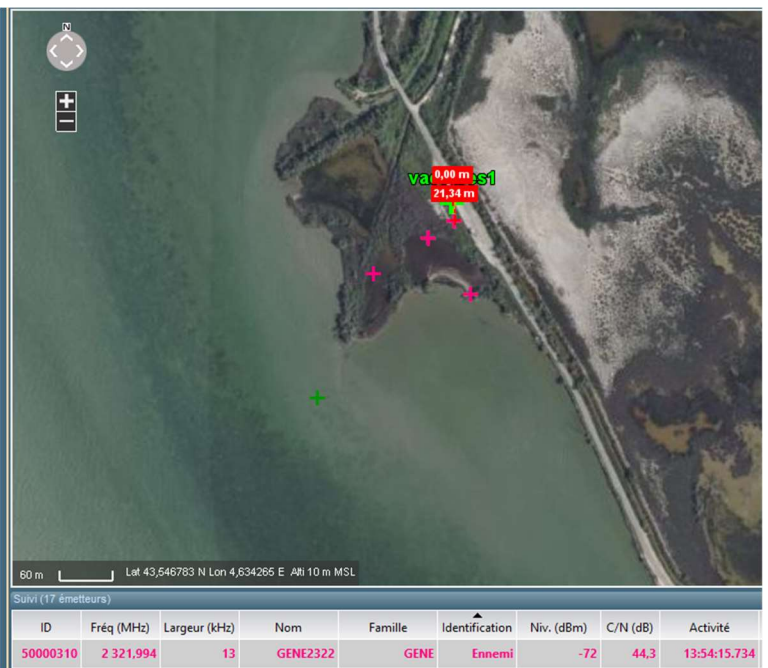


Fig.72 - 1^{er} téléphone satellite Thuraya : 266m

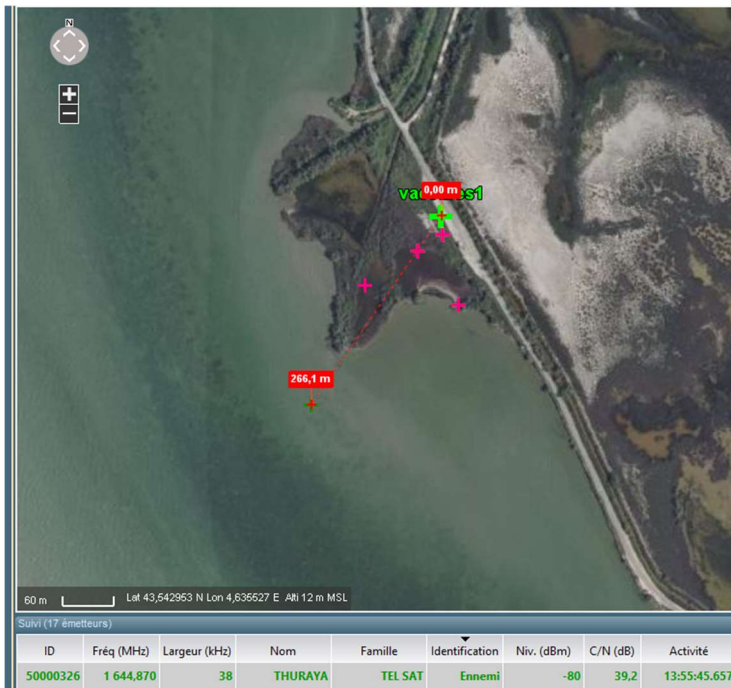


Fig.73 - 2^{ème} DMR 137,5 MHz : 226m



Fig.74 - 2^{ème} DMR 412,5 MHz : 77m

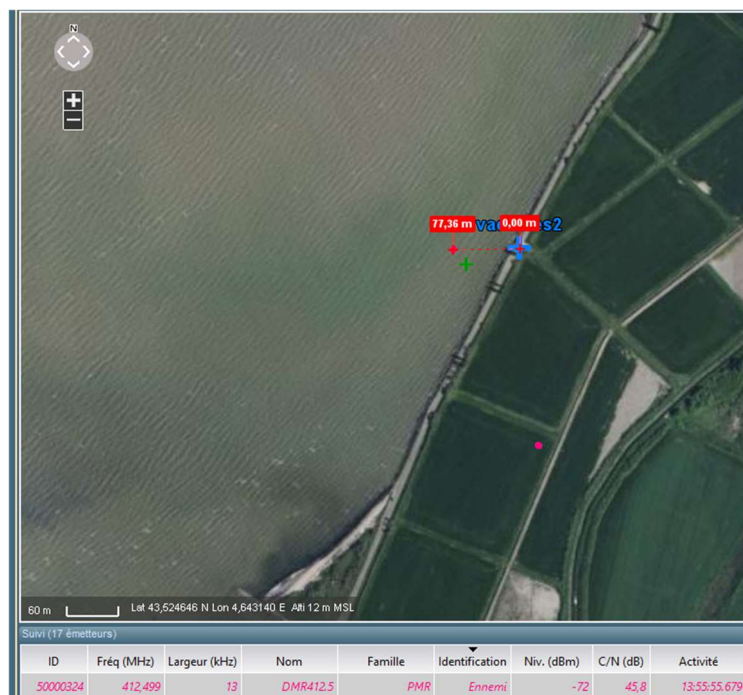
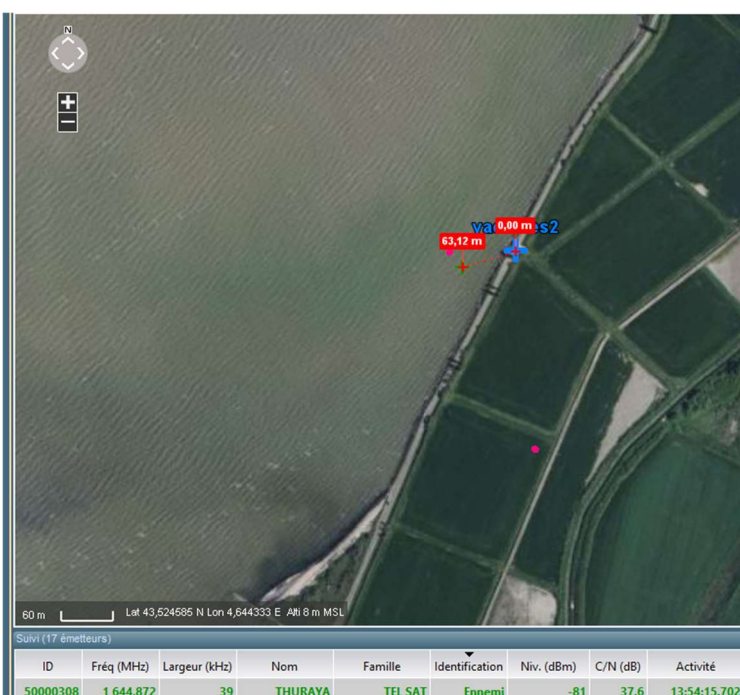


Fig.75 - 2^{ème} téléphone satellite Thuraya : 63m



Tracé de vol :

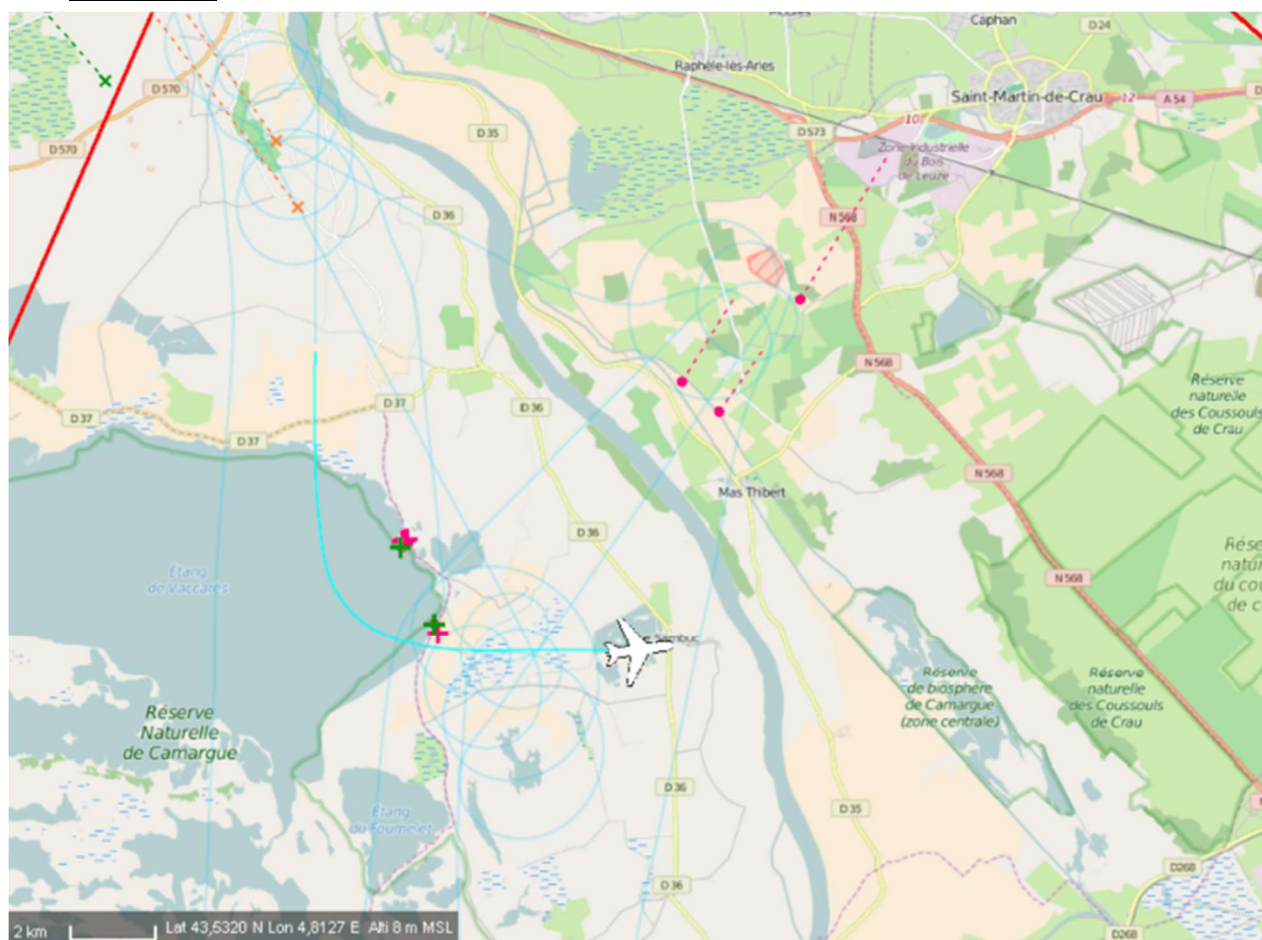


Fig.76 – Tracé du Vol 3 site Vaccarès 10 000 pieds

8.6.4.3. SITE « PAMPA » A 10000 PIEDS

A 13h07, cap à azimuth 30° vers le site « pampa », d'après les émetteurs détectés.

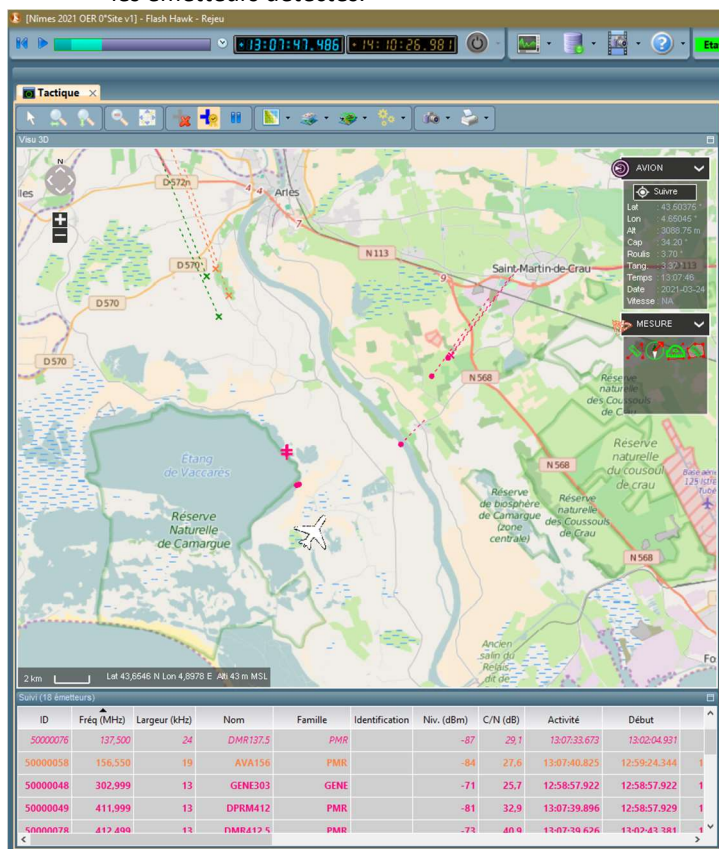


Fig.77 – Vol 3 site Pampa 10 000 pieds - démarrage

A 13h10, arrivée au site « pampa » : séparation de 5 émetteurs sur 6.

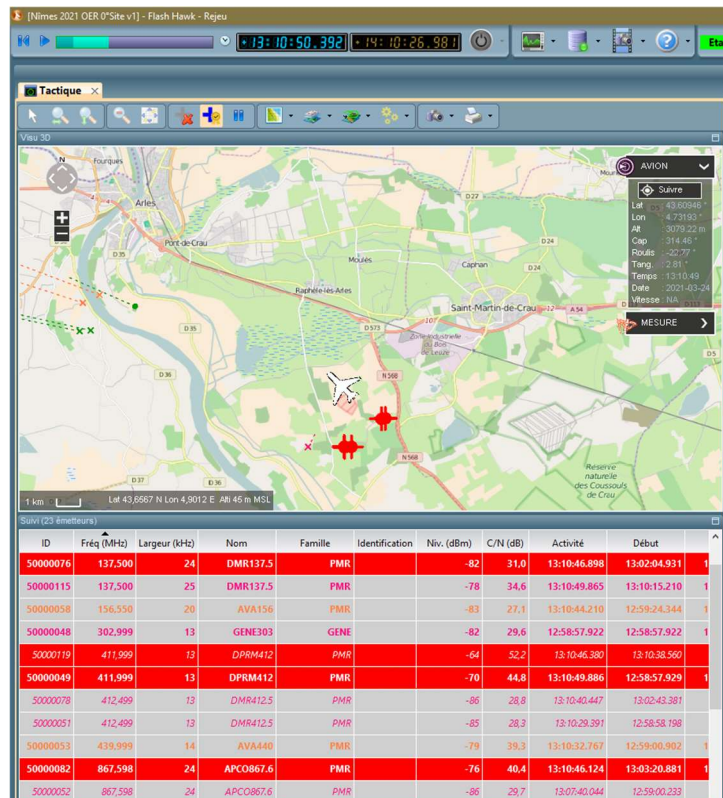


Fig.78 – Vol 3 site Pampa 10 000 pieds – séparation émetteurs

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.79 - 1^{er} DMR 137,5 MHz : 262m

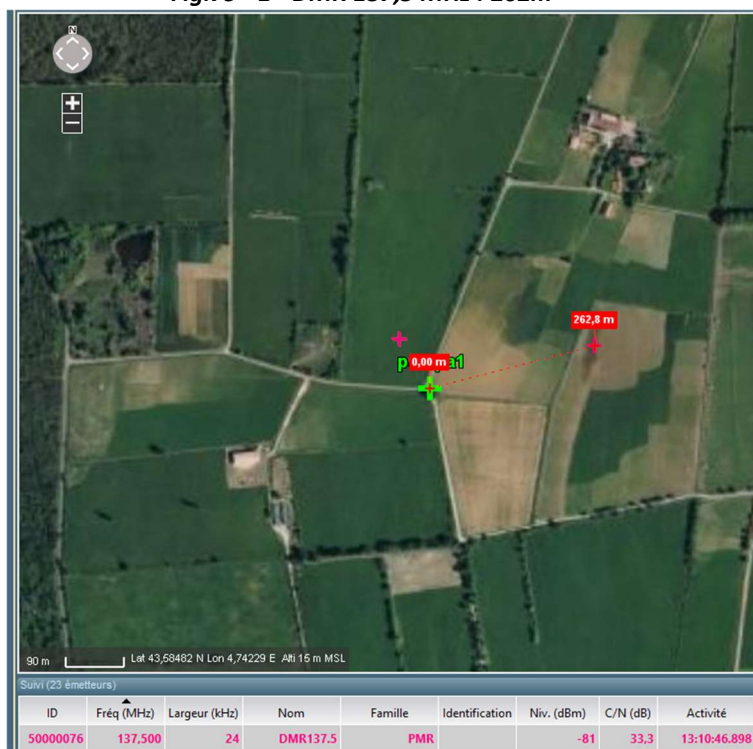


Fig.80 - 1^{er} DPRM 412 MHz : 53m

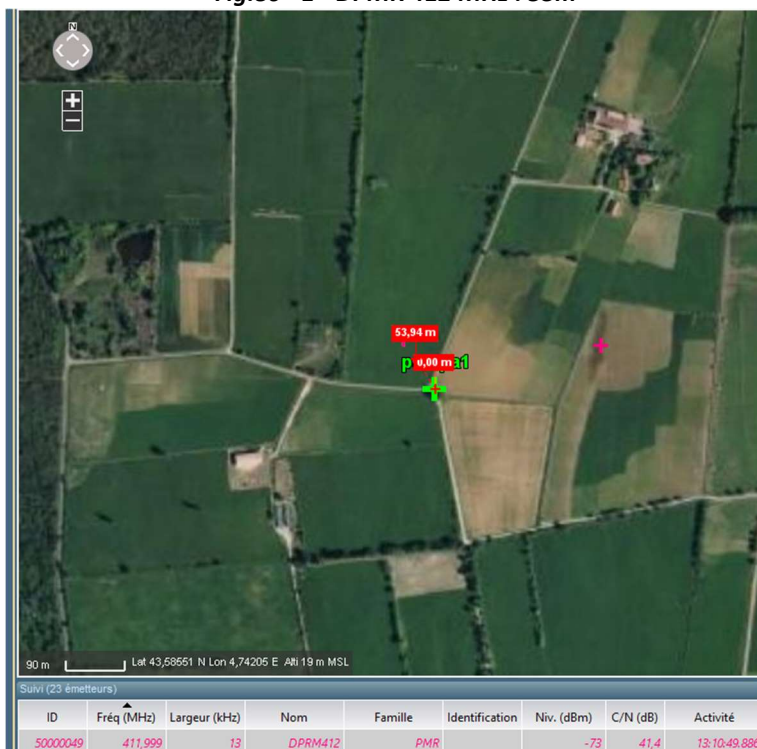


Fig.81 - 1^{er} PMR APCO 867,6 MHz : 88m

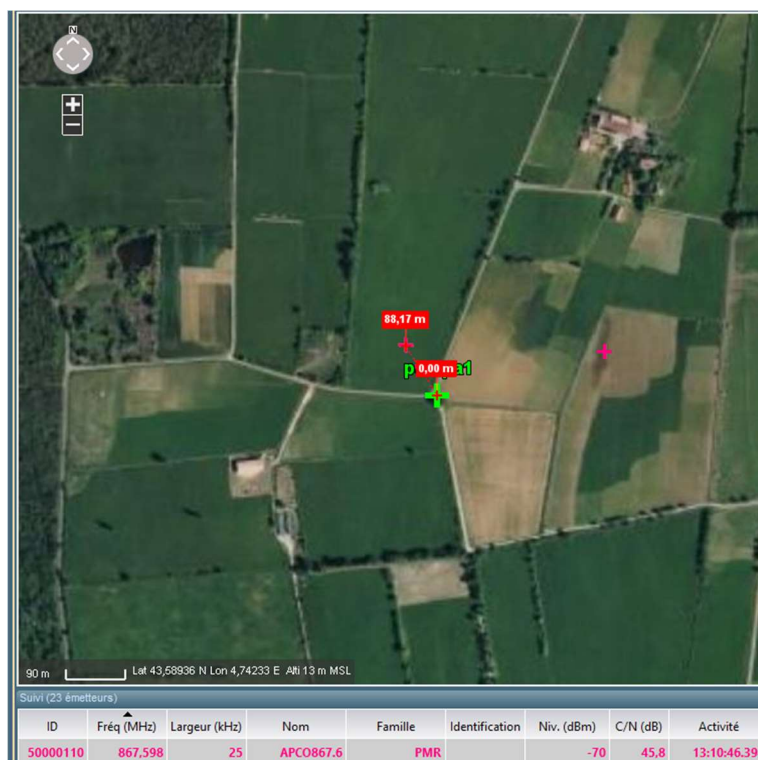


Fig.82 - 2^{ème} DPMR 412 MHz : 156m

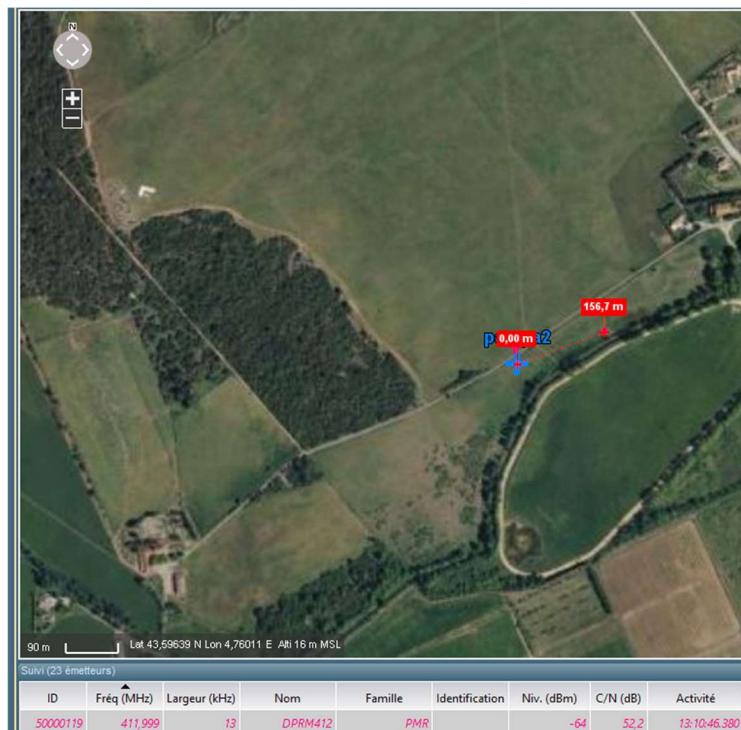
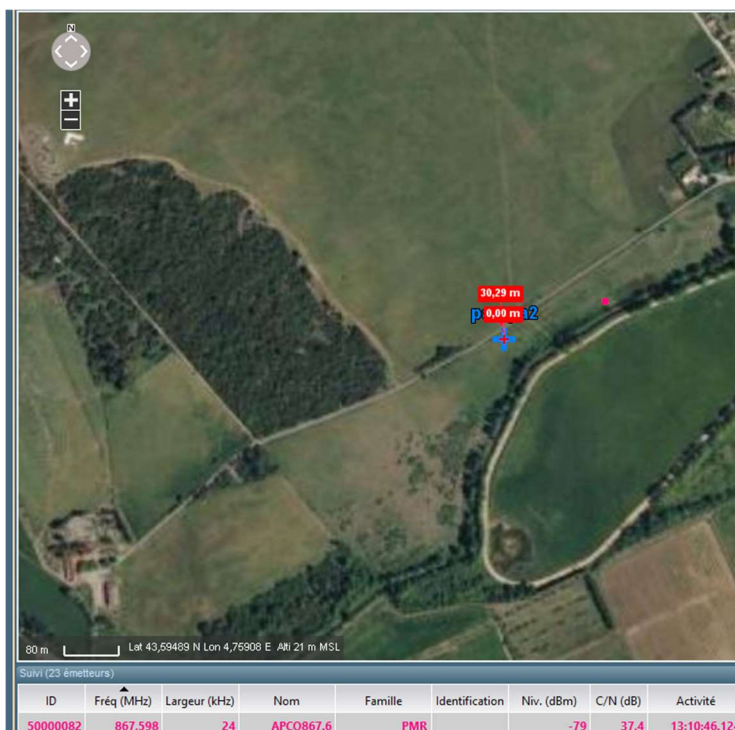


Fig.83 - 2^{ème} PMR APCO 867,6 MHz : 30m



Tracé de vol :

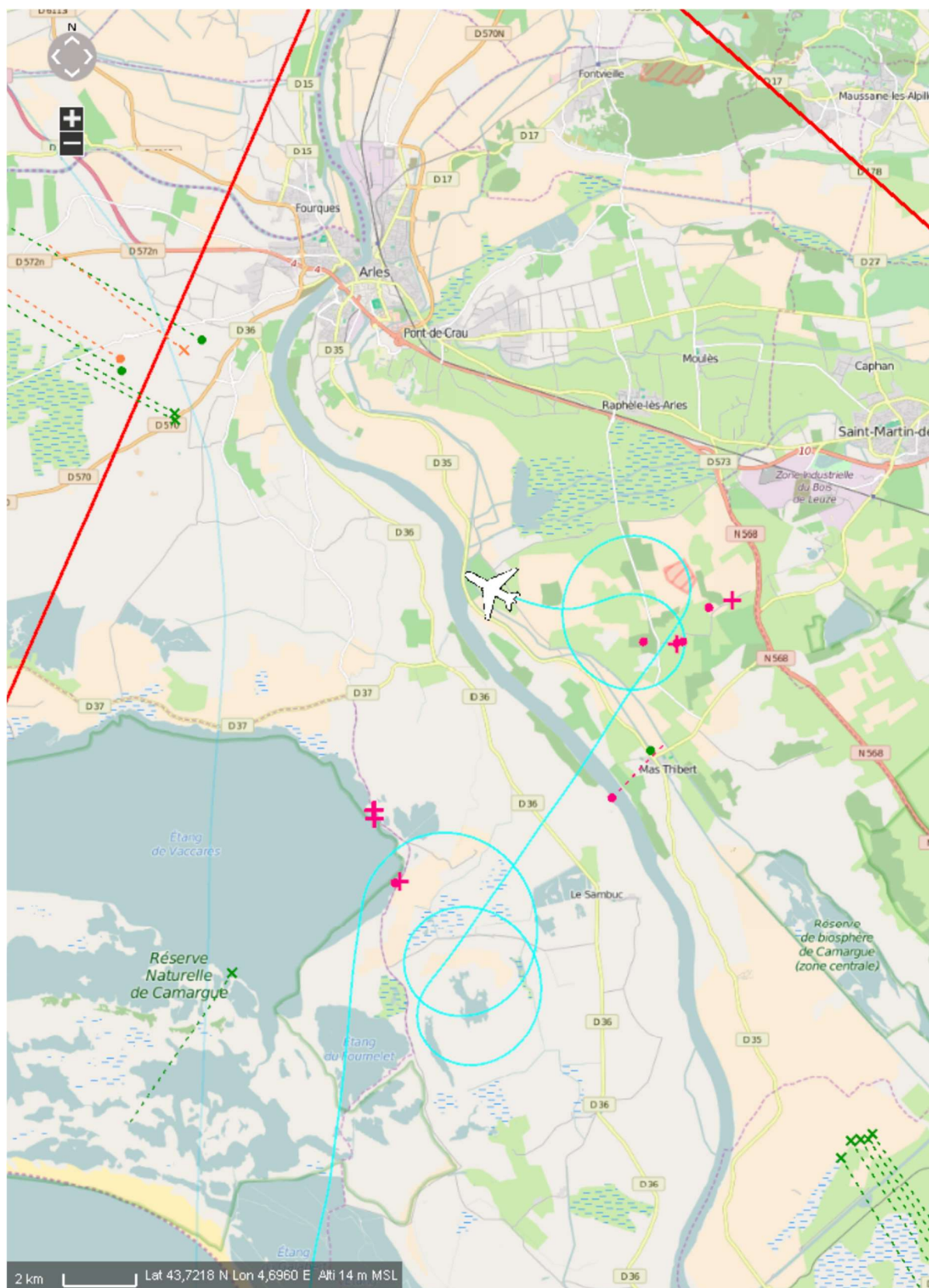


Fig.84 – Tracé du Vol 3 site Pampa 10 000 pieds

8.6.4.4. SITE « HARAS » A 10000 PIEDS

A 13h13, cap azimuth 300° vers le site « Haras », d'après les émetteurs détectés.

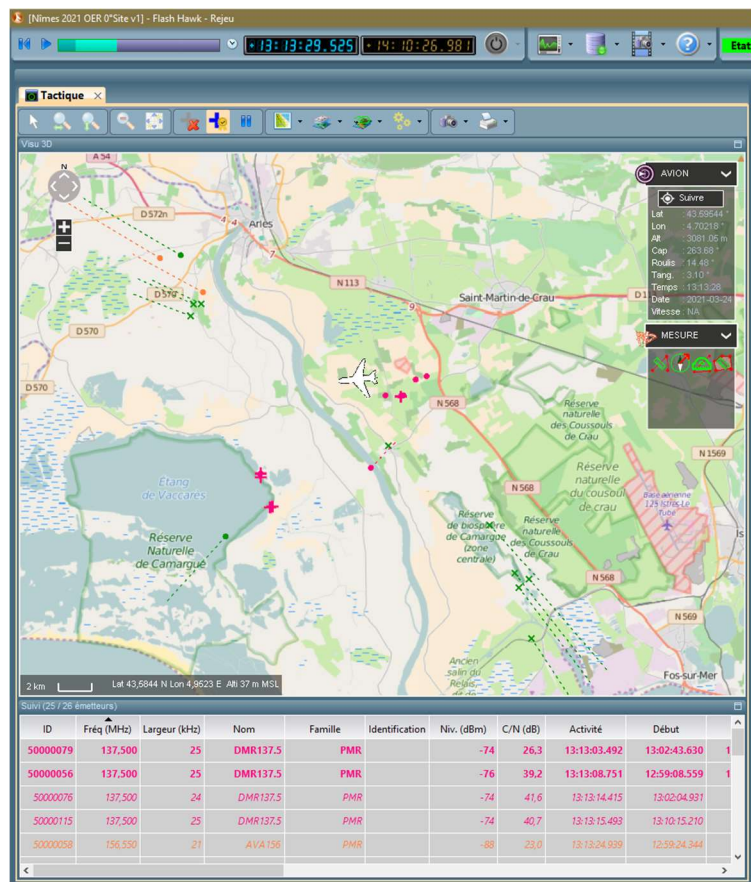


Fig.85 – Vol 3 site Haras 10 000 pieds - démarrage

A 13h17, arrivée au site « Haras » : séparation des 6 émetteurs.

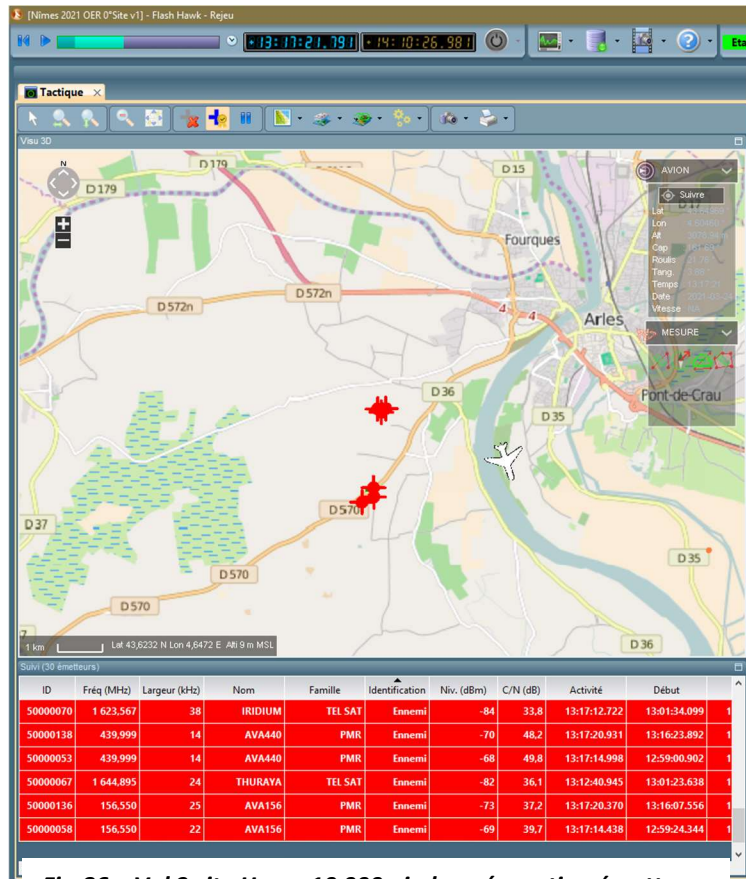


Fig.86 – Vol 3 site Haras 10 000 pieds – séparation émetteurs

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.87 - 1^{er} PMR 156,5 MHz : 95m

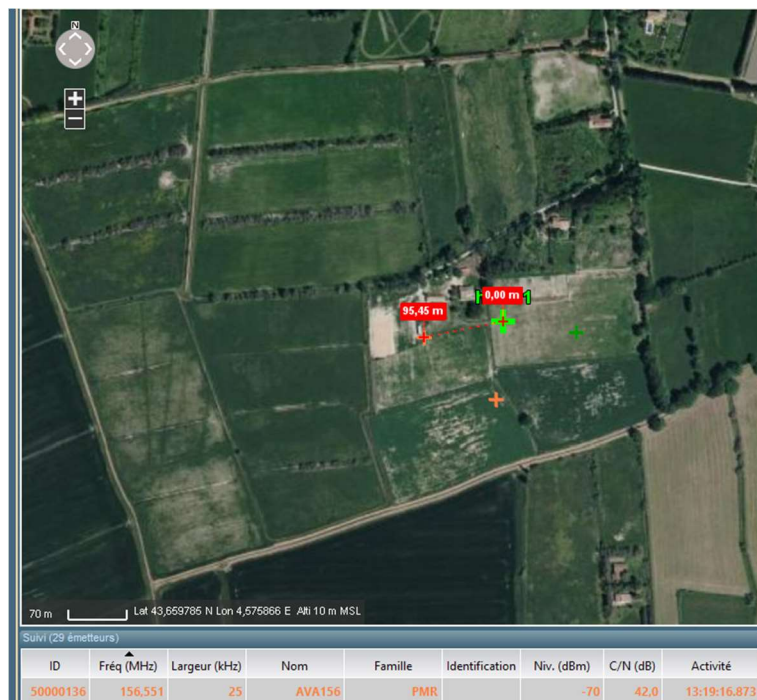


Fig.88 - 1^{er} PMR 440 MHz : 93m

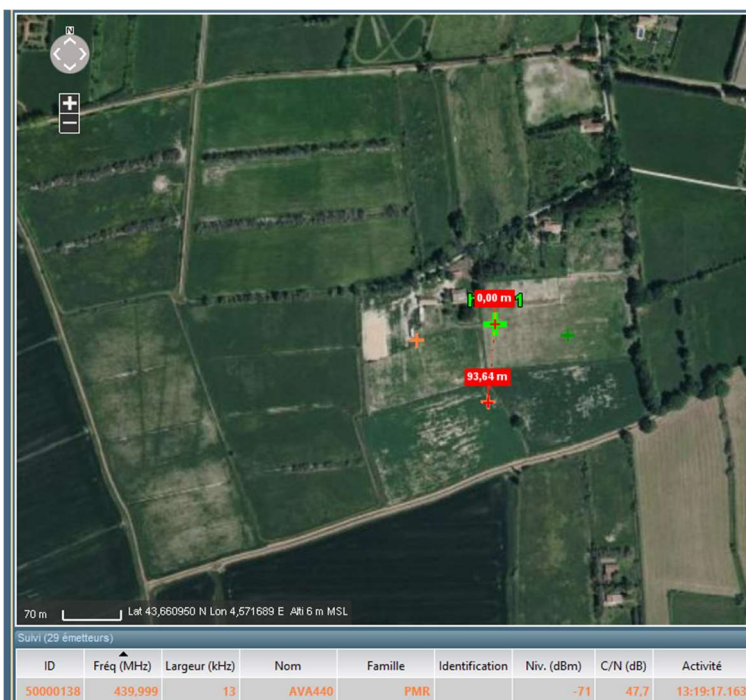


Fig.89 - Téléphone satellite Iridium : 87m

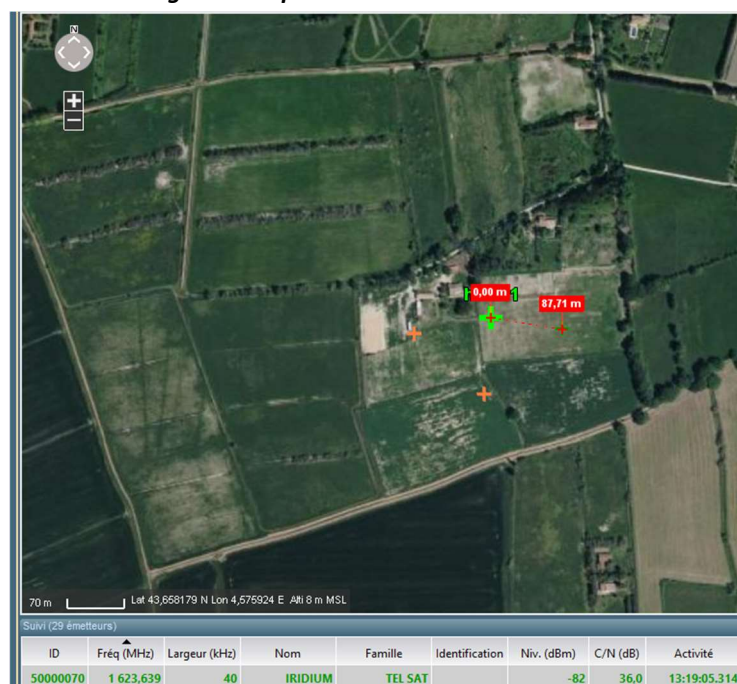


Fig.90 - 2^{ème} PMR 156,55 MHz : 216m

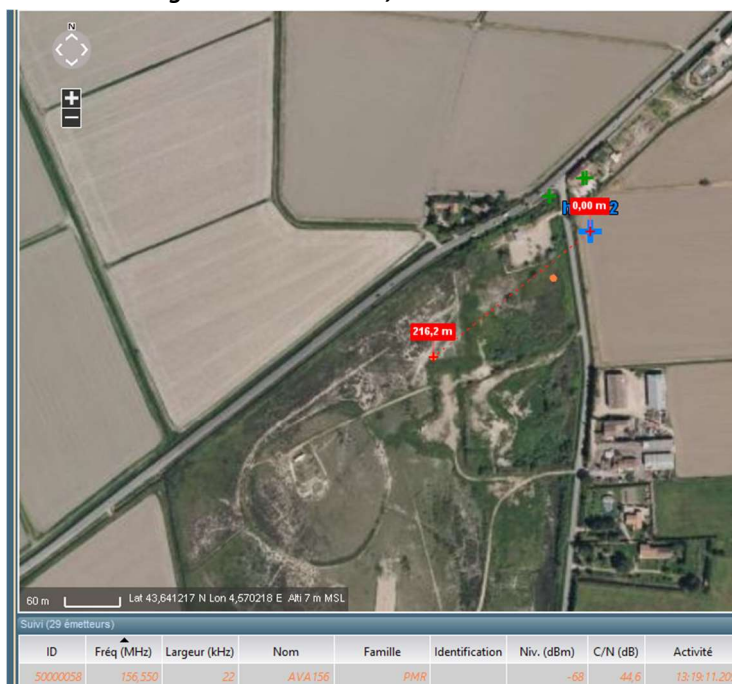


Fig.91 - 2^{ème} PMR 440 MHz : 64m

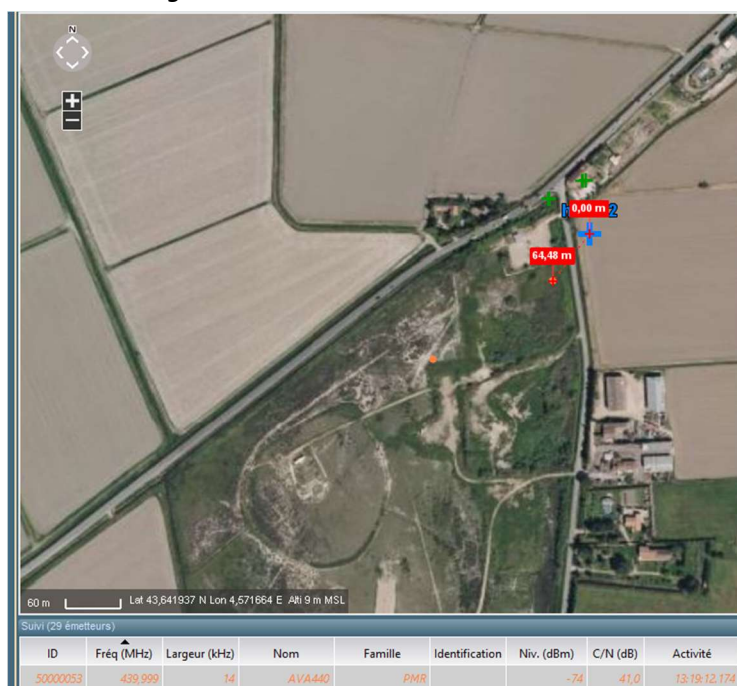
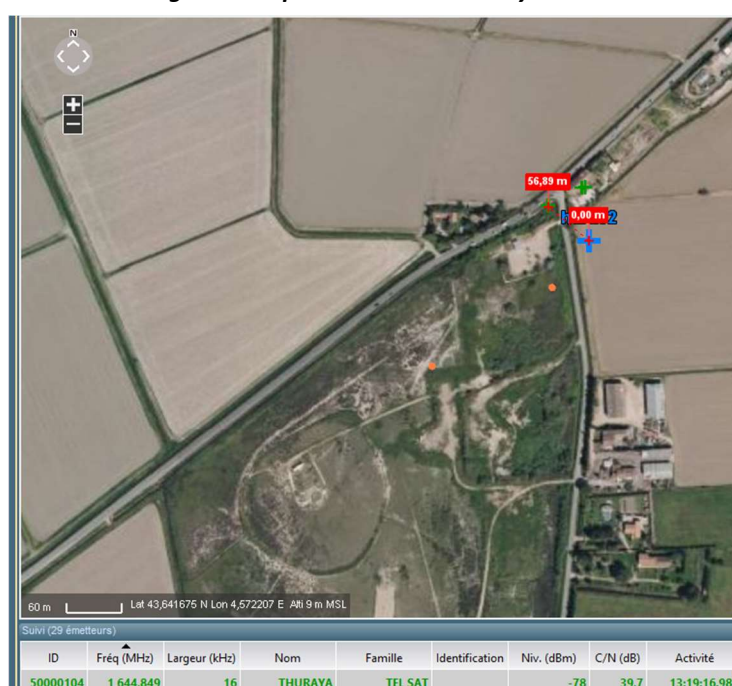


Fig.92 - Téléphone satellite Thuraya : 56m



Tracé de vol :

(Il est à noter plusieurs boucles au-dessus du site du « Haras », en attente de l'équipe sol du site de « Vaccarès »)

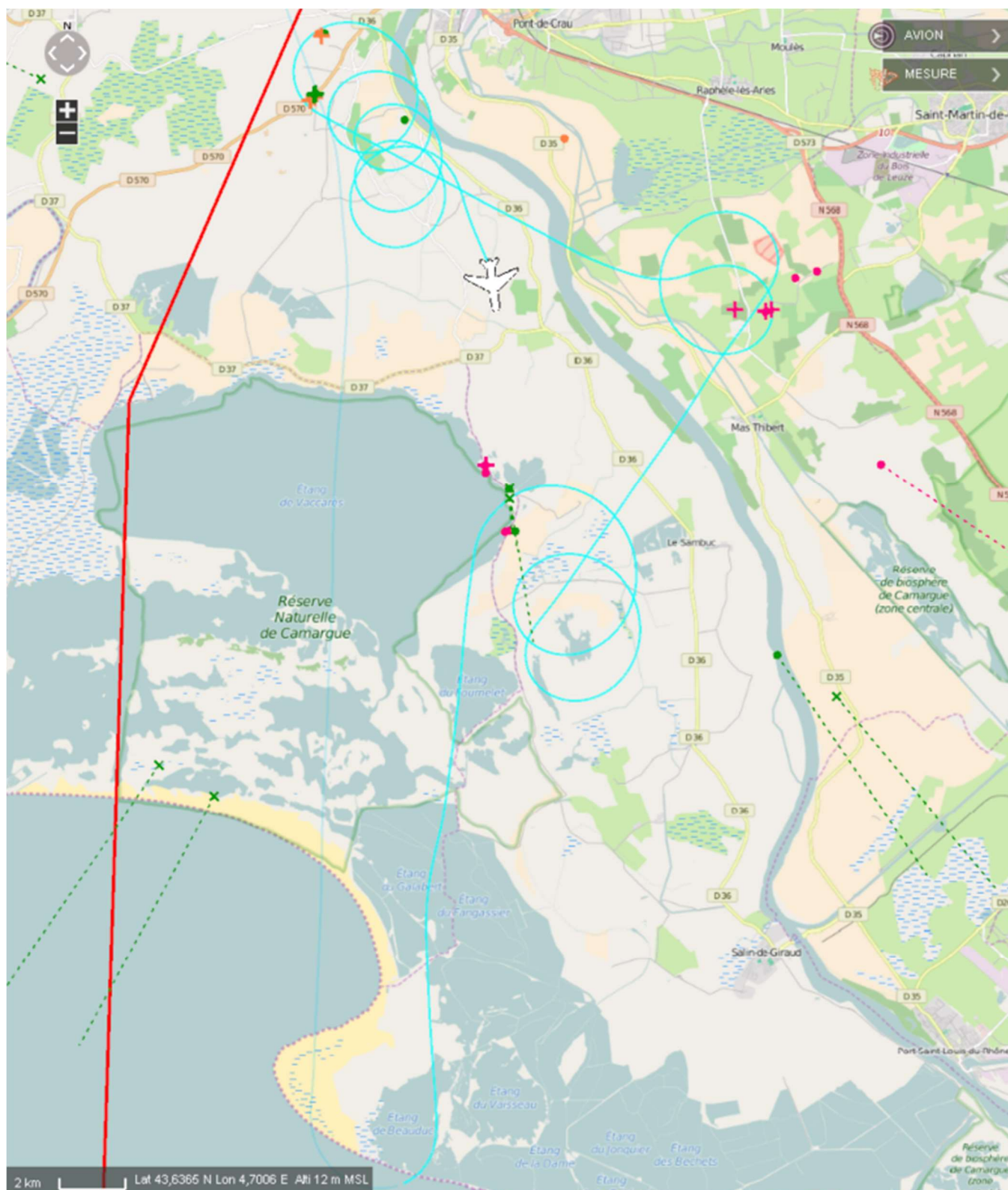


Fig.93 – Tracé du Vol 3 site Haras 10 000 pieds

8.6.4.5. SITE « PAMPA » A 8000 PIEDS

A 13h34, redémarrage de l'acquisition pour effacer les précédentes localisations d'émetteurs sur la carte.

Immédiatement, et d'après les détectons, cap à azimut 8° vers le site « pampa » et descente à 8000 pieds.

A 13h39, arrivée sur le site « pampa » : séparation des 6 émetteurs.

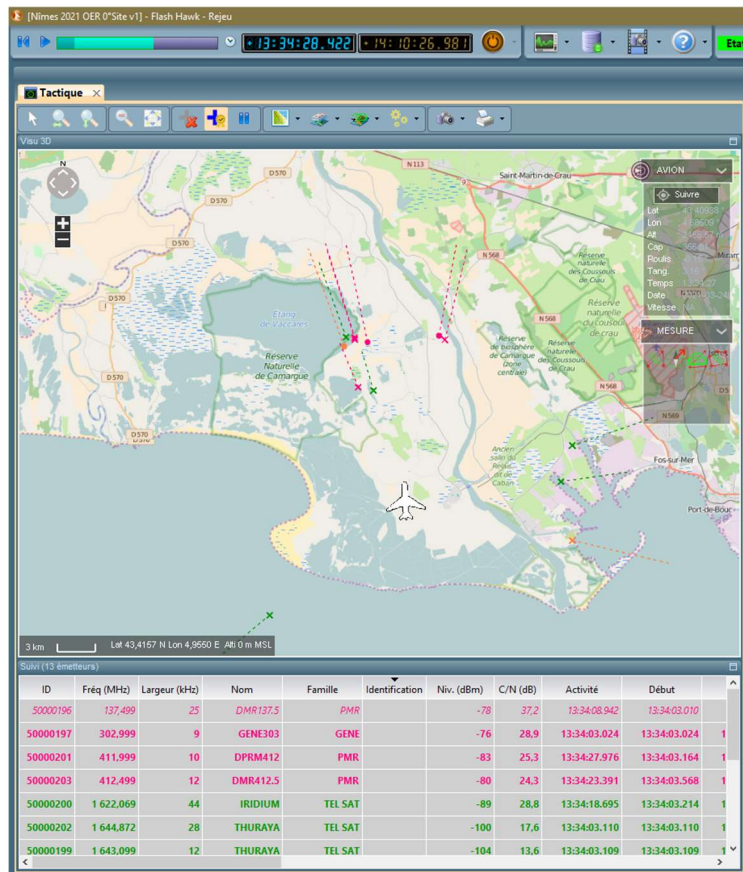


Fig.94 – Vol 3 site Pampa 8000 pieds - démarrage

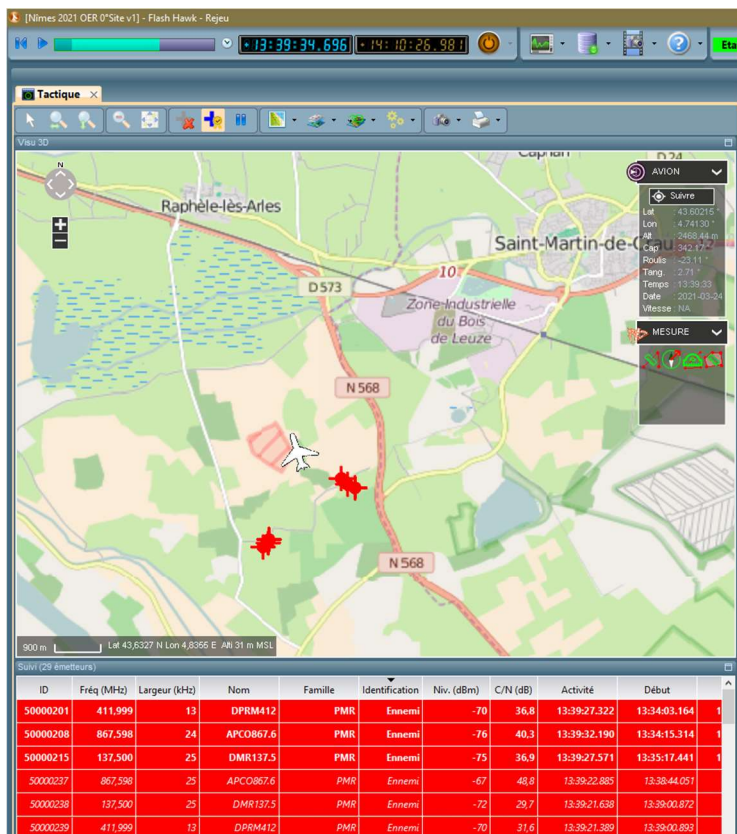


Fig.95 – Vol 3 site Pampa 8000 pieds – séparation émetteurs

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.96 - 1^{er} DMR 137,5 MHz : 21m

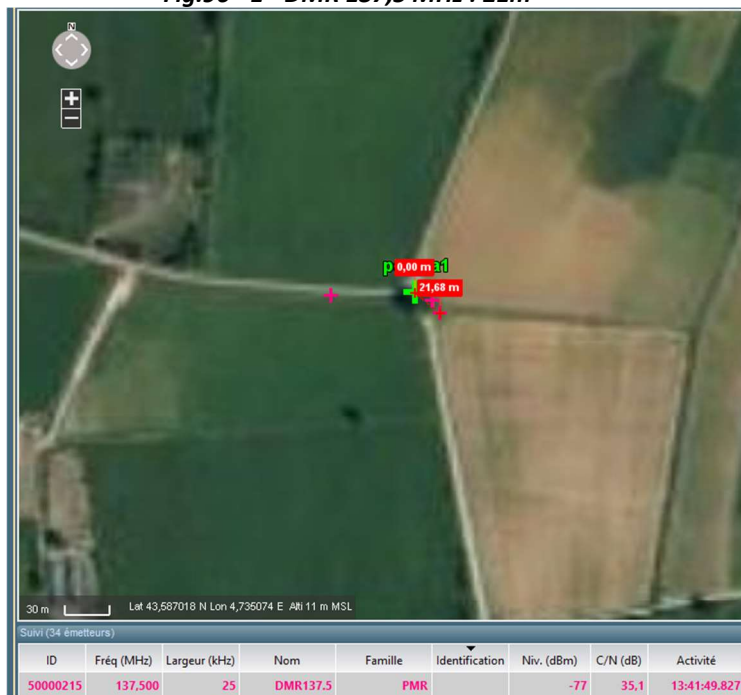


Fig.97 - 1^{er} DPRM 412 MHz : 13m

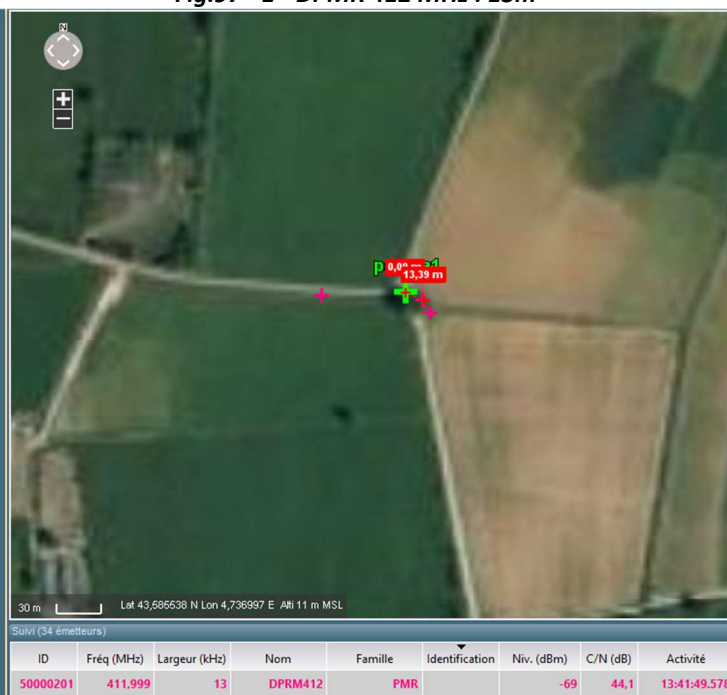


Fig.98 - 1^{er} PMR APCO 867,6 MHz : 55m

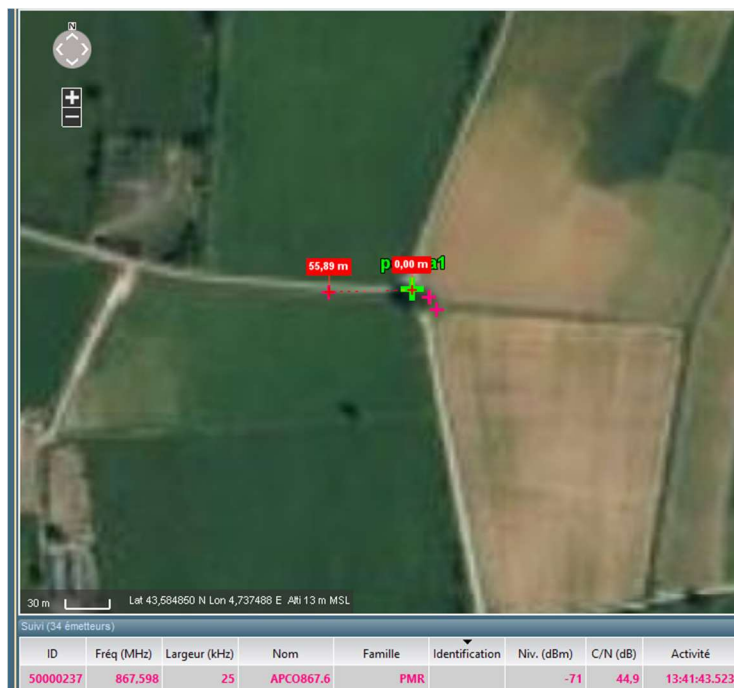


Fig.99 - 2^{ème} DMR 137,5 MHz : 171m

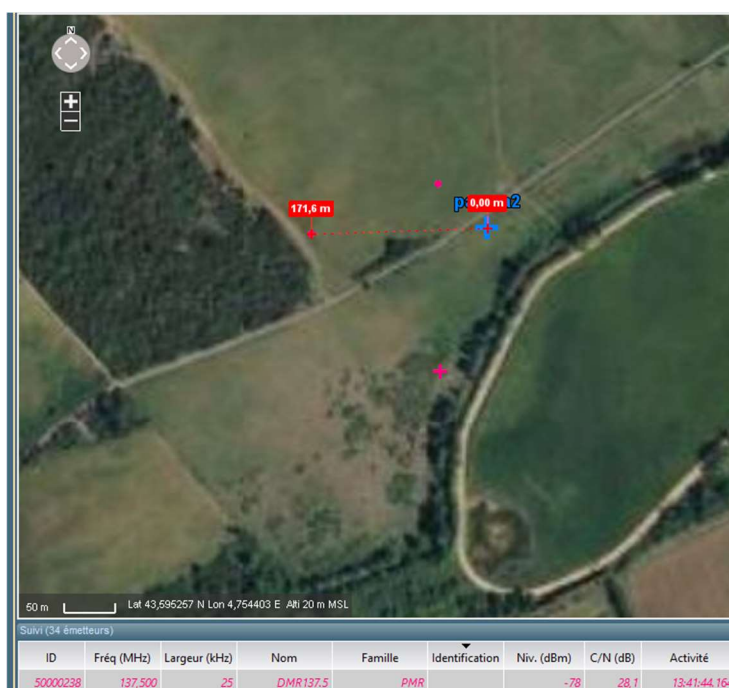


Fig.100 - 2^{ème} DPMR 412 MHz : 63m

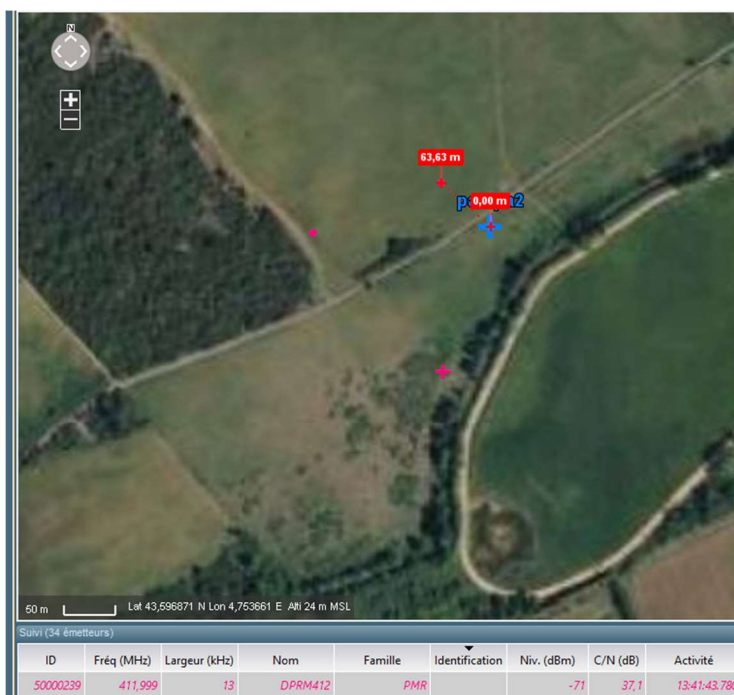
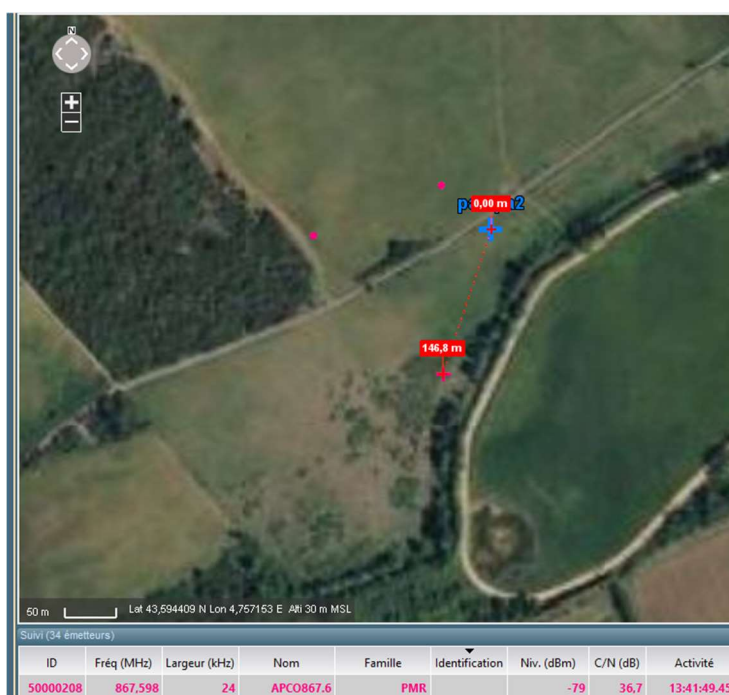


Fig.101 - 2^{ème} PMR APCO 867,6 MHz : 146m



Tracé de vol :

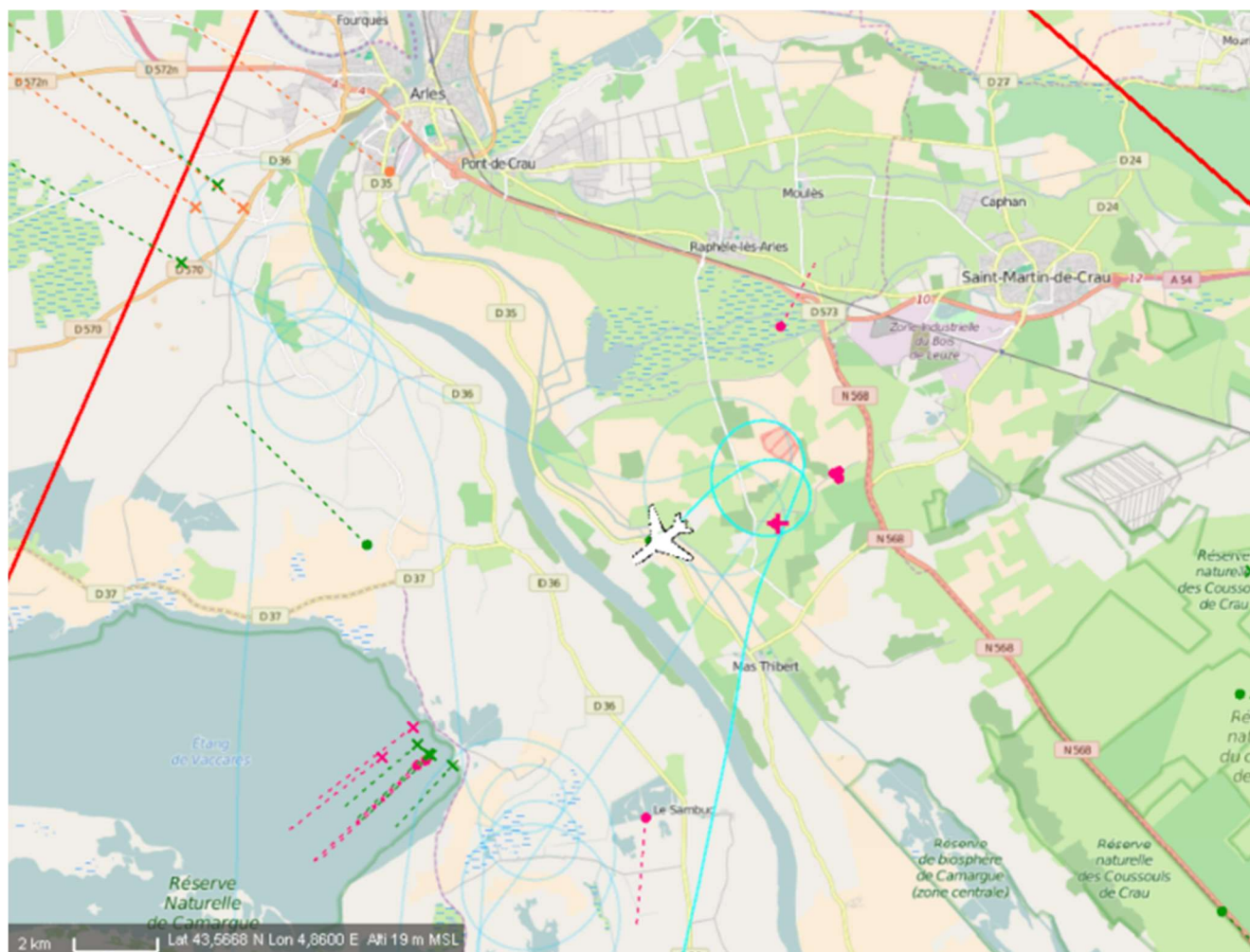


Fig.102 – Tracé du Vol 3 site Pampa 8 000 pieds

8.6.4.6. SITE « VACCARÈS » A 8000 PIEDS

A 13h41, cap à azimuth 232° vers le site de « Vaccarès », d'après les émetteurs détectés.

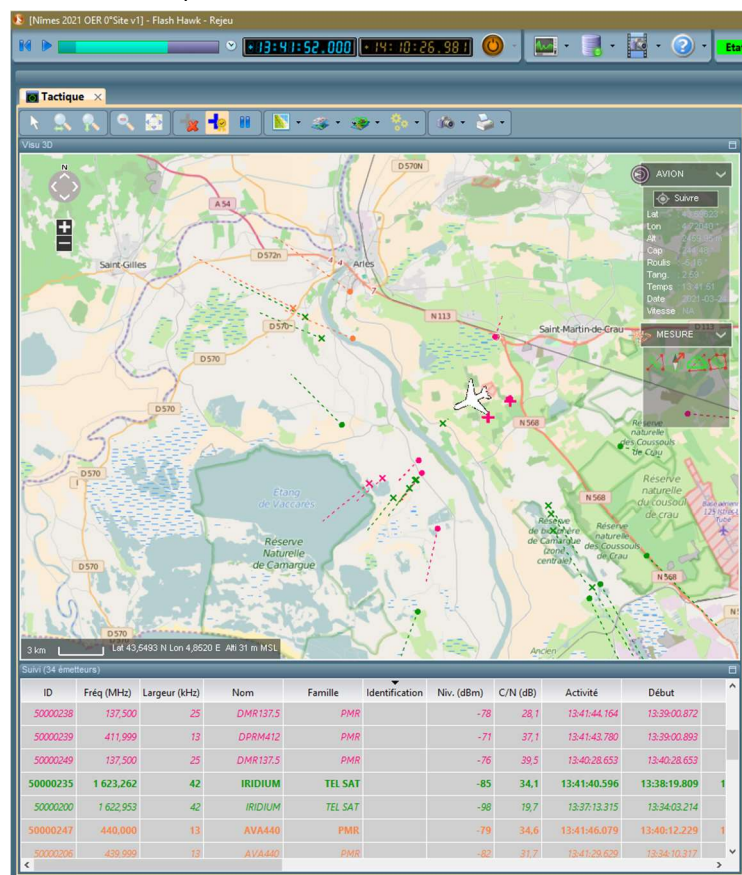


Fig.103 – Vol 3 site Vaccarès 8000 pieds - démarrage

A 13h43, arrivée sur le site de « Vaccarès » : séparation des 8 émetteurs.

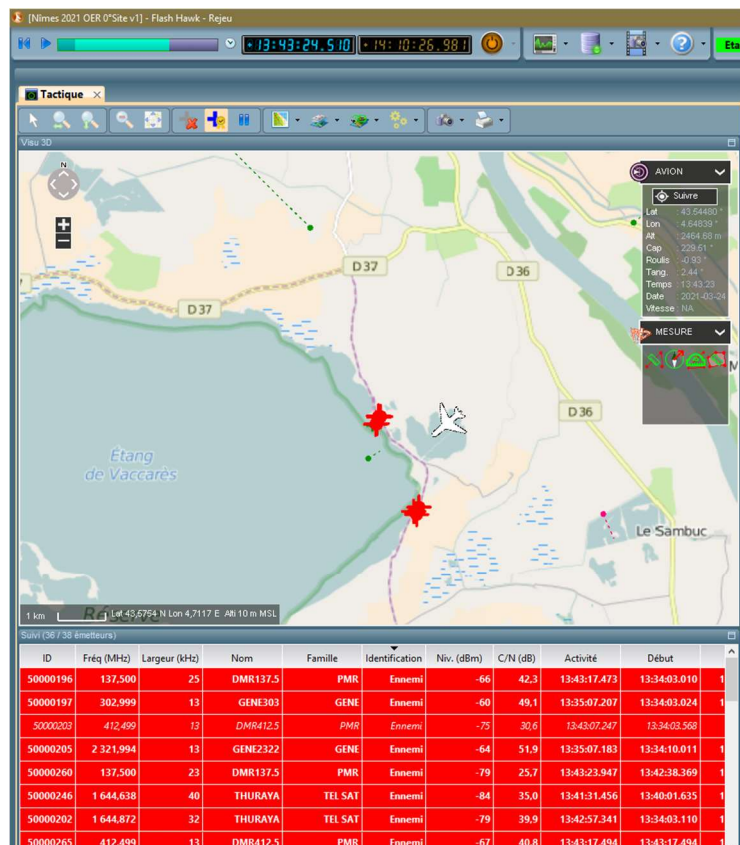


Fig.104 – Vol 3 site Vaccarès 8000 pieds – séparation émetteurs

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.105 - 1^{er} DMR 137,5 MHz : 81m

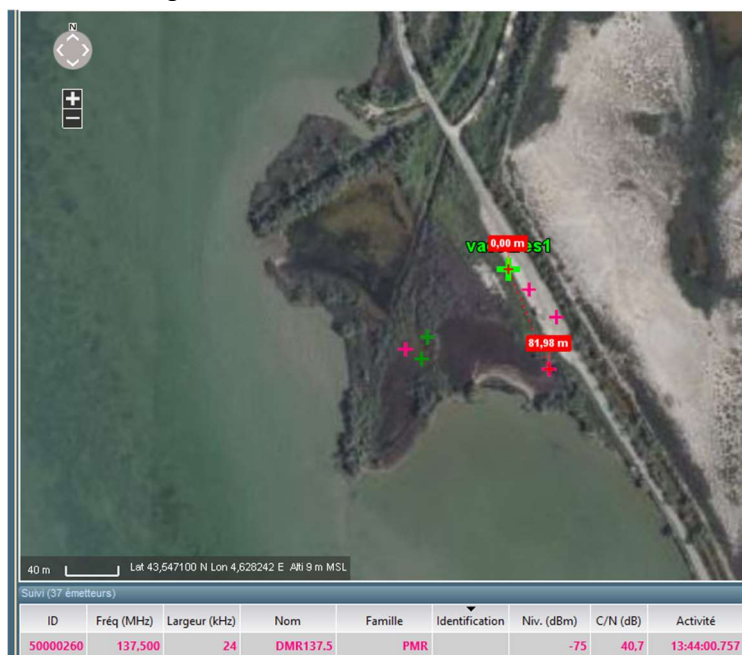


Fig.106 - 1^{er} DMR 412,5 MHz : 20m

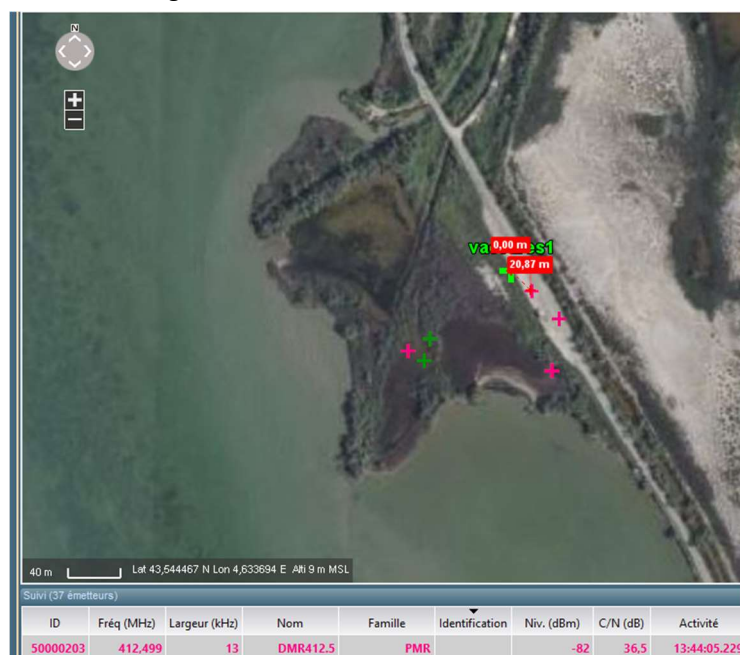


Fig.107 - Générateur 303 MHz : 51m

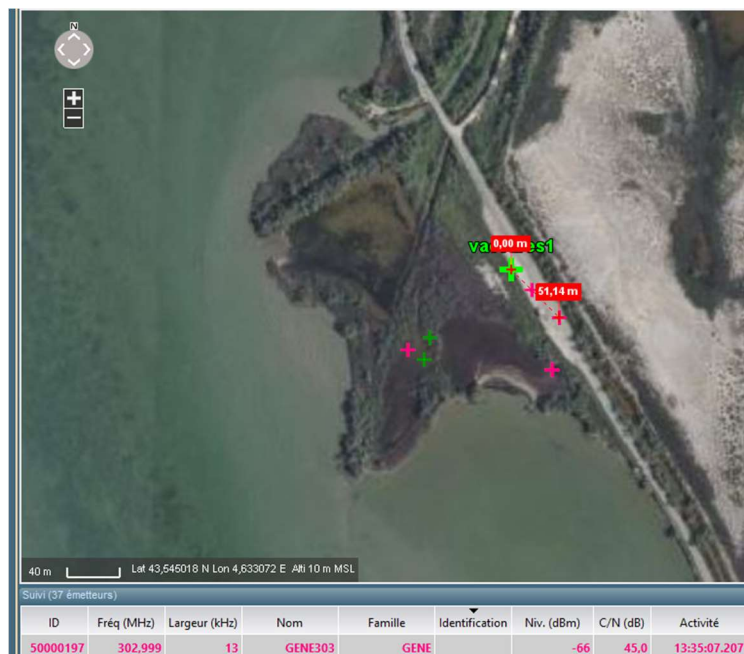


Fig.108 - Générateur 2322 MHz : 99m

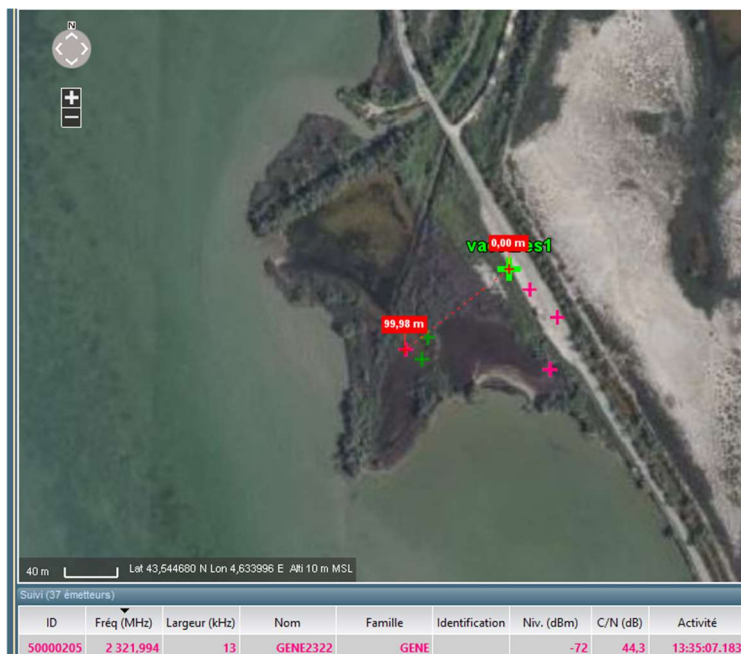


Fig.109 - 1^{er} téléphone satellite Thuraya : 95m

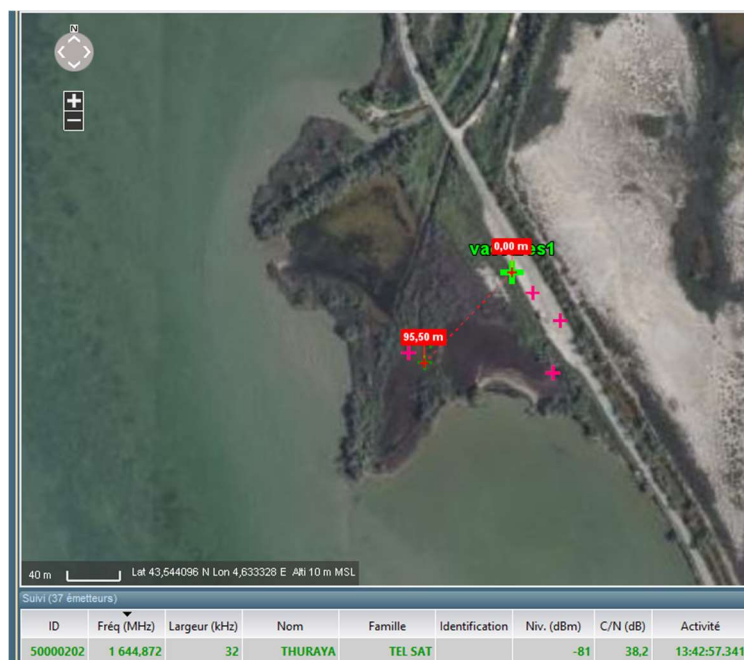


Fig.110 - 2^{ème} DMR 137,5 MHz : 141m

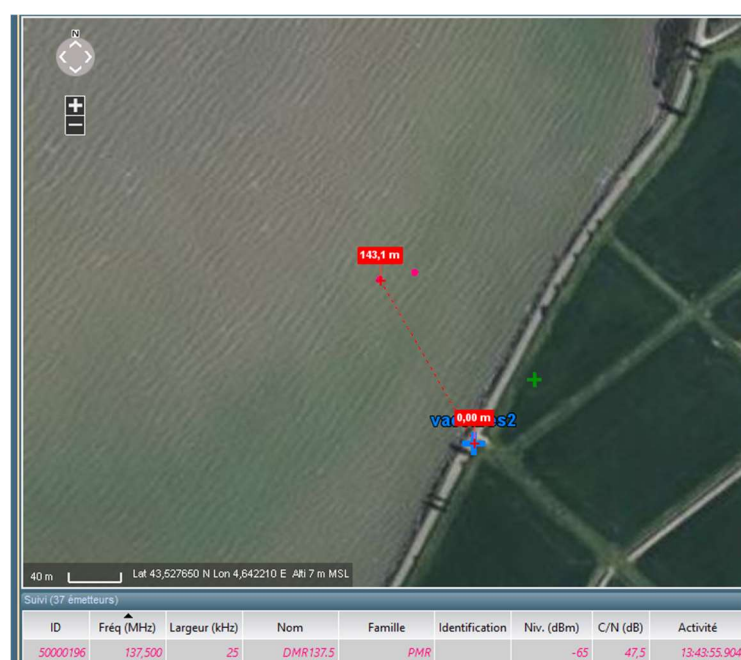


Fig.111 - 2^{ème} DMR 412,5 MHz : 137m

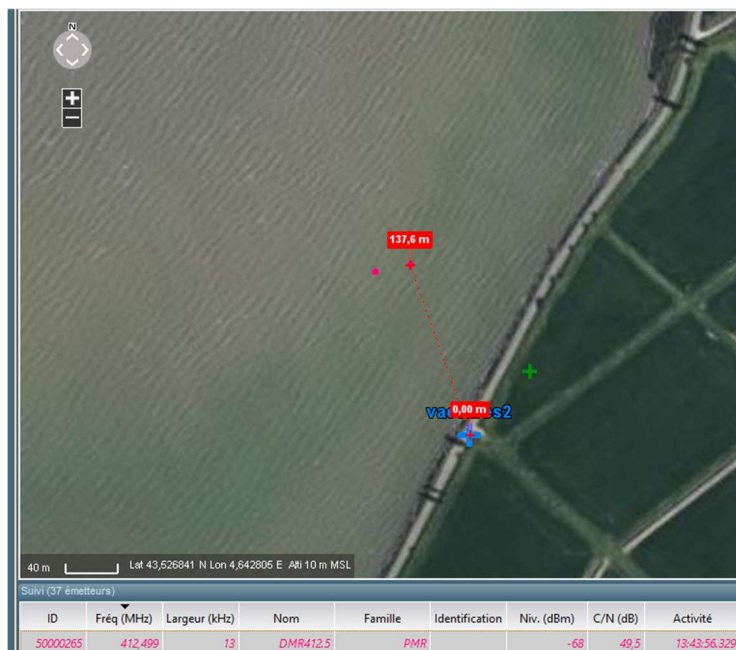
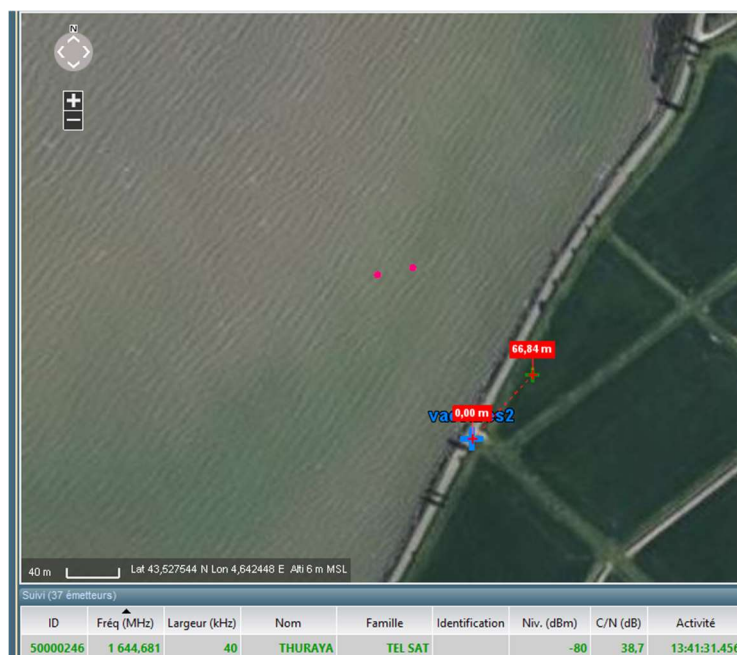


Fig.112 - 2^{ème} téléphone satellite Thuraya : 66m



Tracé de vol :

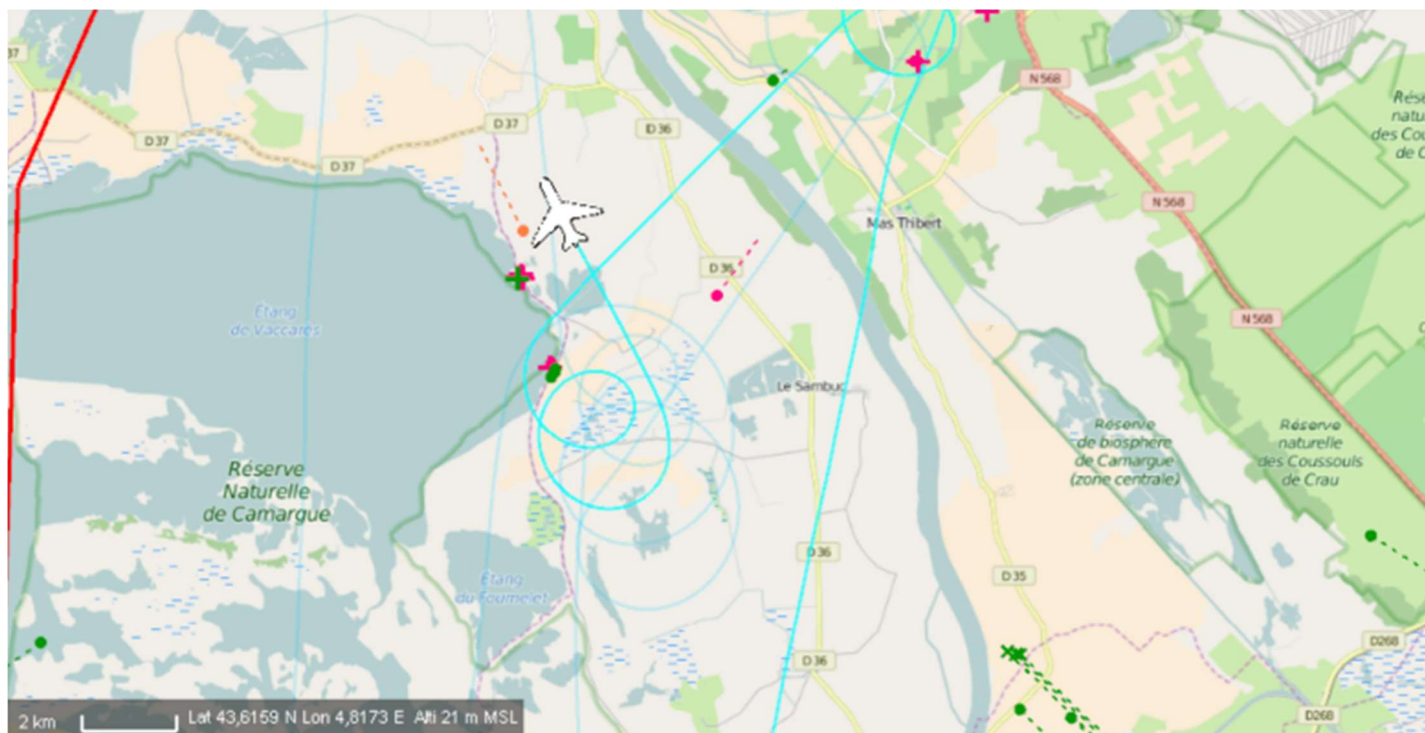


Fig.113 – Tracé du Vol 3 site Vaccarès 8 000 pieds

8.6.4.7. SITE « HARAS » A 8000 PIEDS

A 13h46, cap à azimuth 333° vers le site du « Haras », d'après les émetteurs détectés.

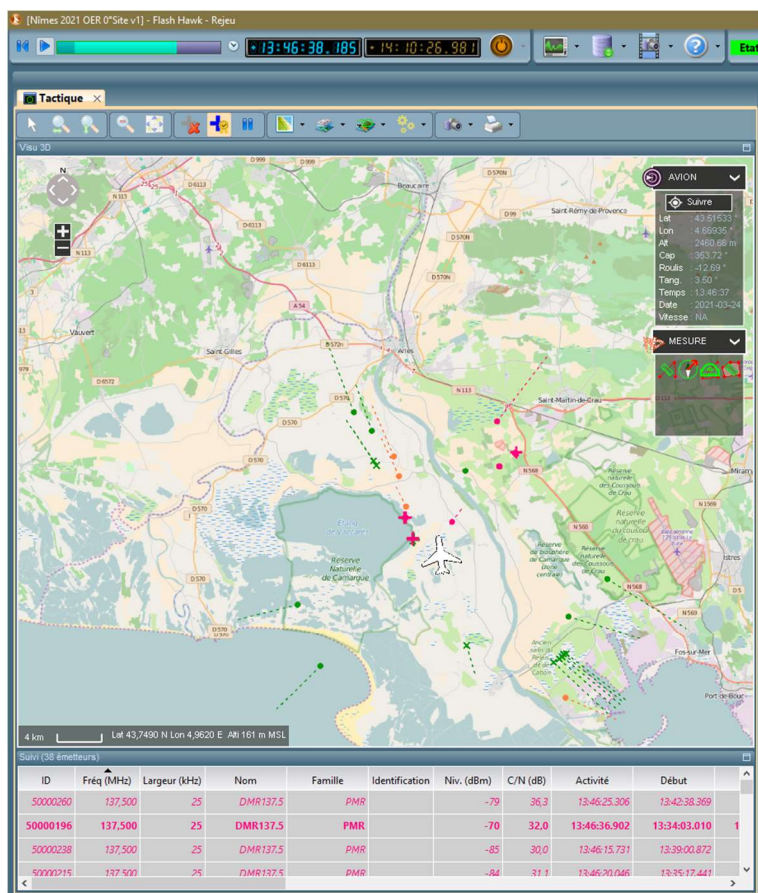


Fig.114 – Vol 3 site Haras 8000 pieds - démarrage

A 13h50, arrivée sur le site du « Haras » : séparation des 6 émetteurs.

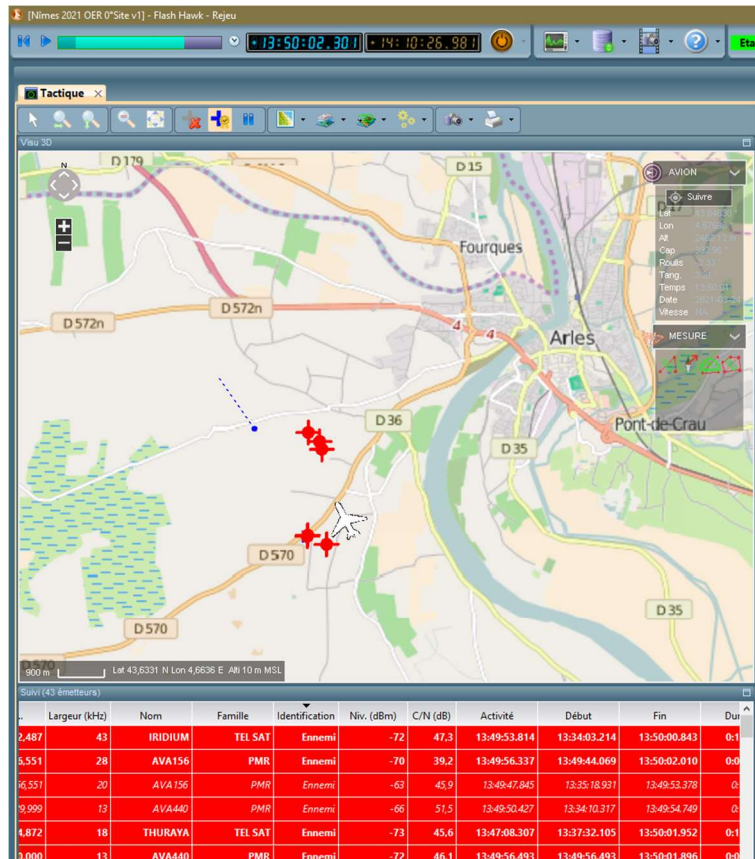


Fig.115 – Vol 3 site Haras 8000 pieds – séparation émetteurs

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.116 - 1^{er} PMR 156,55 MHz : 196m



Fig.117 - 1^{er} PMR 440 MHz : 133m

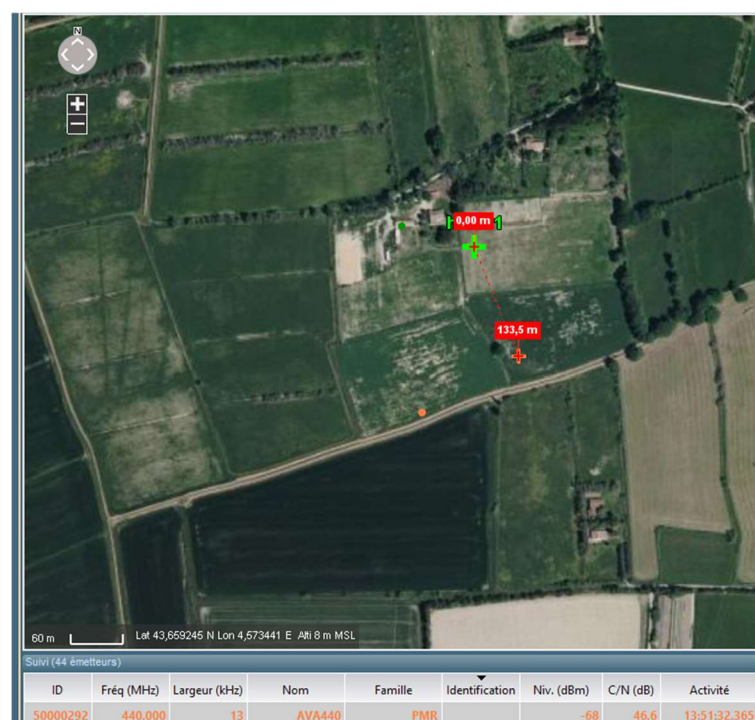


Fig.118 - Téléphone satellite Iridium : 85m

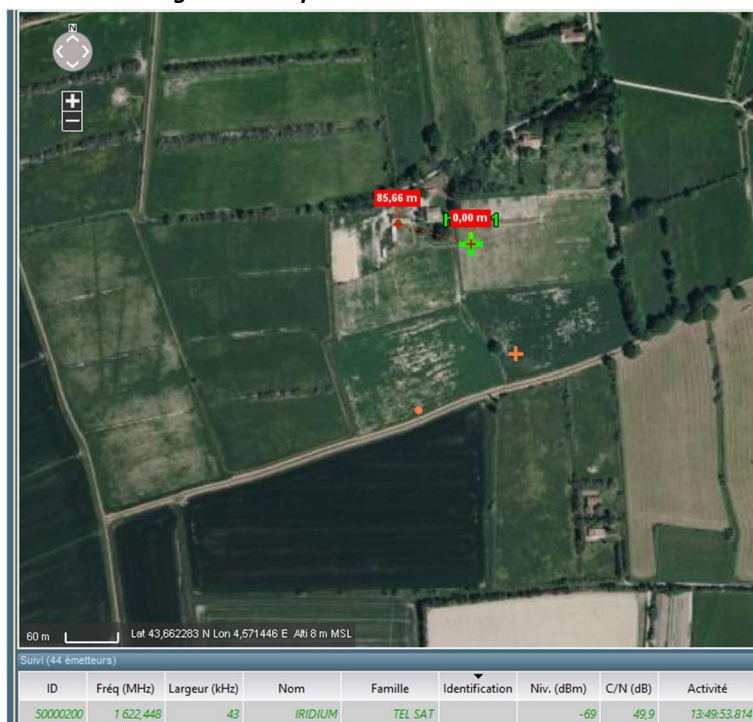


Fig.119 - 2^{ème} PMR 156,55 MHz : 107m

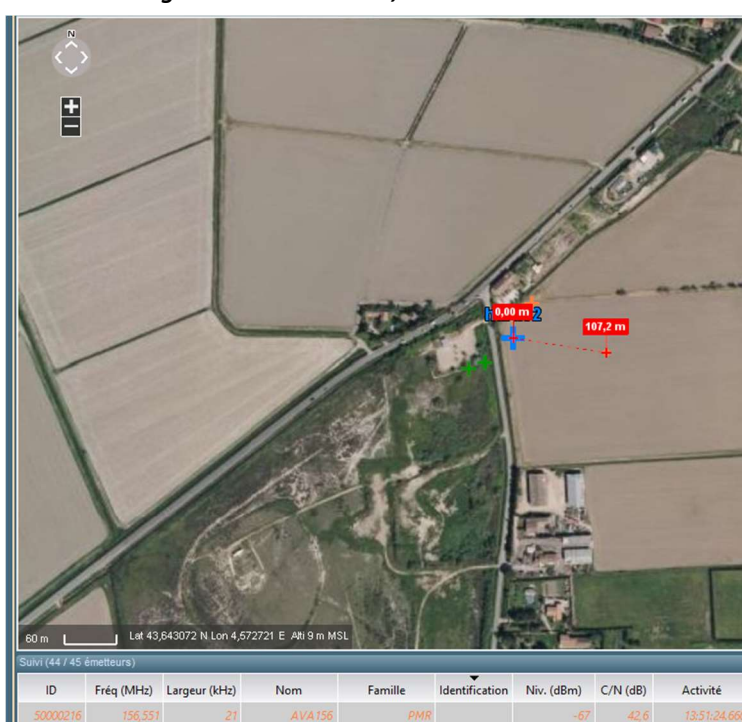


Fig.120 - 2^{ème} PMR 440 MHz : 45m

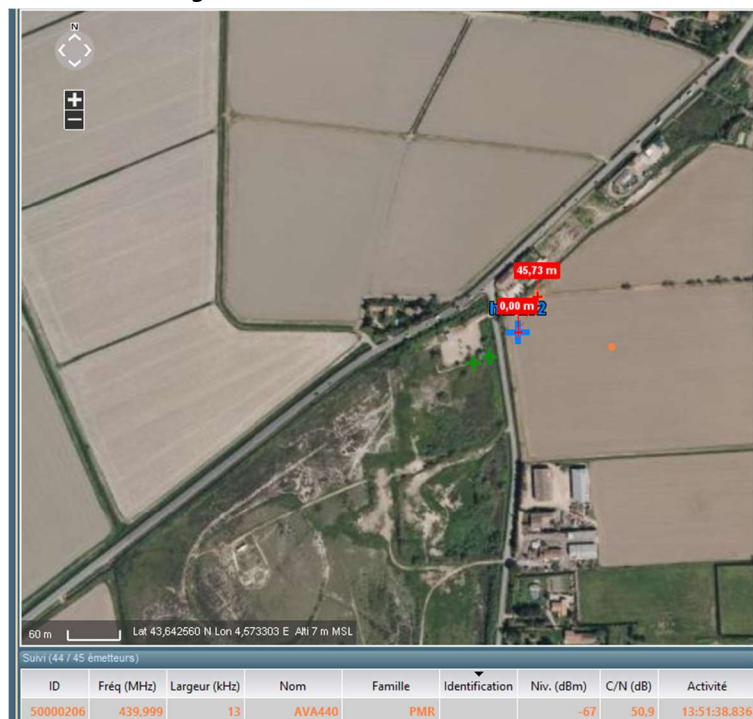
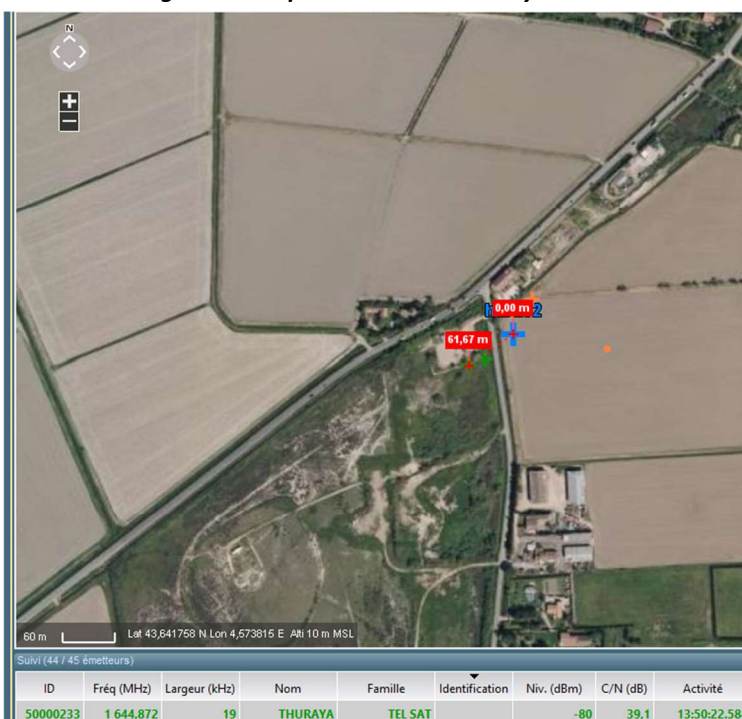


Fig.121 - Téléphone satellite Thuraya : 61m



Tracé de vol :

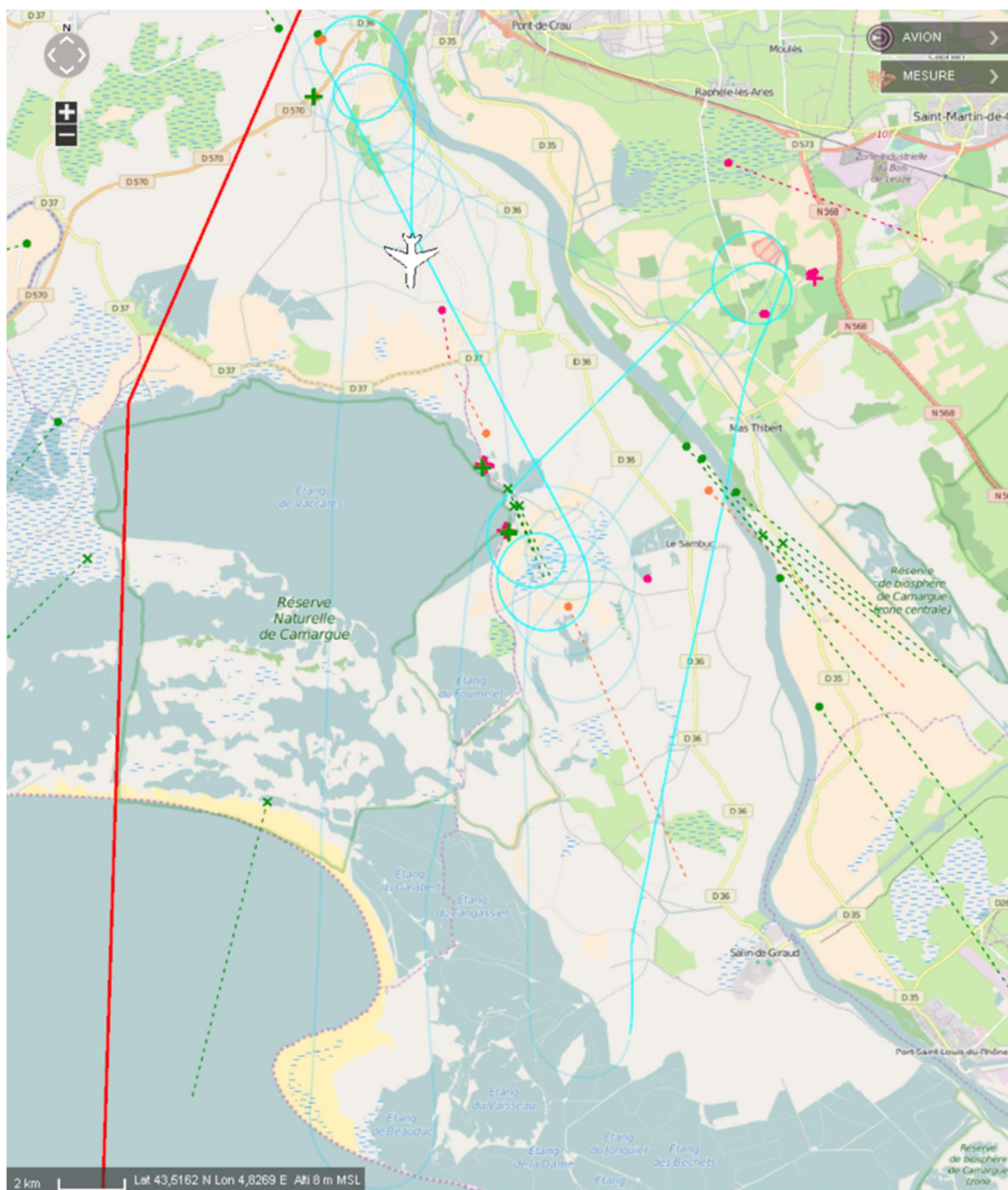


Fig.122 – Tracé du Vol 3 site Haras 8 000 pieds

8.6.4.8. TRAJET DE RETOUR DU VOL 3

- A 13h56, après le nouveau passage sur le site de « Vaccarès » à 10000 pieds, la mission a été considérée comme finie. Le pilote a commencé la descente et le retour.
- A 14h10, arrêt du capteur embarqué avant atterrissage.

Tracé de vol complet :

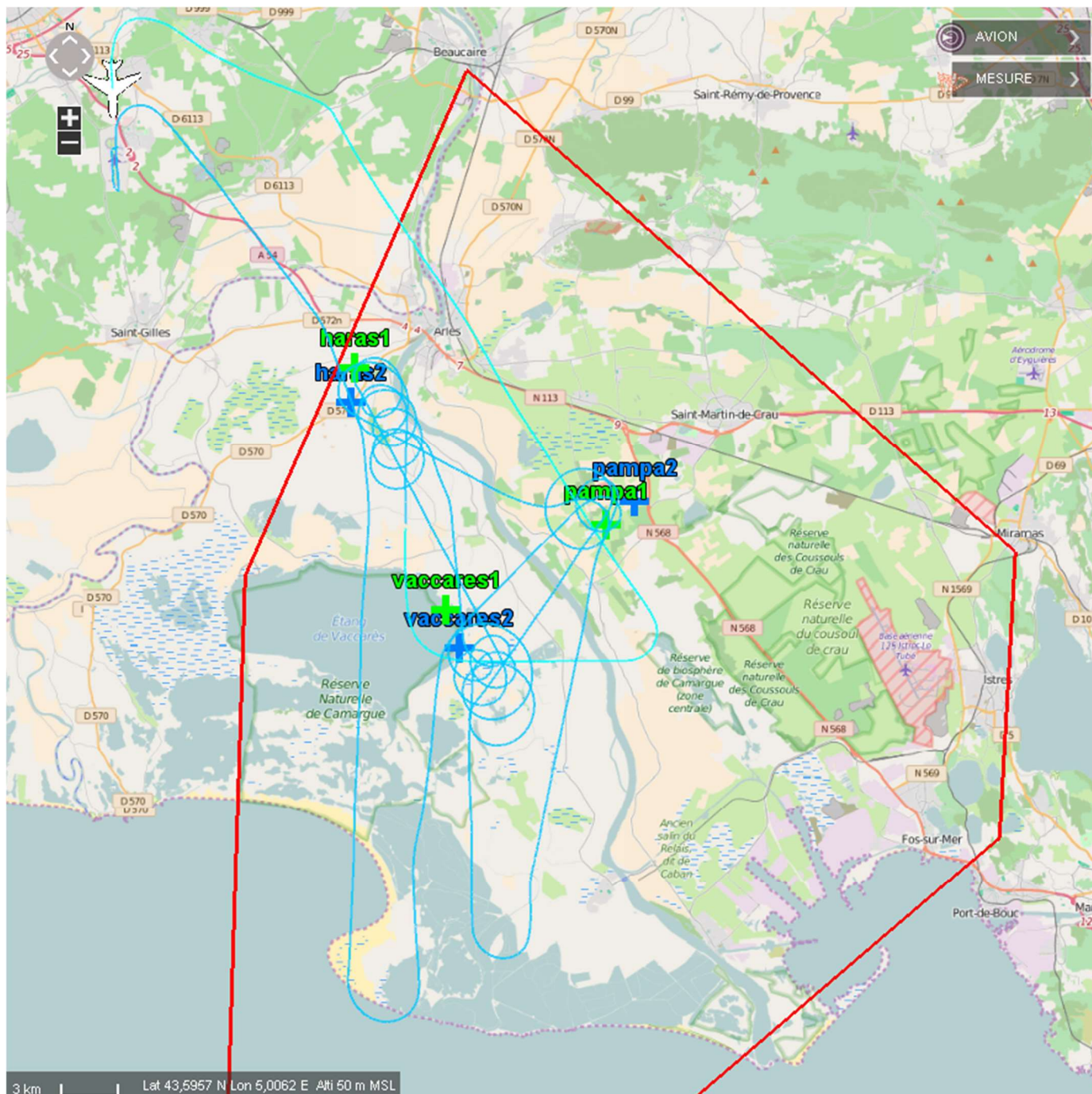


Fig.123 – Tracé du Vol 3 complet - 3 sites & 2 altitudes

8.6.4.9. SITE « HARAS » A 10000 PIEDS VOL 4

Le 25 mars 2021, deux scénarios opérationnels sont effectués, nommés « chasse au renard » et « suivi véhicule en déplacement », ce test de séparation spatiale additionnel a eu lieu entre ces deux scénarios.

A 9h34, cap à azimuth 236° vers le site du « Haras », d'après les émetteurs détectés.



Fig.124 – Vol 4 site Haras 10 000 pieds - démarrage

A 9h38, arrivée au site du « Haras » : sSéparation des 3 émetteurs.

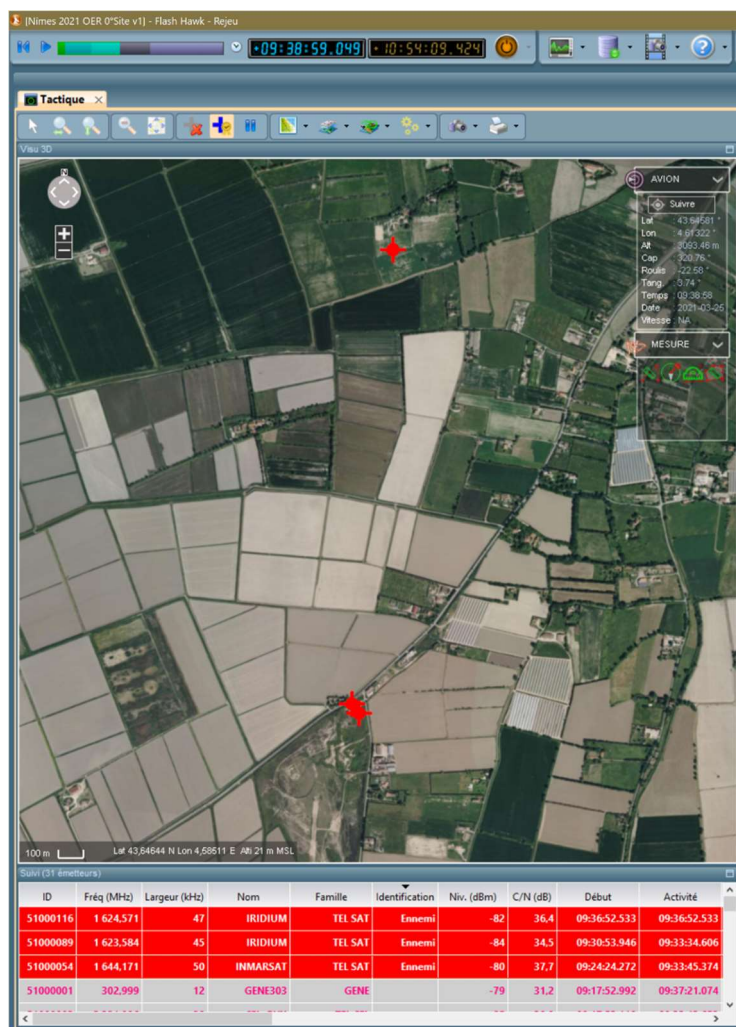


Fig.125 – Vol 4 site Haras 10 000 pieds – séparation émetteurs

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.126 - 1^{er} téléphone satellite Iridium : 118m

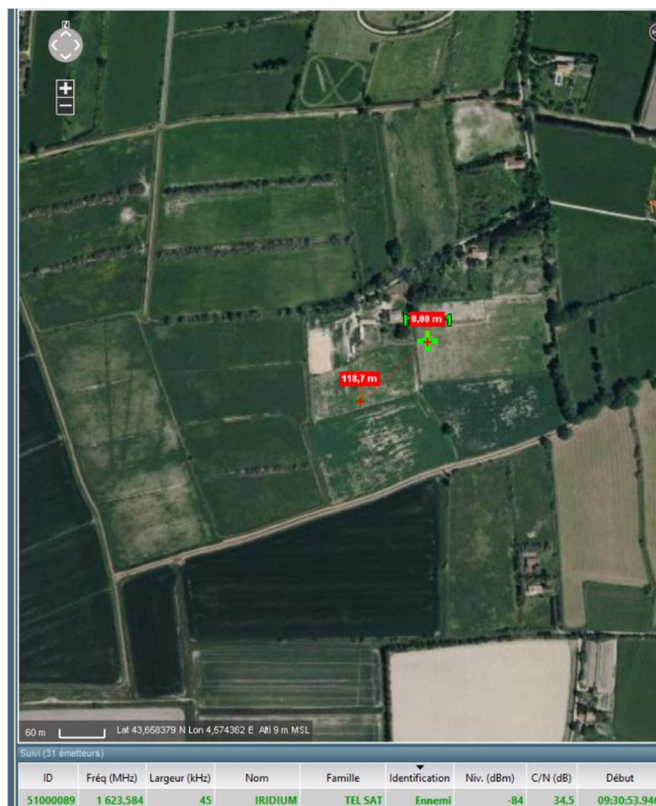


Fig.127 - 2^{ème} téléphone satellite Iridium : 57m

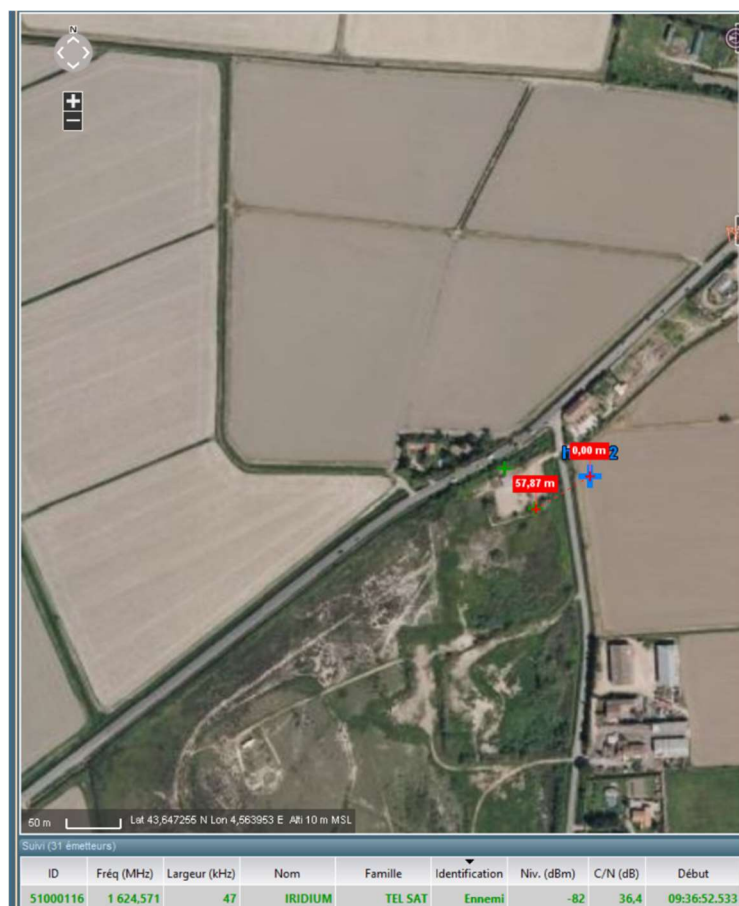
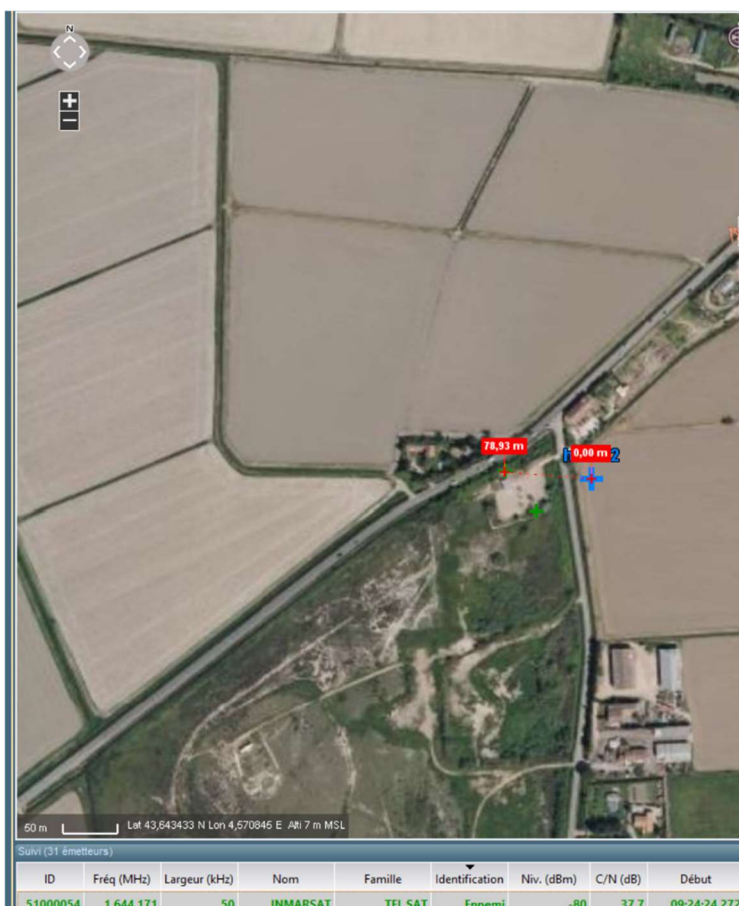


Fig.128 - Téléphone satellite Inmarsat : 78m



Tracé de vol :

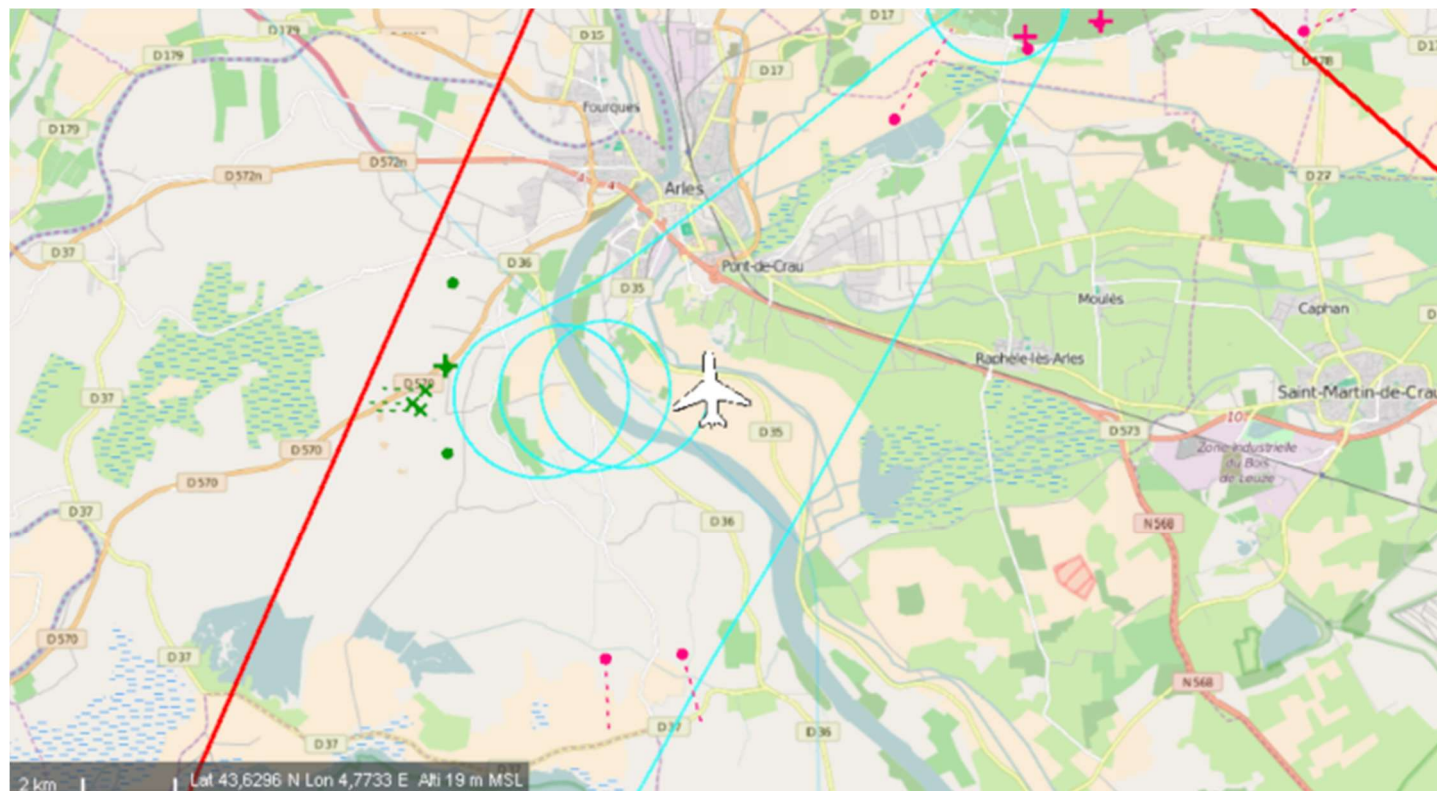


Fig.129 – Tracé du Vol 4 site Haras 10 000 pieds

8.6.5. RESULTATS

Séparation spatiale :

Site	Equipements	Angle de séparation spatiale
« Vaccarès »	DMRs 137,5 MHz	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)
	DMRs 412,5 MHz	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)
	Téléphones satellite Thuraya	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)
« Pampa »	DMRs 137,5 MHz	≥ 36° (1800m, alti. ≤ 8000 pieds)
	DMRs 412 MHz	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)
	PMRs APCO 867,6 MHz	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)
« Haras » VOL 3	PMRs 156 MHz	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)
	PMRs 440 MHz	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)
« Haras » VOL 4	Téléphone satellite Iridium	≥ 30° (1800m, alti. ≤ 10000 pieds)

Fig.130 – Angle de séparation spatiale par équipement

Mesures de précision :

Site	Equipement	Altitude 10000 pieds	Altitude 8000 pieds
« Vaccarès »	1 ^{er} DMR 137,5 MHz	49 m	81 m
	1 ^{er} DMR 412,5 MHz	106 m	20 m
	1 ^{er} Téléphone satellite Thuraya	266 m	95 m
	Générateur 303 MHz	119 m	51 m
	Générateur 2322 MHz	21 m	99 m
	2 ^{ème} DMR 137,5 MHz	226 m	143 m
	2 ^{ème} DMR 412,5 MHz	77 m	137 m
	2 ^{ème} Téléphone satellite Thuraya	63 m	66 m
« Pampa »	1 ^{er} DMR 137,5 MHz	262 m	21 m
	1 ^{er} DMR 412 MHz	53 m	13 m
	1 ^{er} PMR APCO 867,6 MHz	88 m	55 m
	2 ^{ème} DMR 137,5 MHz		171 m
	2 ^{ème} DMR 412 MHz	156 m	63 m
	2 ^{ème} PMR APCO 867,6 MHz	30 m	146 m
« Haras » VOL 3	1 ^{er} PMR 156,55 MHz	95 m	196 m
	1 ^{er} PMR 440 MHz	93 m	133 m
	Téléphone satellite Iridium	87 m	85 m
	2 ^{ème} PMR 156,55 MHz	216 m	107 m
	2 ^{ème} PMR 440 MHz	64 m	45 m
	Téléphone satellite Thuraya	56 m	61 m
« Haras » VOL 4	1 ^{er} téléphone satellite Iridium	118m	N/A
	2 ^{ème} téléphone satellite Iridium	57m	N/A
	Téléphone satellite Inmarsat	78m	N/A

Fig.131 – Mesure de précision par équipement, à 2 altitudes

Le document est la propriété d'Avantix.

Toute reproduction ou communication même partielle est strictement interdite sans son autorisation.

8.6.6. FOCUS SUR LA LIMITE DU POUVOIR SEPARATEUR

Le pouvoir séparateur n'a été testé qu'à la limite de l'algorithme inclus dans FlashHawk.

Cet algorithme travaille au fil de l'eau : il est conçu pour prendre une décision de séparation à chaque nouvelle mesure liée à un nouveau burst télécom détecté. Ce développement a été guidé par des contraintes liées au PEA ECLAIR historique.

Les mesures effectuées pendant l'OER montrent que le pouvoir séparateur peut être largement amélioré.

Les nuages de points ci-dessous correspondent à deux émetteurs placés à la limite du pouvoir séparateur actuel.

Ces nuages de points sont obtenus pour toute la zone où le système FH fait de la localisation instantanée.

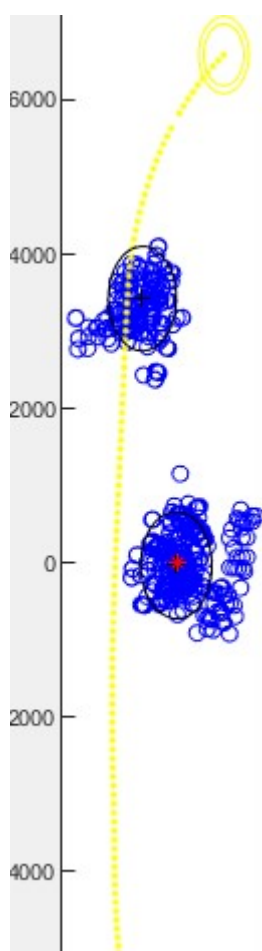


Fig.132 - Deux PMRs APCO P25 867.6 MHz séparées de 3,6km
(données issues du vol 5)

On remarque très clairement que les deux nuages sont parfaitement visibles.

Un algorithme ne fonctionnant pas strictement au fil de l'eau mais avec un léger retard de quelques secondes, pourrait parfaitement permettre d'améliorer le pouvoir séparateur actuel du produit FH.

Si on se base sur la taille des nuages de points représentés sur la figure ci-dessus, le pouvoir séparateur pourrait être divisé par 2, avec dans ce cas une séparation à 1.8 km pour une altitude de vol de 20000 pieds.

8.7. VOL OPERATIONNEL (VOL 4)

8.7.1. CHASSE AU RENARD

8.7.1.1. DESCRIPTION DU TEST

Sur un site connu du client uniquement, et à l'intérieur de la zone de vol autorisée du contrôle aérien d'Istres, plusieurs émetteurs sont à localiser par le système FlashHawk.

8.7.1.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST

Sur le site « renard », se trouvent 2 emplacements :

- 43.704687, 4.721580
- 43.709601, 4.741031
- (La recommandation d'espacement est de 1800m pour altitude de 10000 pieds, pour une séparation de 30°).

Les équipements et fréquences à localiser sont les suivants :

- PMR APCO 137,5 MHz
- PMR APCO 867,6 MHz

Ci-dessous, visualisation des plastrons espacés de 1660m : 28,5° pour une altitude de 10000 pieds



Fig.133 - Espacement des plastrons au sol, site « renard »

8.7.1.3. PREPARATION

L'emplacement n'est pas connu de l'opérateur.

Seule une carte générale de la région et le contour de la zone autorisée de vol sont utilisés dans la mission.

Le capteur embarqué est programmé sur le plan de balayage « OER2 ».

Sur une première partie de la mission, la voie IQ enregistre le canal 137,5 MHz.

Sur le reste de la mission, la voie IQ enregistre le canal 867,6 MHz.

Fig.134 - Programmation voie principale

Mode : Bandes

OER2

	Intervalle (MHz)		Res.	Durée (us)
✖	133,00	139,00	12,5 KHz	7 000
✖	152,00	162,00	12,5 KHz	7 000
✖	299,00	305,00	6,25 KHz	7 000
✖	408,00	414,00	6,25 KHz	10 000
✖	435,00	445,00	6,25 KHz	10 000
✖	863,00	869,00	12,5 KHz	10 000
✖	1 610,00	1 626,00	12,5 KHz	40 000
✖	1 626,00	1 660,00	12,5 KHz	40 000
✖	2 318,00	2 324,00	12,5 KHz	3 000
+				

Sensibilité : 14 dB

Mode gonio : Meilleur

Mode : Normale Filtre bibliothèque

Fig.135 - Programmation voie IQ sur 1^{ère} partie de mission

Bande instantanée : 120,00 160,00

flux I/Q : Bande passante utilisée : 12,5 / 2000 KHz

Fréquence (MHz) Larg. (KHz)

✖ 137,500 12,5

+

Fig.136 - Programmation voie IQ sur 2^{ème} partie de mission

Bande instantanée : 860,00 900,00

flux I/Q : Bande passante utilisée : 12,5 / 2000 KHz

Fréquence (MHz) Larg. (KHz)

✖ 867,600 12,5

+

8.7.1.4. DEROULEMENT

- Ce scénario opérationnel de la « chasse au renard » et « tracking véhicule » a eu lieu le 25 mars 2021.
- A 9h01, décollage de l'avion : cap au sud de la zone autorisée, en montant à 10000 pieds. L'acquisition n'est pas activée pendant ce trajet.
- A 9h17, arrivée au sud de la zone, et démarrage de l'acquisition. Immédiatement, les véhicules mobiles de l'autre mission du vol sont détectés.
- Cap au nord vers ces émetteurs.

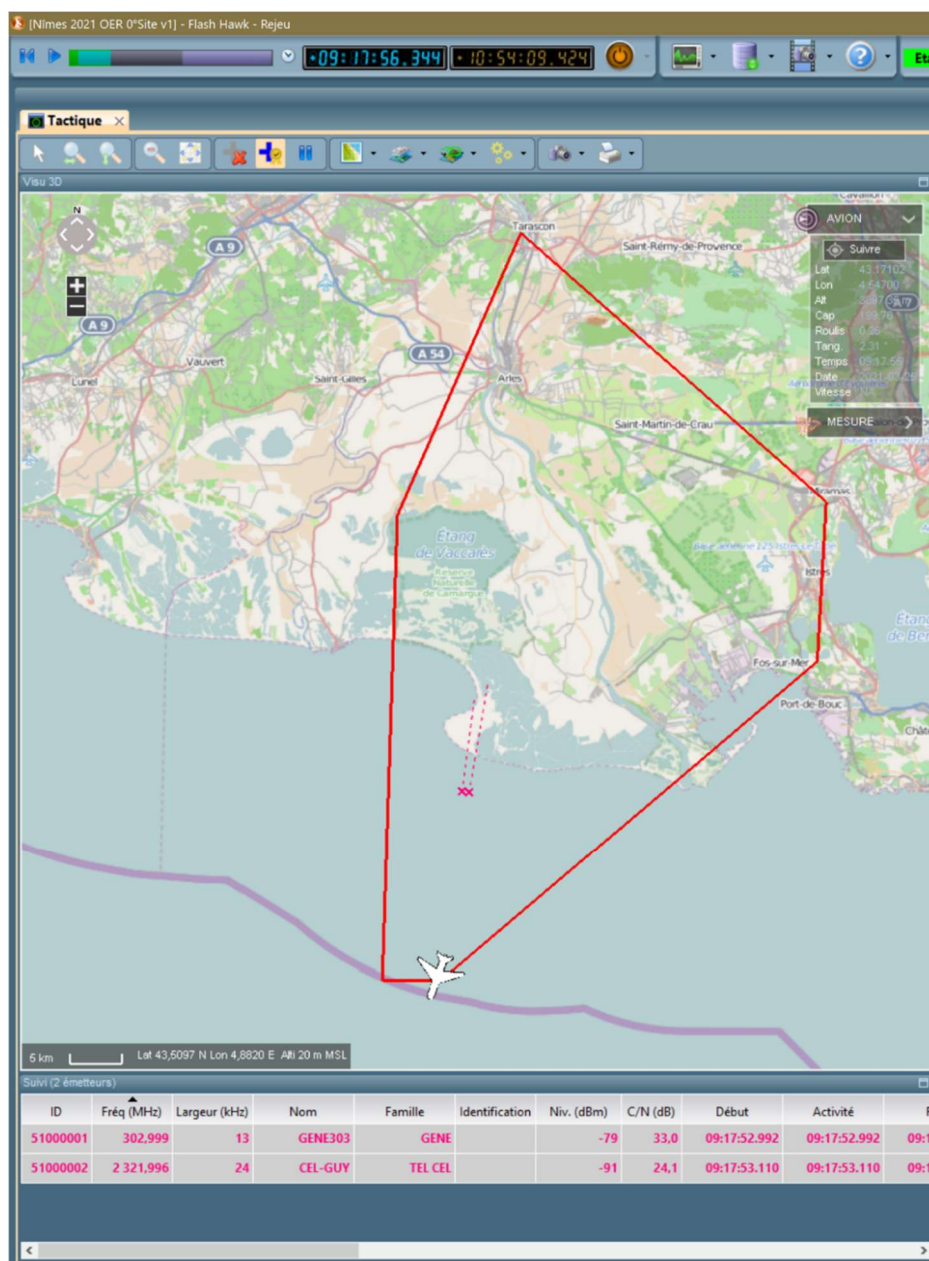


Fig.137 - Démarrage de la mission au sud de la zone d'Istres (en rouge)

A 9h23, détection des émetteurs de type « renard ».

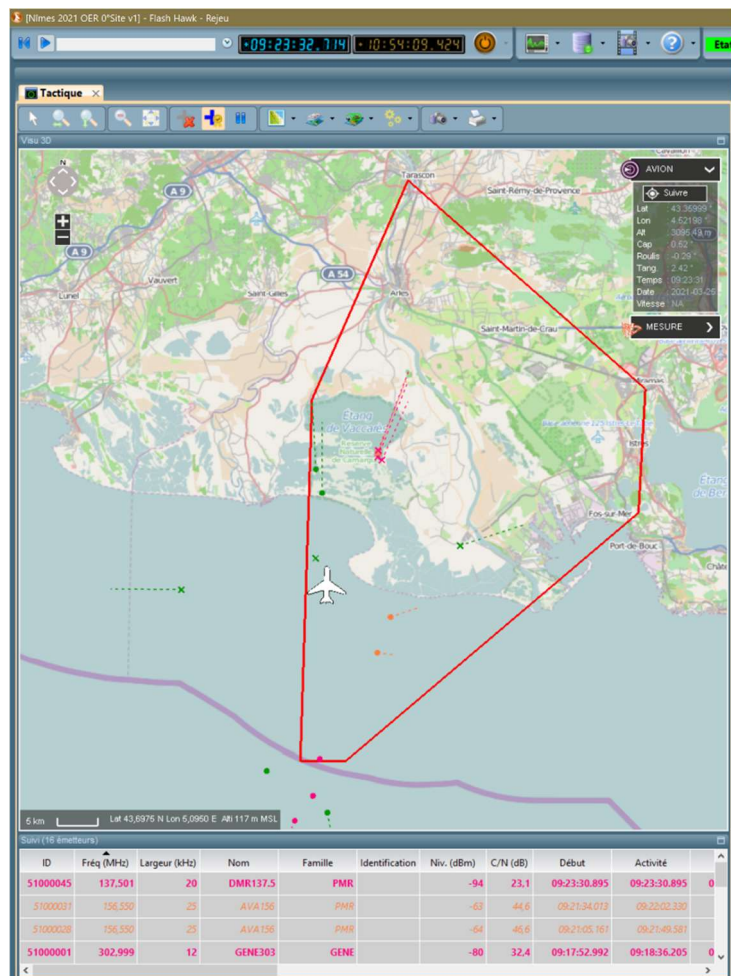


Fig.138 – Vol 4 Chasse au renard - démarrage

Distance de détection évaluée à 42km (en jeu).

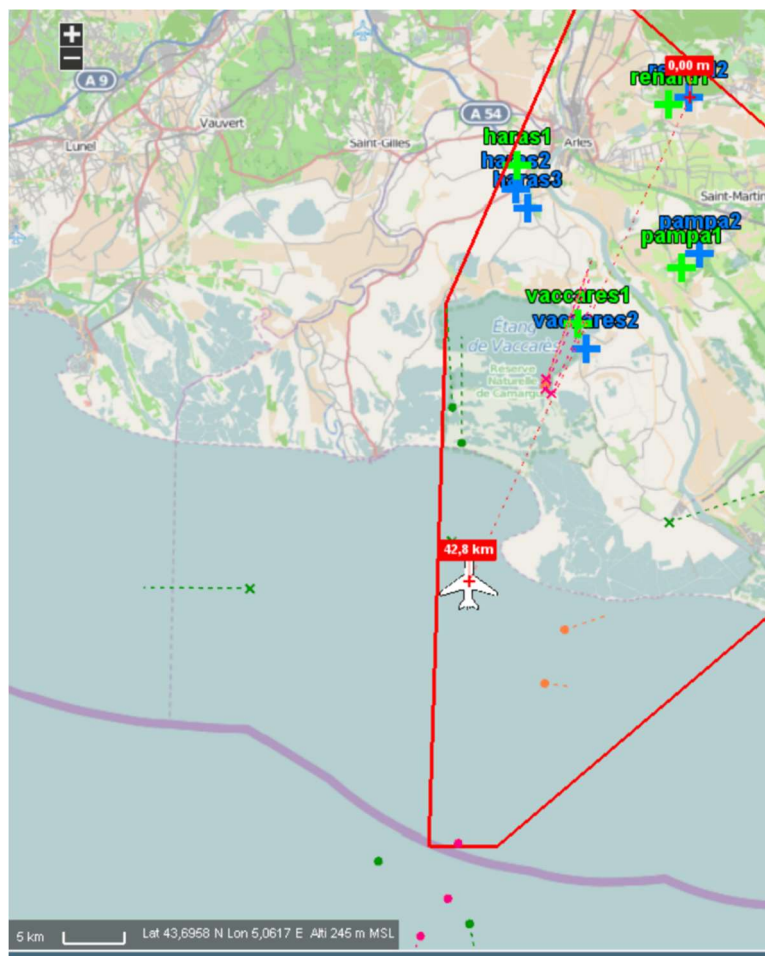


Fig.139 – Vol 4 Chasse au renard – 1ère détection

Cap vers le site « renard », maintenant identifié : azimut 24° de l'émetteur communiqué au pilote.

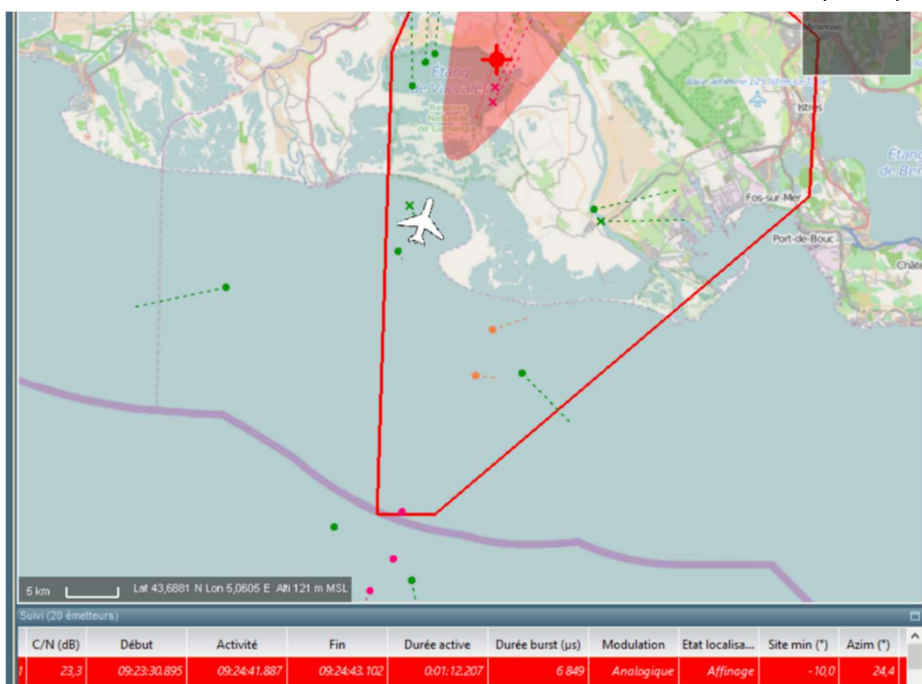


Fig.140 – Vol 4 Chasse au renard – direction site renard

A 9h26, le 2^{ème} équipement 867,6 MHz du site « renard » est détecté.

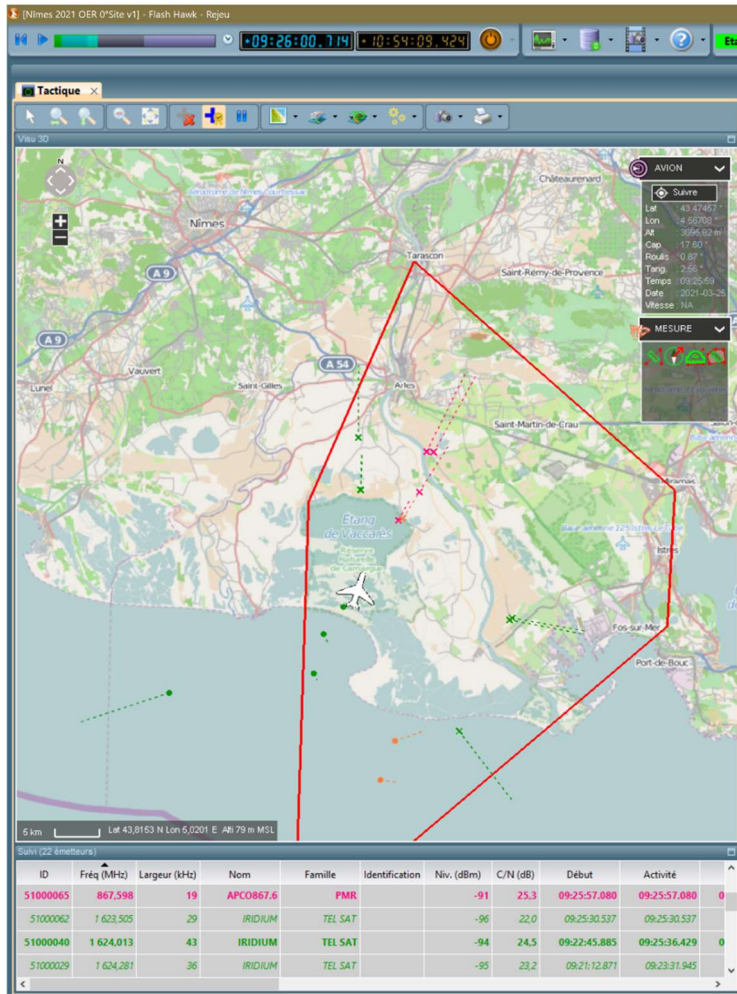


Fig.141 – Vol 4 Chasse au renard – détection 867,6 MHz

A 9h30, fin d'affinage de localisation.

Fig.143 – Vol 4 Chasse au renard – localisation affinée

Distance de détection évaluée à 29km (en jeu).

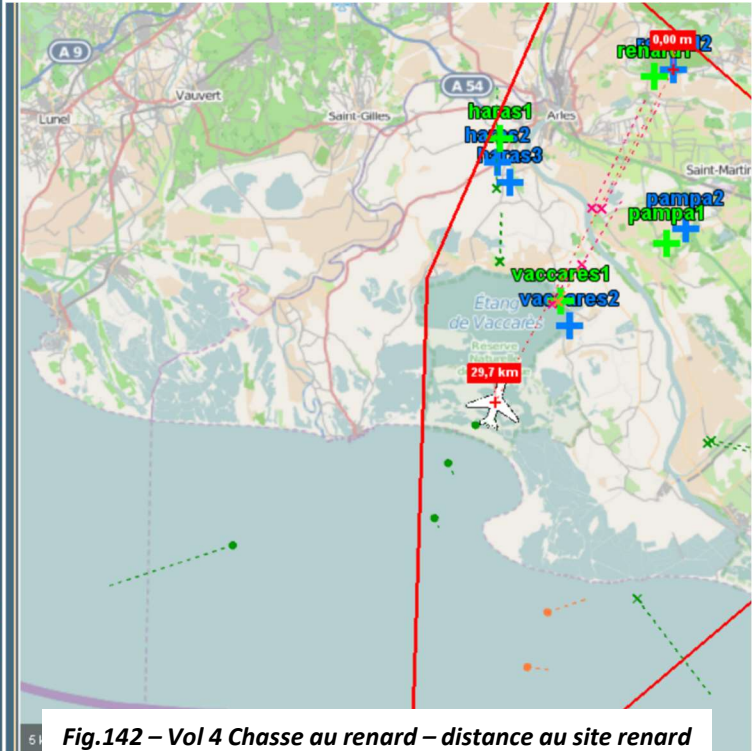
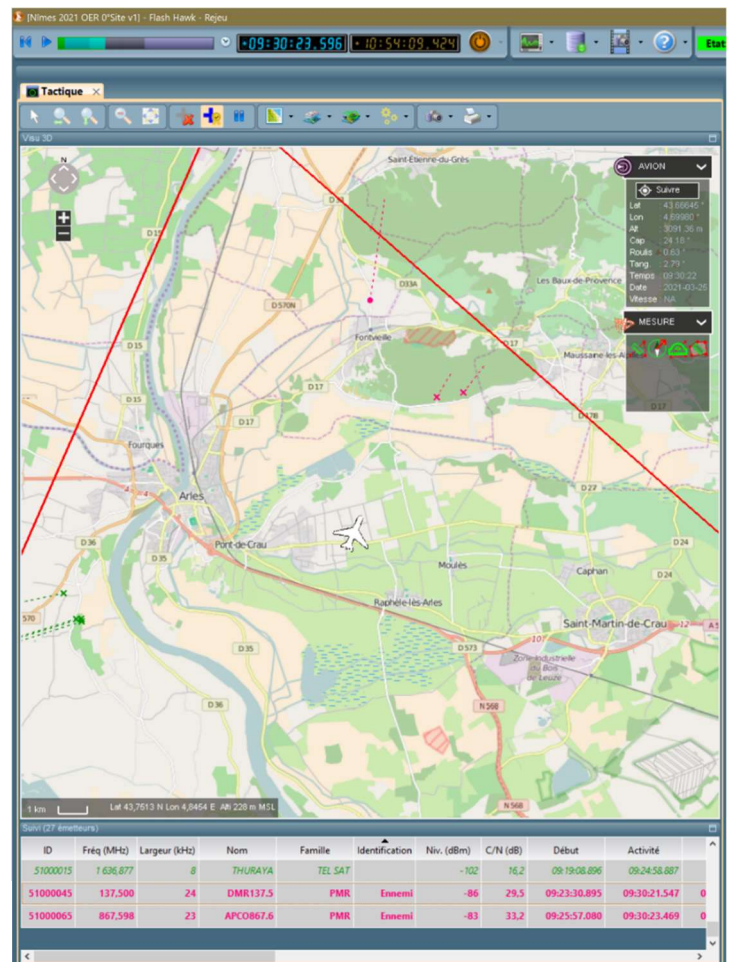


Fig.142 – Vol 4 Chasse au renard – distance au site renard



Juste avant 9h31, les 4 émetteurs sont séparés.

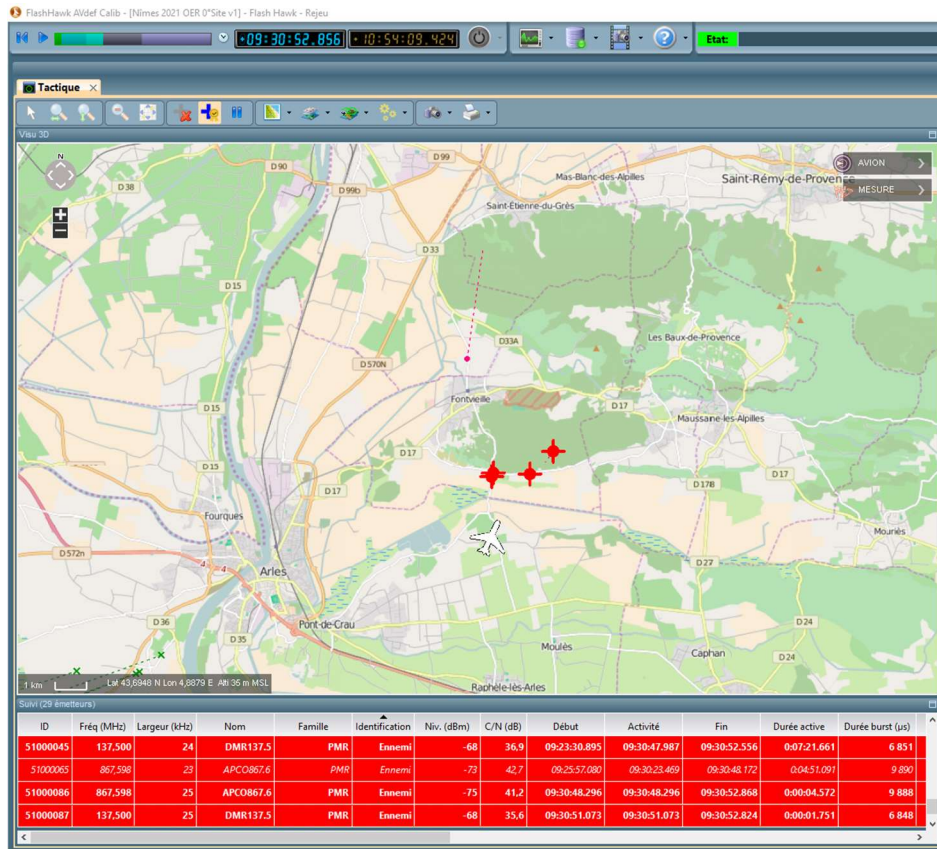


Fig.144 – Vol 4 Chasse au renard – séparation des 4 émetteurs

Les émetteurs sont séparés après la meilleure localisation.

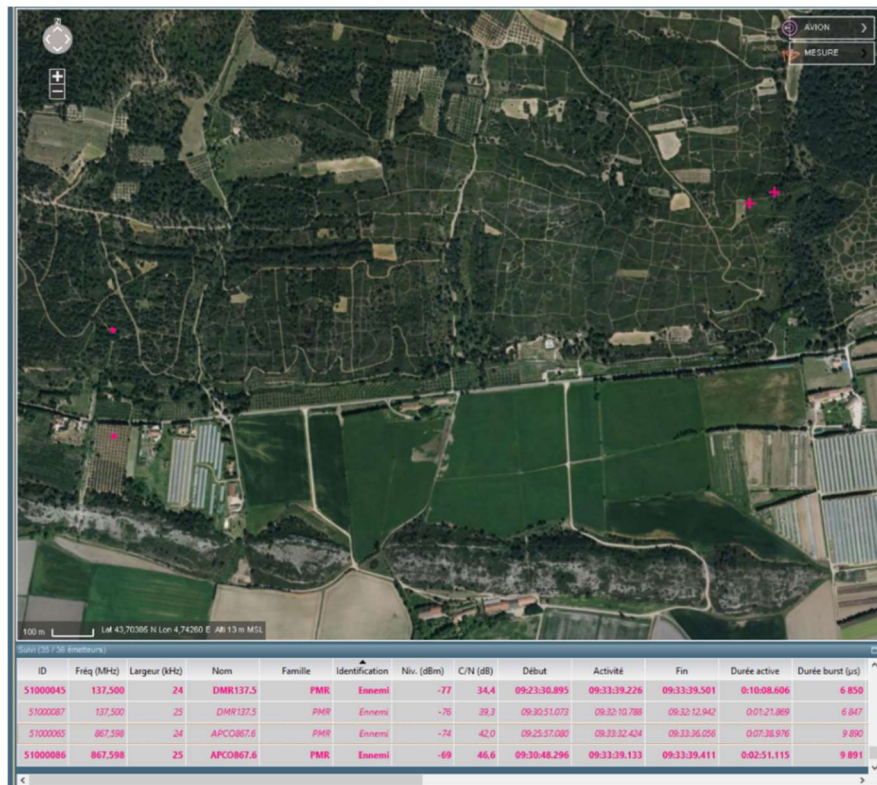


Fig.145 – Vol 4 Chasse au renard – localisation en mode Meilleur

Mesures de précision (en rejeu) :

Fig.146 - 1^{er} PMR APCO 137,5 MHz : 245m

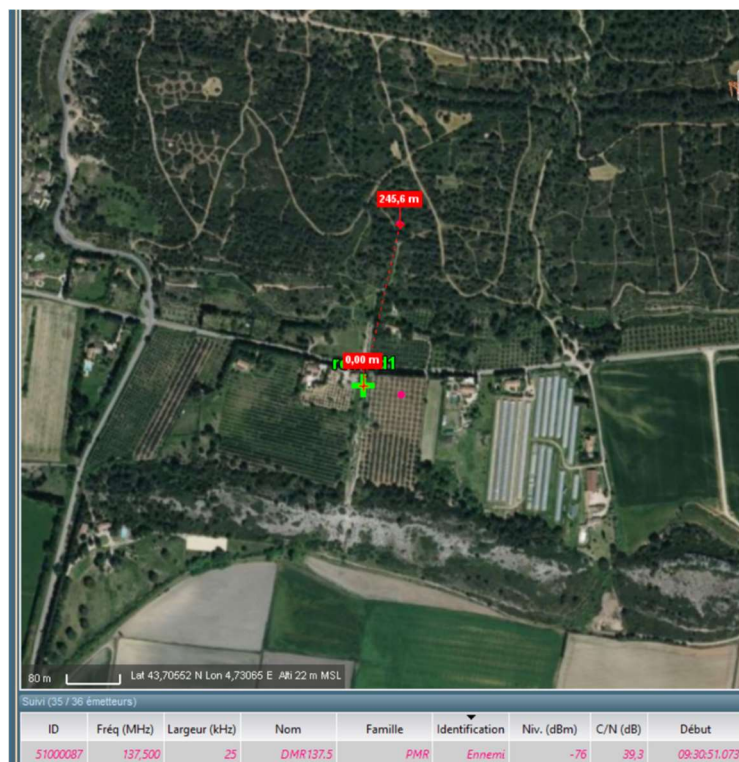


Fig.147 - 1^{er} PMR APCO 867,6 MHz : 57m

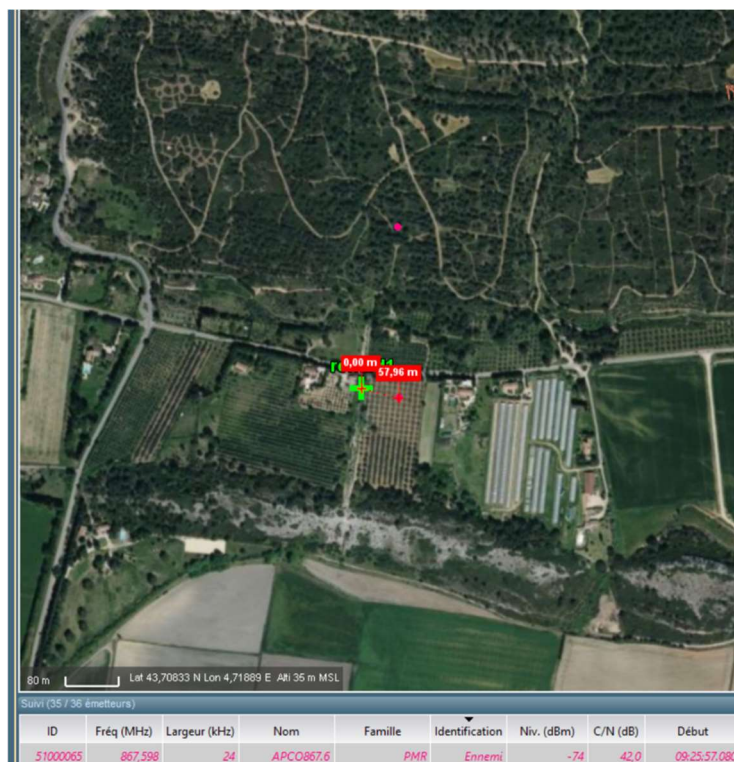


Fig.148 - 2^{ème} PMR APCO 137,5 MHz : 82m

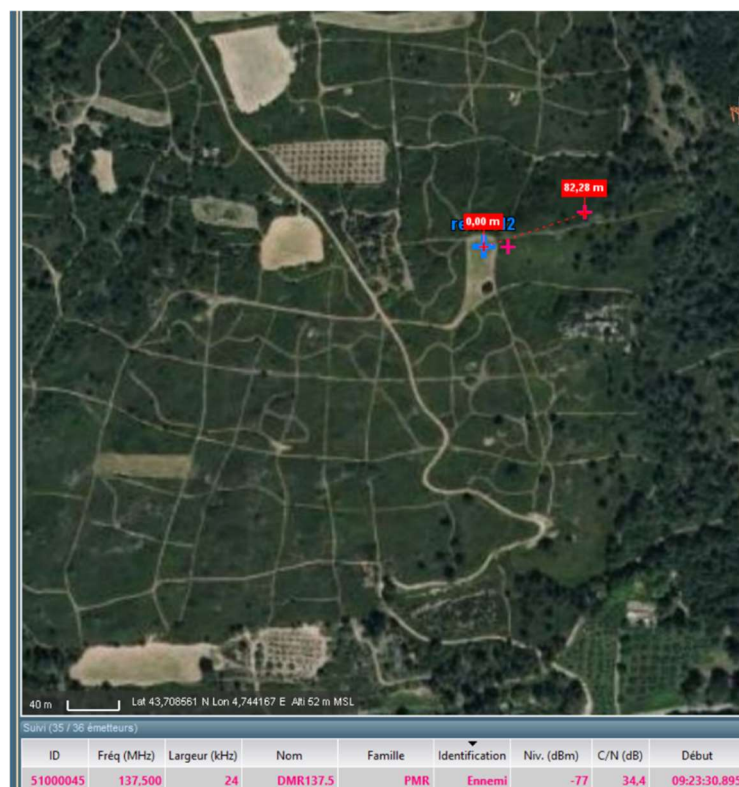
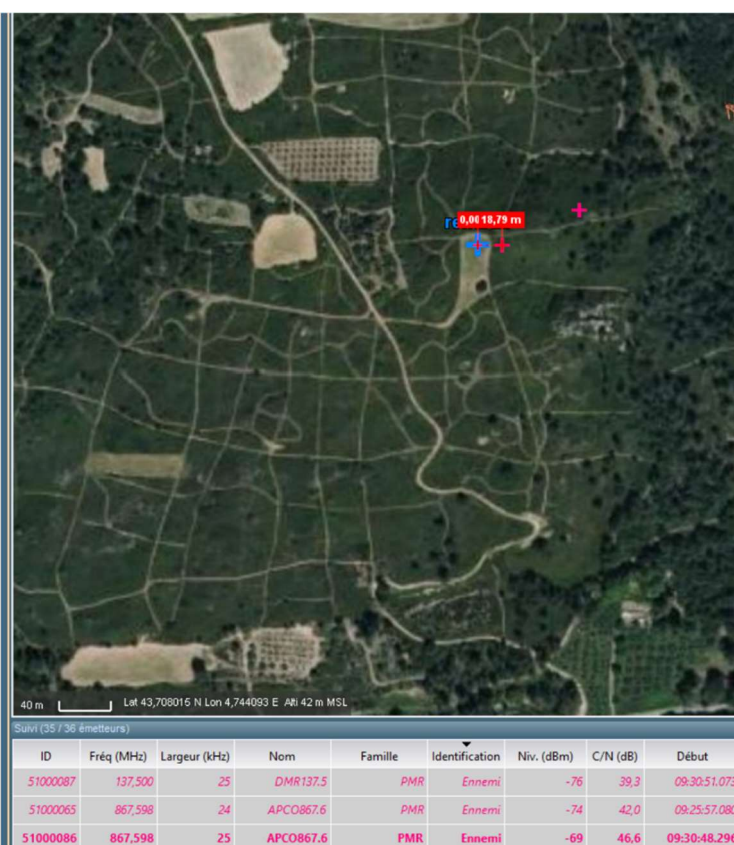


Fig.149 - 2^{ème} PMR APCO 867,6 MHz : 18m



Tracé de vol:

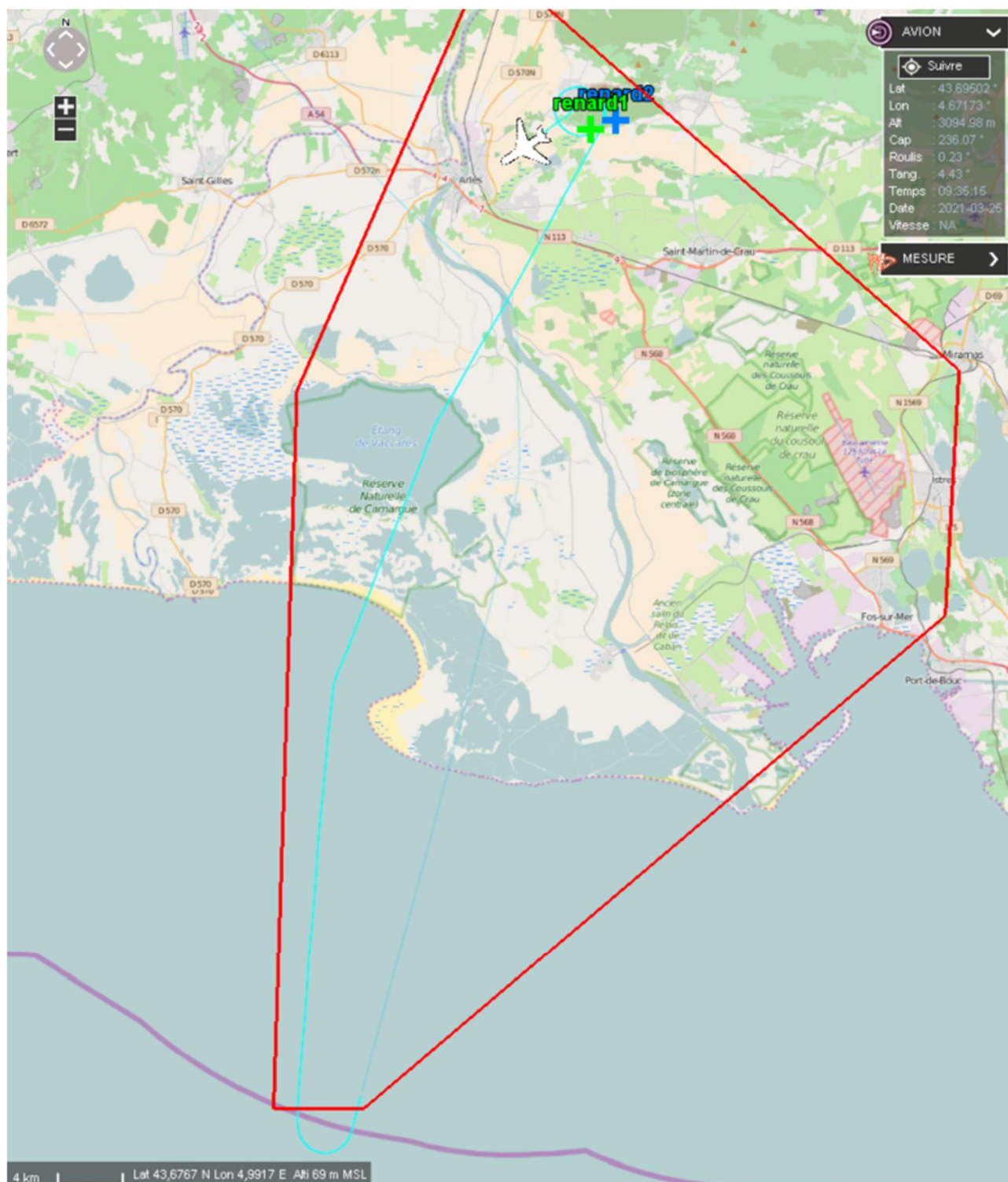


Fig.150 – Tracé du Vol 4 – chasse au renard

8.7.1.5. RESULTATS

Evénement	Délai	Distance
Détection PMR APCO 137,6 MHz	t_0	42 km
Détection PMR APCO 867,6 MHz	$t_0 + 2mn\ 30s$	29 km
Localisation proche	$t_0 + 7mn$	3 km
Séparation	$t_0 + 7mn$	3 km
Meilleure localisation	$t_0 + 8mn$	Au-dessus

Fig.151 – Temps et distance de détection pour les émetteurs de la chasse au renard

Mesures de précision :

1 ^{er} PMR APCO 137,5 MHz	245 m
1 ^{er} PMR APCO 867,6 MHz	57 m
2 ^{ème} PMR APCO 137,5 MHz	82 m
2 ^{ème} PMR APCO 867,6 MHz	18 m

Fig.152 – Précisions de localisation pour 4 émetteurs de la chasse au renard

8.7.2. SUIVI VEHICULE EN DEPLACEMENT

8.7.2.1. DESCRIPTION DU TEST

Un véhicule du client se déplace à l'intérieur de la zone de vol autorisée du contrôle aérien d'Istres, comportant plusieurs émetteurs à localiser et à suivre. Le parcours n'est pas connu avant la mission.

Un véhicule supplémentaire d'Avantix se déplace également et dont le parcours n'est pas non plus connu avant la mission.

8.7.2.2. PLASTRONS AU SOL POUR LE TEST

Matériel et fréquences émises par le véhicule client :

- Générateur CW 303 MHz
- Générateur forme d'onde téléphone 2G à 2322 MHz

Matériel et fréquence émise par le véhicule Avantix : PMR 440 MHz

Ci-dessous le parcours (en couleur **cyan**) communiqué **après** la mission :



Fig.153 – Parcours du véhicule client

8.7.2.3. PREPARATION

L'emplacement n'est pas connu de l'opérateur.

Seule une carte générale de la région et le contour de la zone autorisée de vol sont utilisés dans la mission.

Le capteur embarqué est programmé sur le plan de balayage « OER2 ».

Mode : Bandes

OER2

	Intervalle (MHz)		Res.	Durée (us)
✖	133,00	139,00	12,5 KHz	7 000
✖	152,00	162,00	12,5 KHz	7 000
✖	299,00	305,00	6,25 KHz	7 000
✖	408,00	414,00	6,25 KHz	10 000
✖	435,00	445,00	6,25 KHz	10 000
✖	863,00	869,00	12,5 KHz	10 000
✖	1 610,00	1 626,00	12,5 KHz	40 000
✖	1 626,00	1 660,00	12,5 KHz	40 000
✖	2 318,00	2 324,00	12,5 KHz	3 000
✔				

Sensibilité : 14 dB

Mode gonio : Meilleur

Mode : Normale Filtre bibliothèque ☒

Fig.154 - Plan de balayage correspondant au test de suivi véhicule

8.7.2.4. DEROULEMENT

Ce suivi de véhicules a lieu après le scénario opérationnel de « chasse au renard » et après le complément de test sur la séparabilité en VOL 4.

A 9h43, début de suivi véhicule : cap au sud.

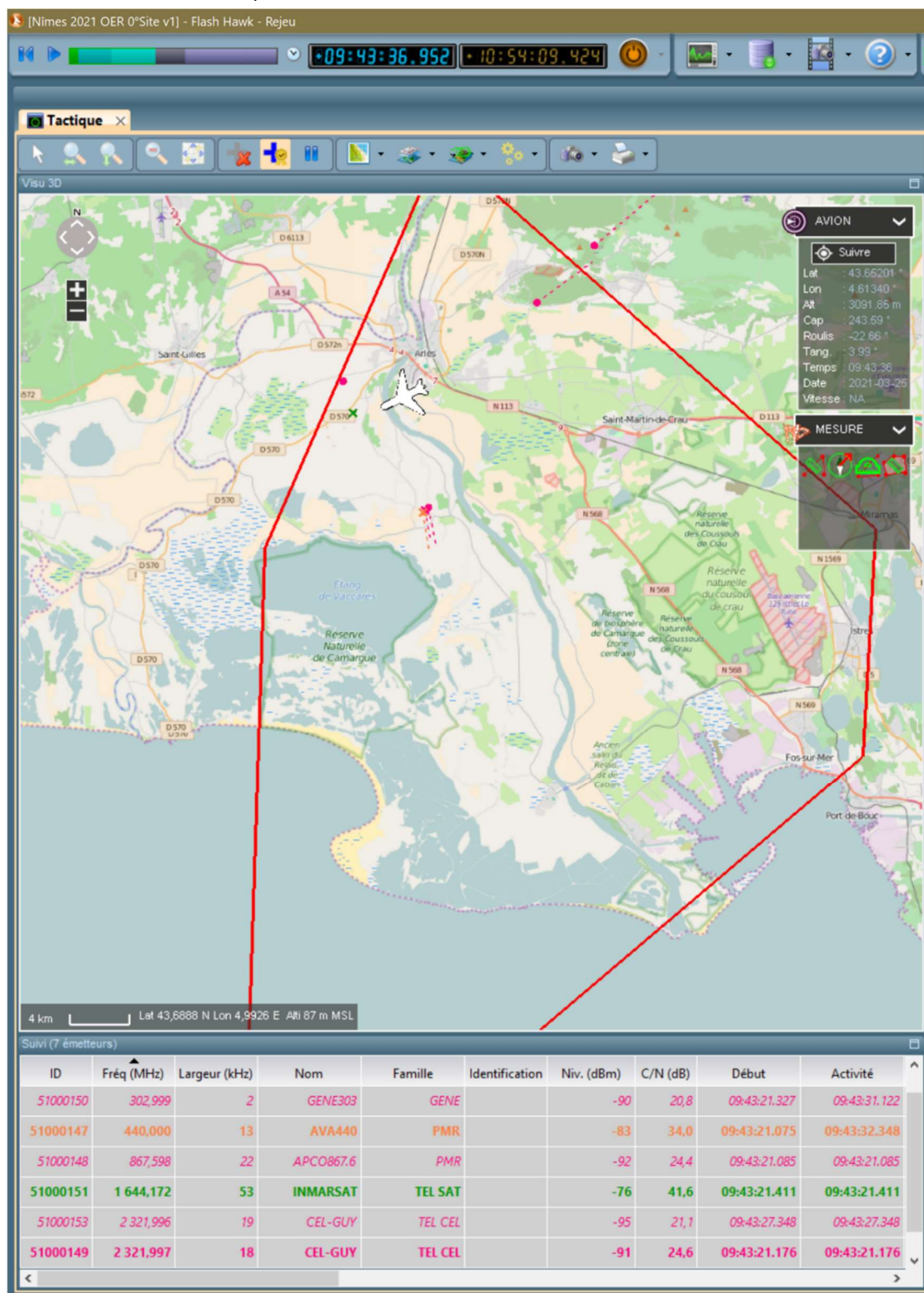


Fig.155 – Suivi de véhicule - démarrage

A 9h46, localisation du véhicule **Avantix** sur la route.

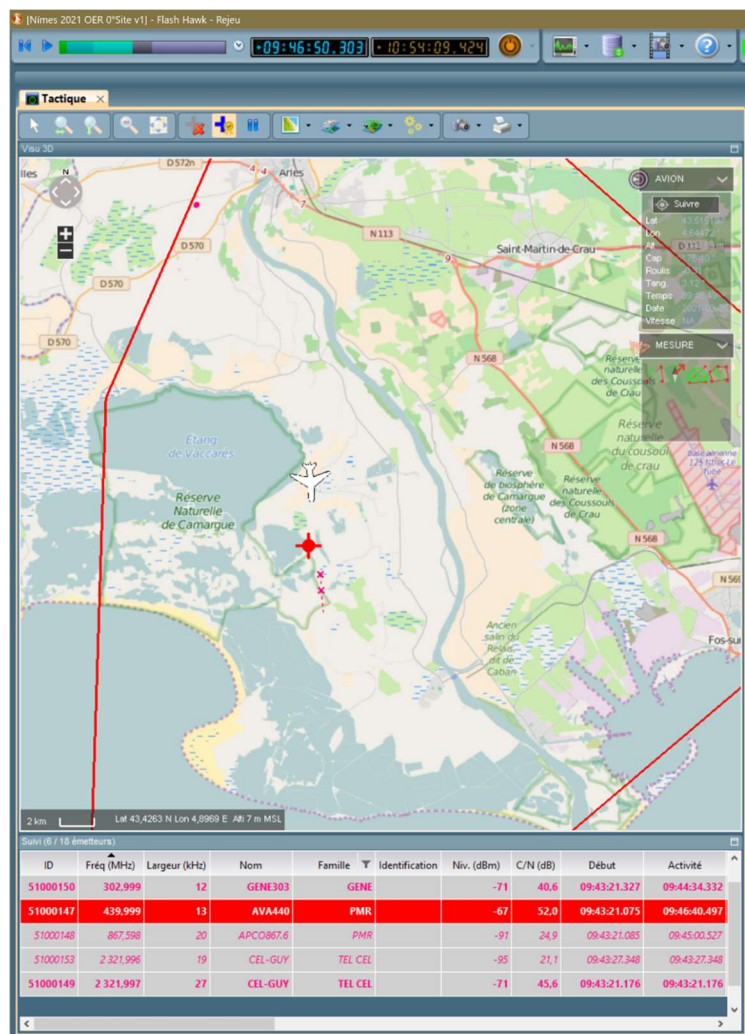


Fig.156 – Suivi de véhicule – localisation du véhicule Avantix

A 9h47, localisation du véhicule **client** sur la route.

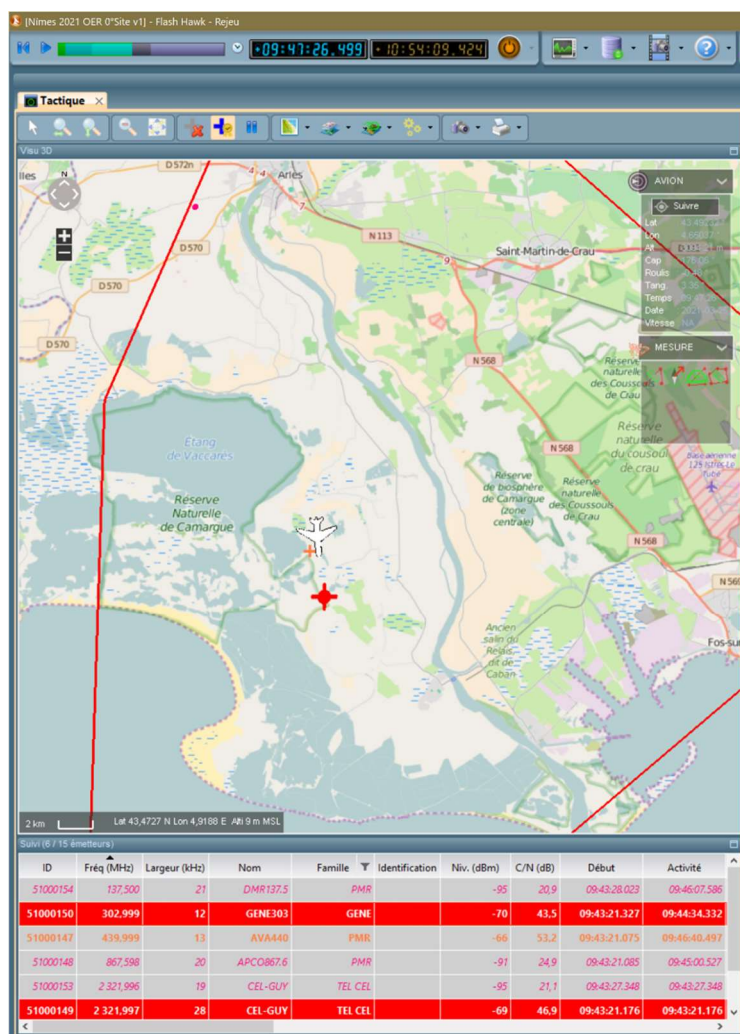


Fig.157 – Suivi de véhicule – localisation du véhicule client

A 10h03, le véhicule **client** a pris la D36 vers nord.

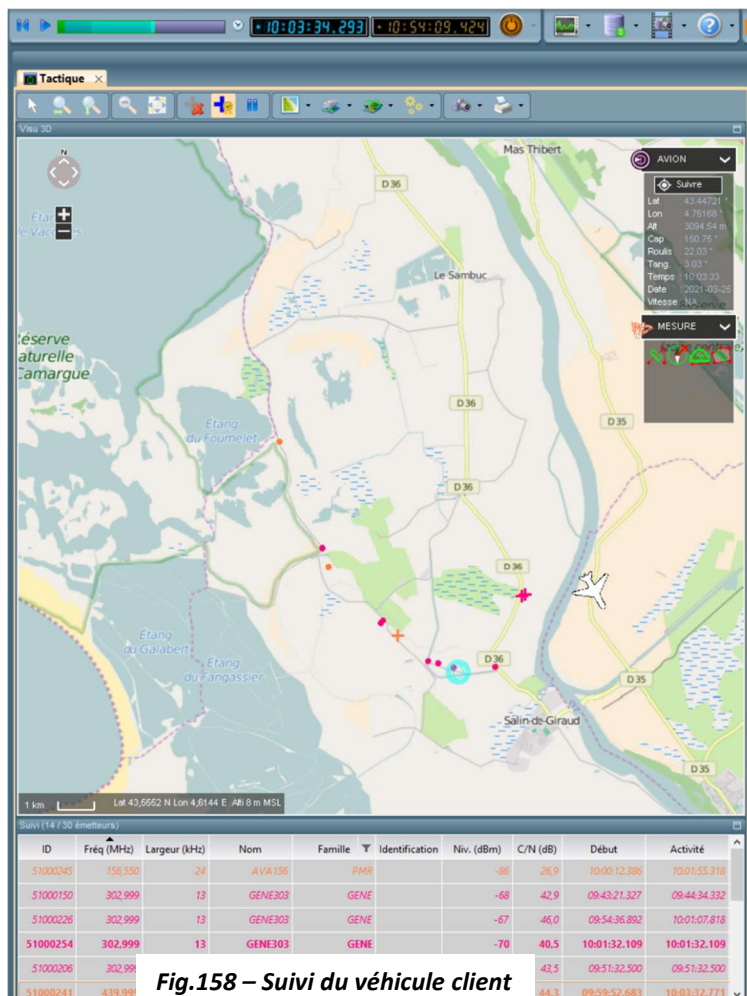


Fig.158 – Suivi du véhicule client

A 10h10, le véhicule **Avantix** en fait de même.

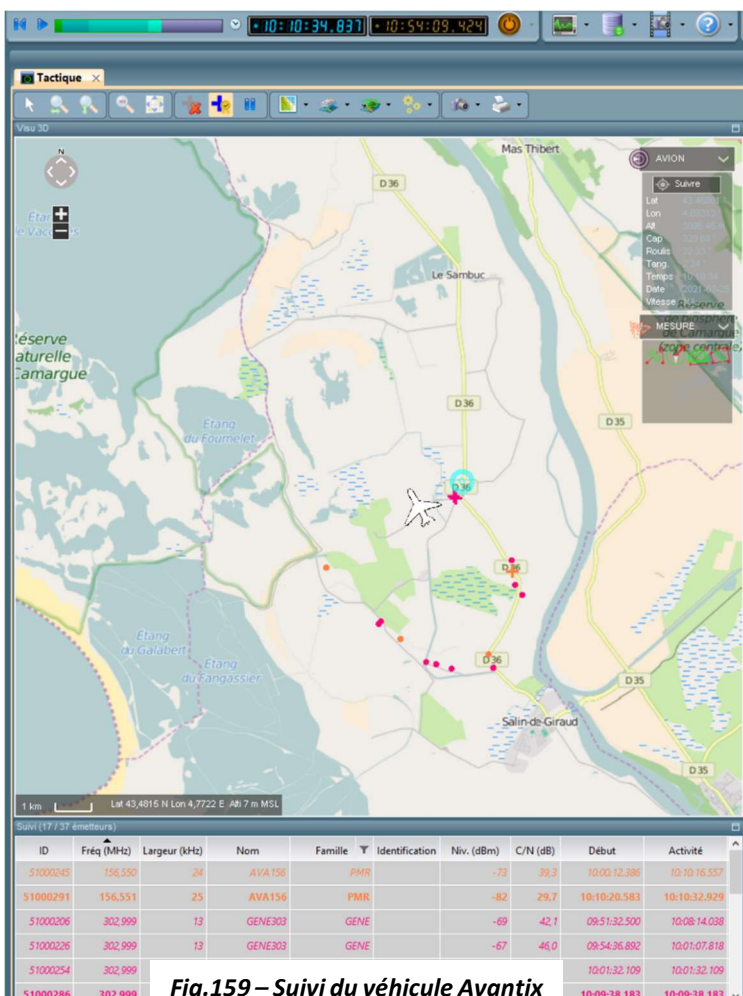


Fig.159 – Suivi du véhicule Avantix

A 10h32, le véhicule **Avantix** a continué sur la D36.

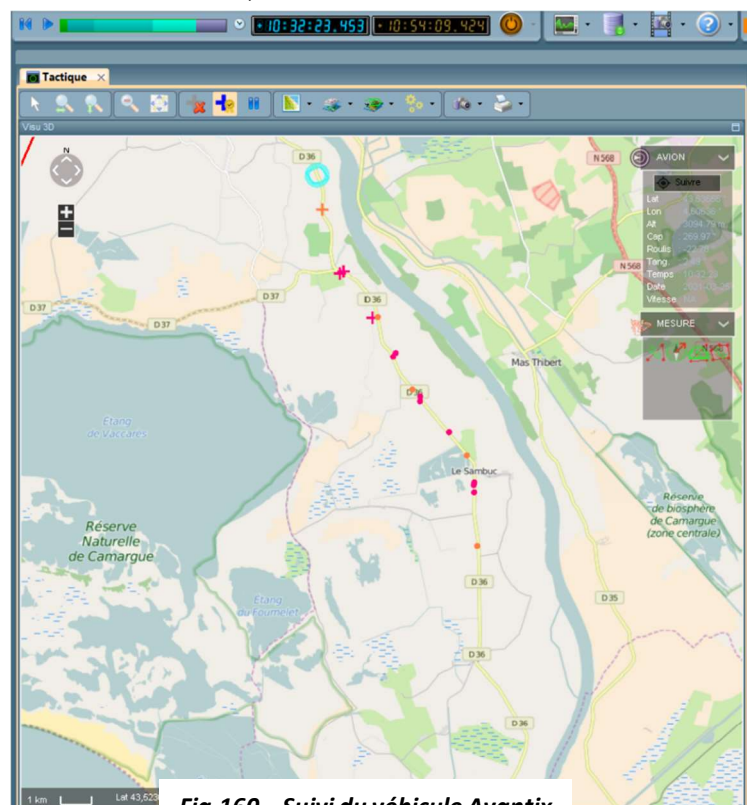


Fig.160 – Suivi du véhicule Avantix

A 10h35, le véhicule **client** a pris la D37.

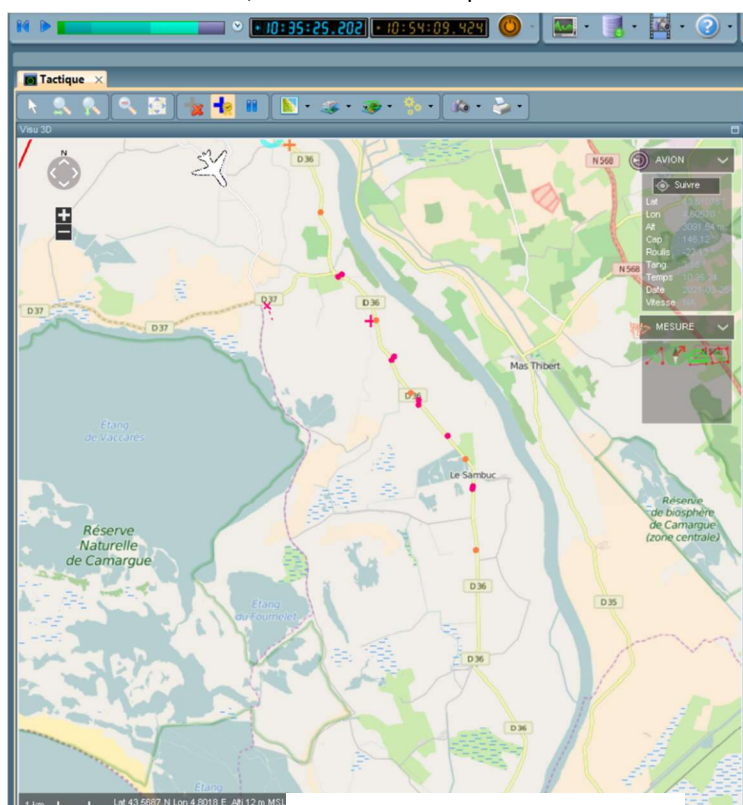


Fig.161 – Suivi du véhicule client

A 10h45, le véhicule **client** est localisé au bord de l'étang de Vaccarès.

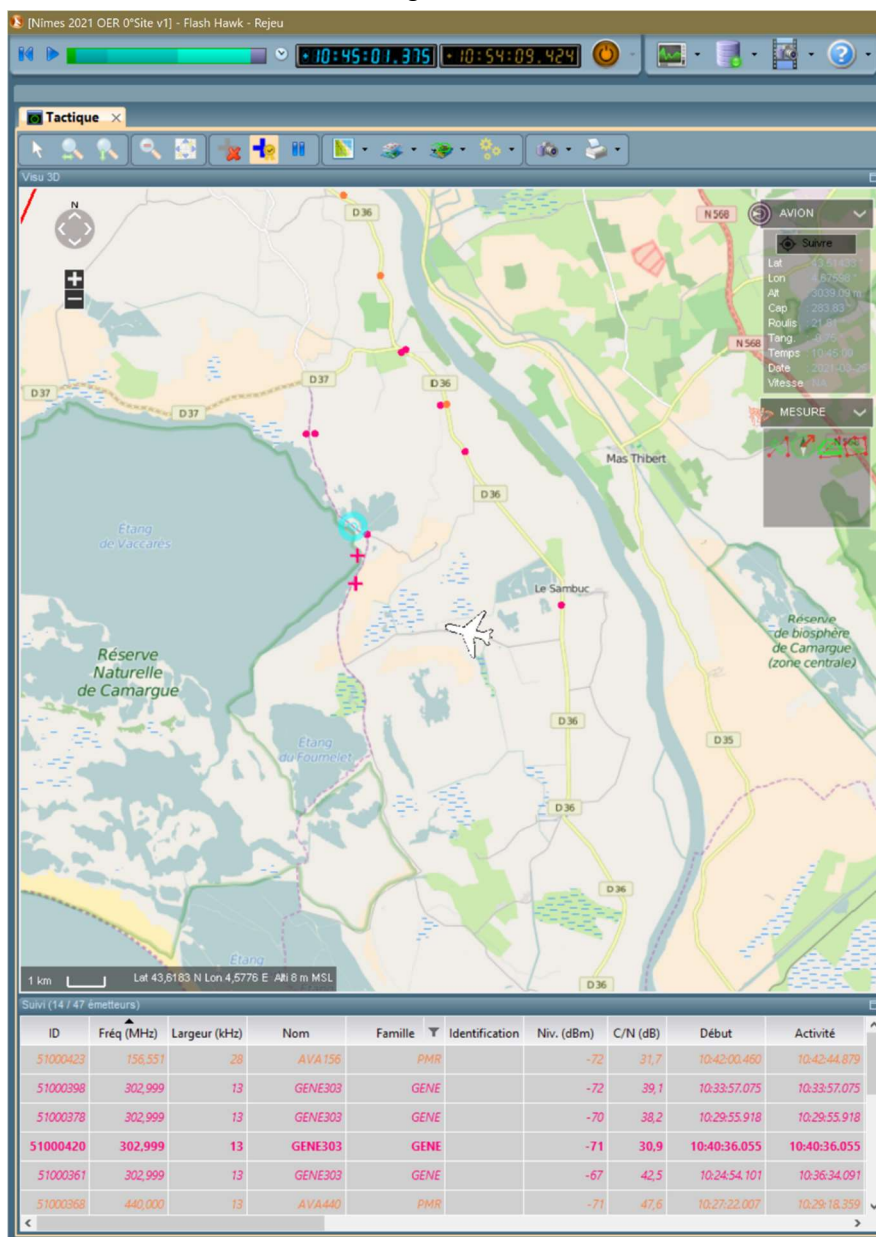


Fig.162 – Suivi du véhicule client

Cela conclut la mission de suivi de véhicules.

Le pilote commence la descente et le retour.

A 10h54, arrêt du capteur embarqué avant atterrissage.

Ensemble des positions relevées :

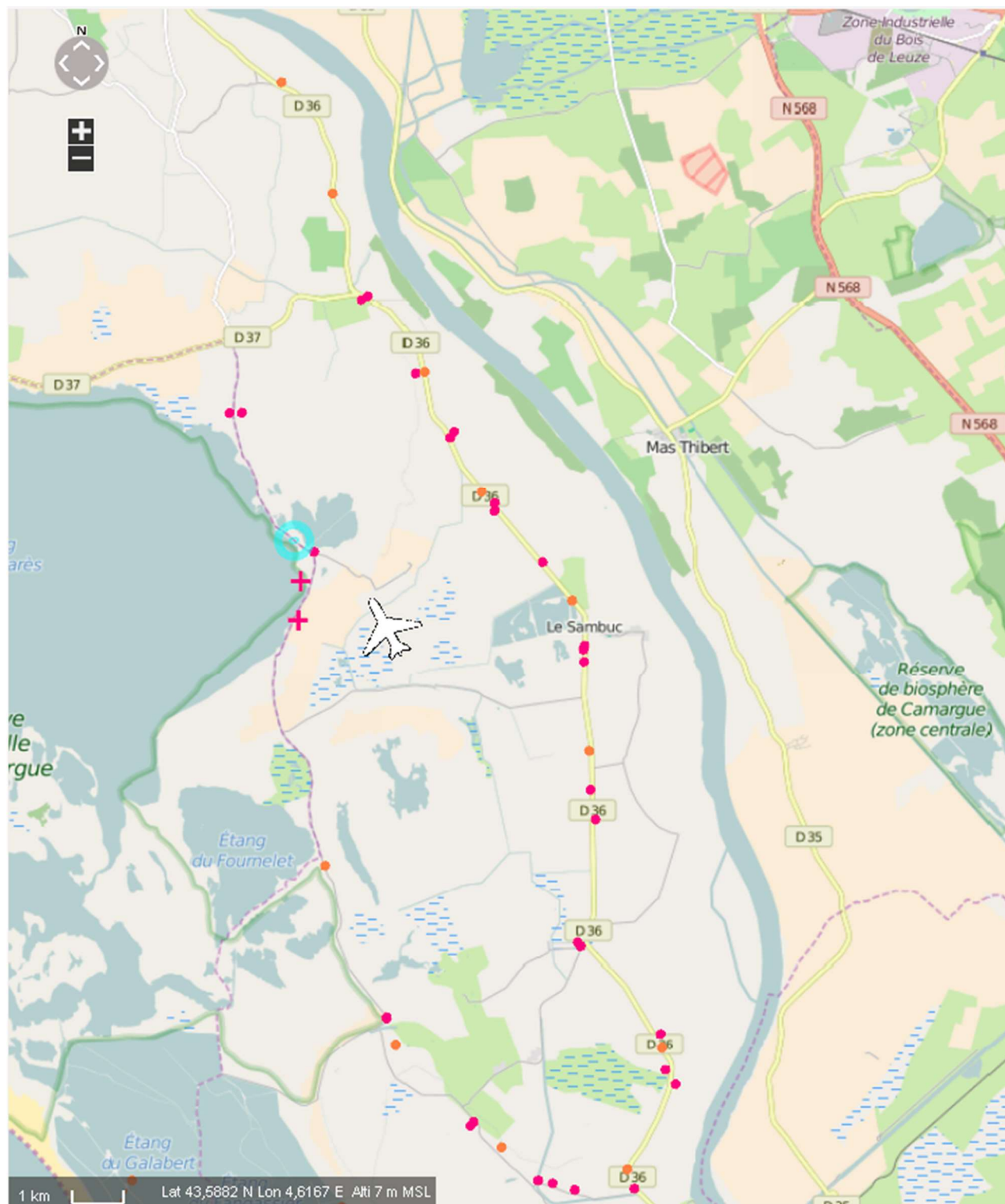


Fig.163 – Suivi des véhicules client et Avantix –
ensemble des positions relevées

Tracé de vol :

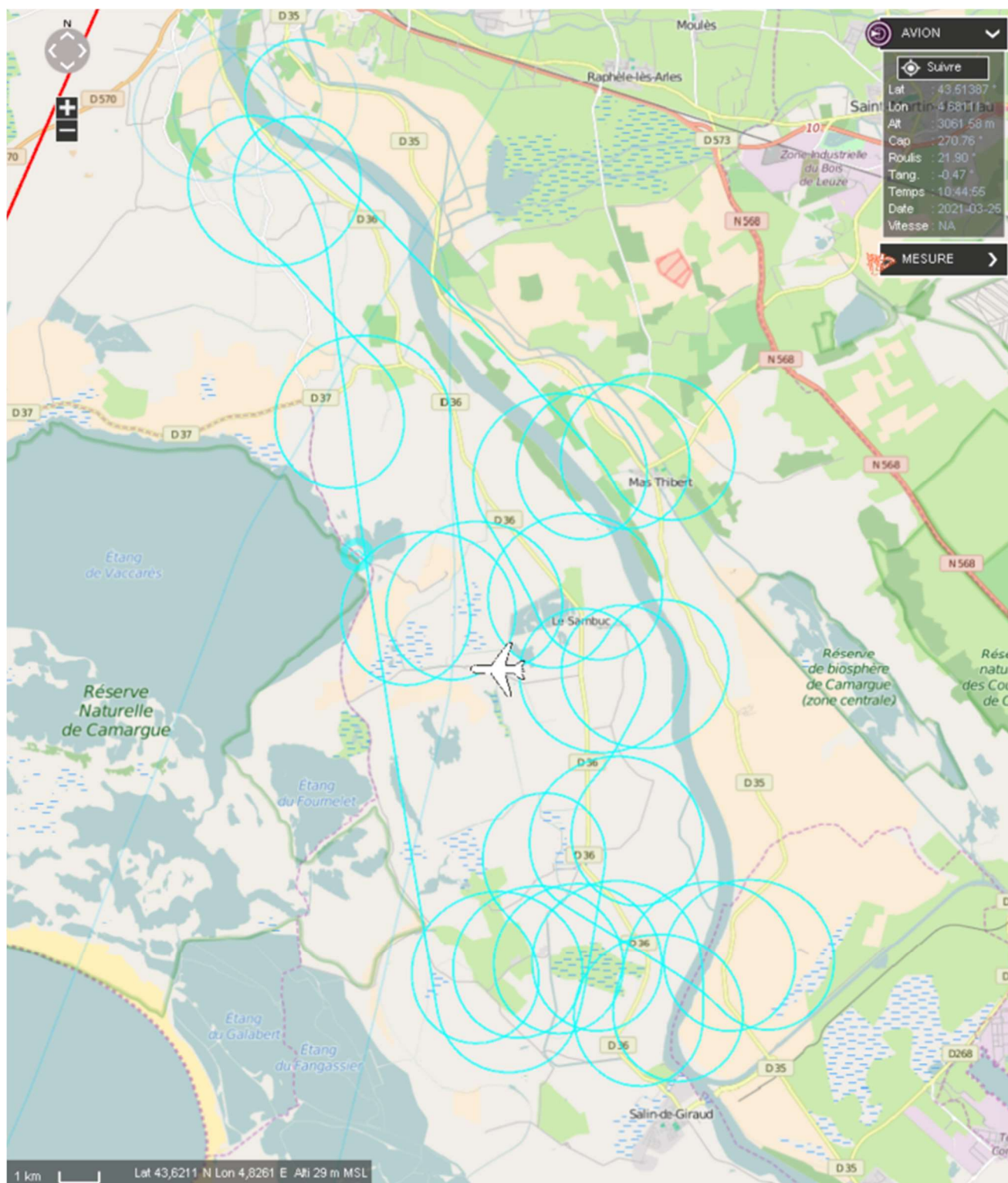


Fig.164 – Tracé du vol lors du suivi de véhicules

8.7.2.5. MESURES DE PRECISION DE SUIVI (EN REJEU)

Dans les fichiers fournis, la colonne TOW donne le nombre de secondes depuis le dimanche 21/03/2021 00:00:00. Nous y rajoutons une colonne indiquant l'heure UTC correspondante. 18s sont finalement retranchées pour une heure GPS, conformément à https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System#Timekeeping.

Les mesures sont réalisées au moment où l'état de localisation de l'émetteur passe du mode « affinage » (x) à « bon affinage » (+).

Générateur 303 MHz : 94m

Générateur 2322 MHz : 131m

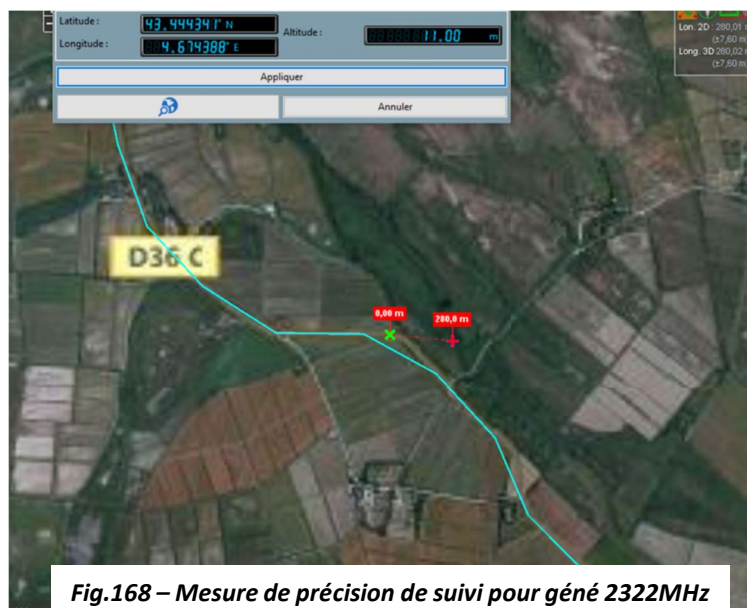
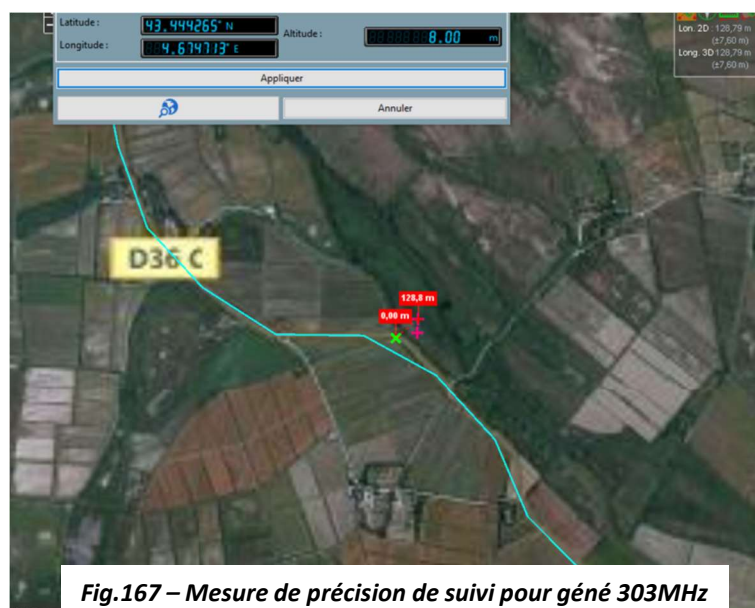
TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
377271	43,46136137	4,656103146	08:47:33	377269	43,46154094	4,655899426	08:47:31



Générateur 303 MHz : 128m

Générateur 2322 MHz : 280m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
377511	43,44428106	4,674694584	08:51:33	377509	43,44434133	4,674387772	08:51:31



Générateur 303 MHz : 325m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
377696	43,42891498	4,69453493	08:54:38	377674	43,43032336	4,691807964	08:54:16

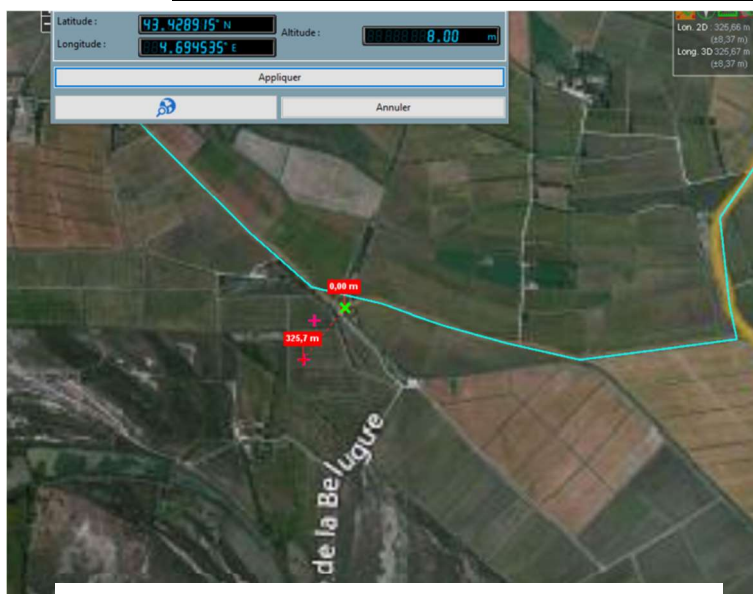


Fig.169 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

Générateur 2322 MHz : 170m

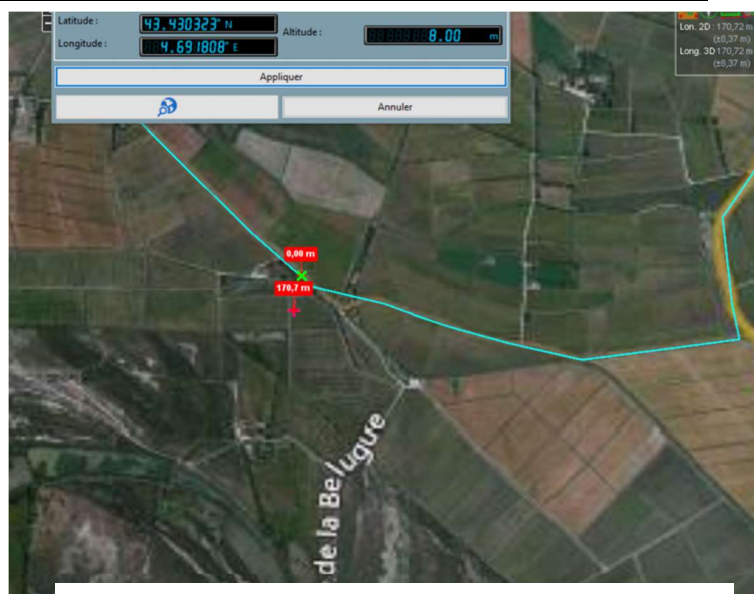


Fig.170 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 2322 MHz : 135m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
377814	43,4286045	4,698599358	08:56:36	377957	43,42718471	4,714686165	08:58:59

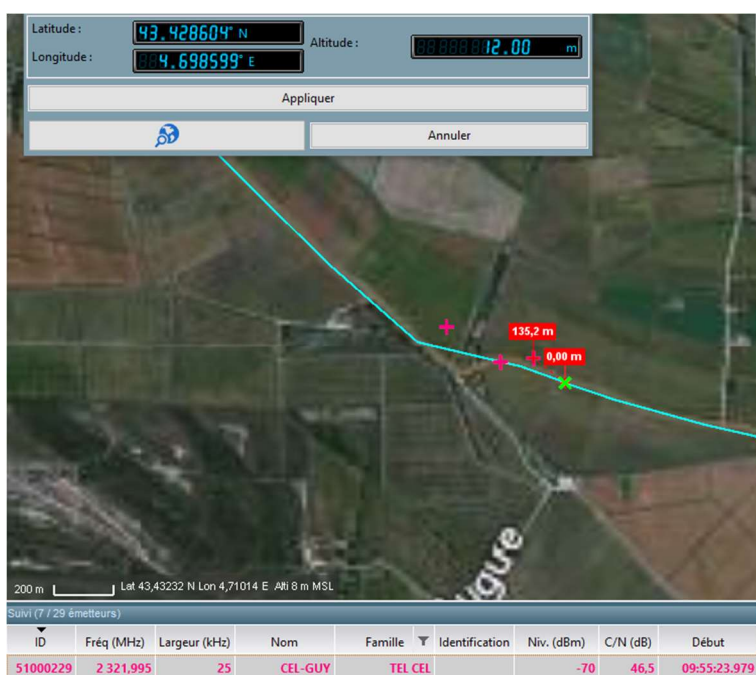


Fig.171 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 2322 : 169m

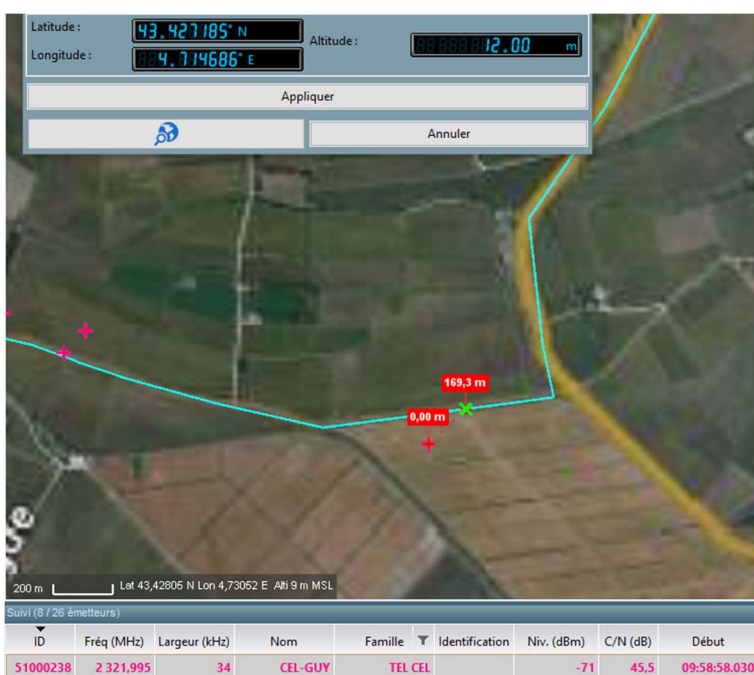


Fig.172 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 158m

Générateur 2322 MHz : 256m

TOW	Latitude	Longitude	heure
378110	43,44037403	4,723429965	09:01:32

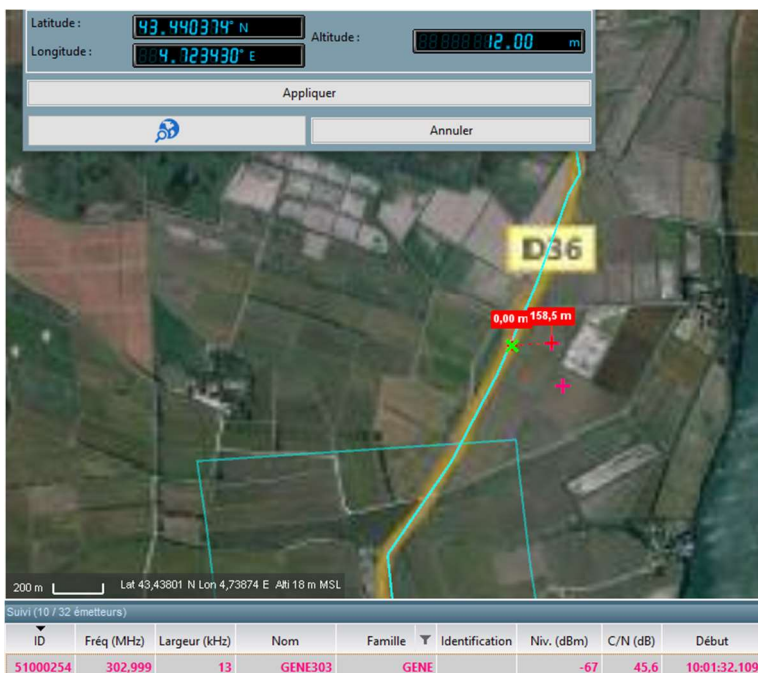


Fig.173 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

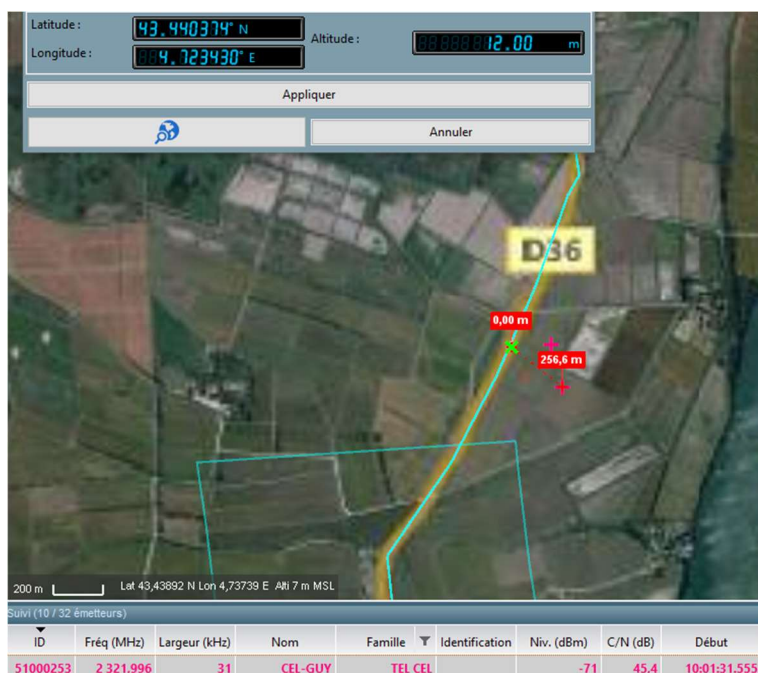


Fig.174 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 2322 MHz : 270m

TOW	Latitude	Longitude	heure
378458	43,45351812	4,723573366	09:07:20

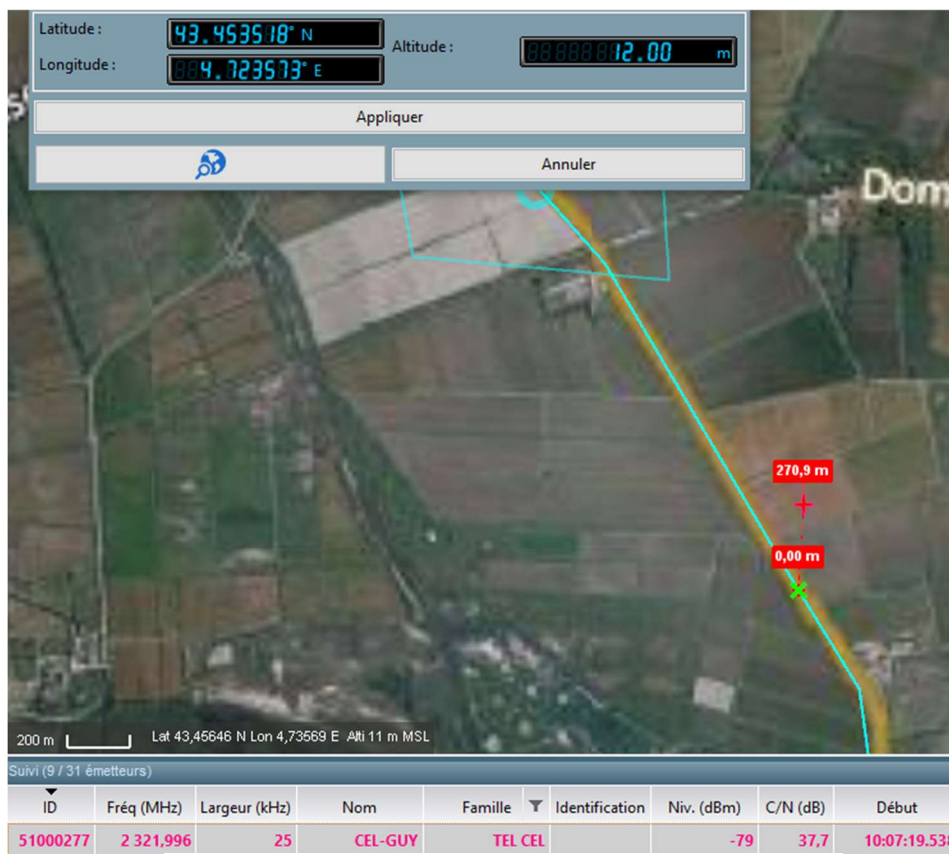


Fig.175 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 212m

Générateur 2322 MHz : 13m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
378600	43,46712959	4,71057644	09:09:42	378604	43,46747249	4,710136654	09:09:46

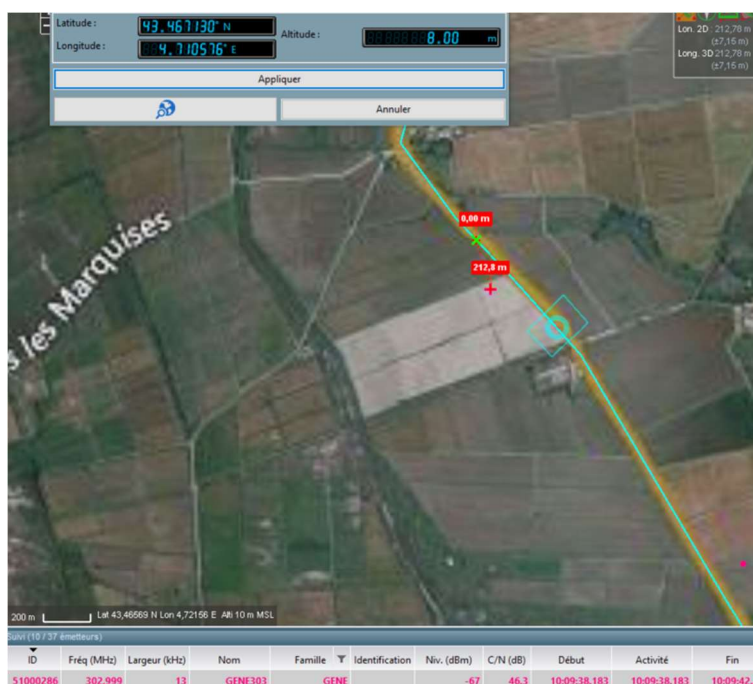


Fig.176 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

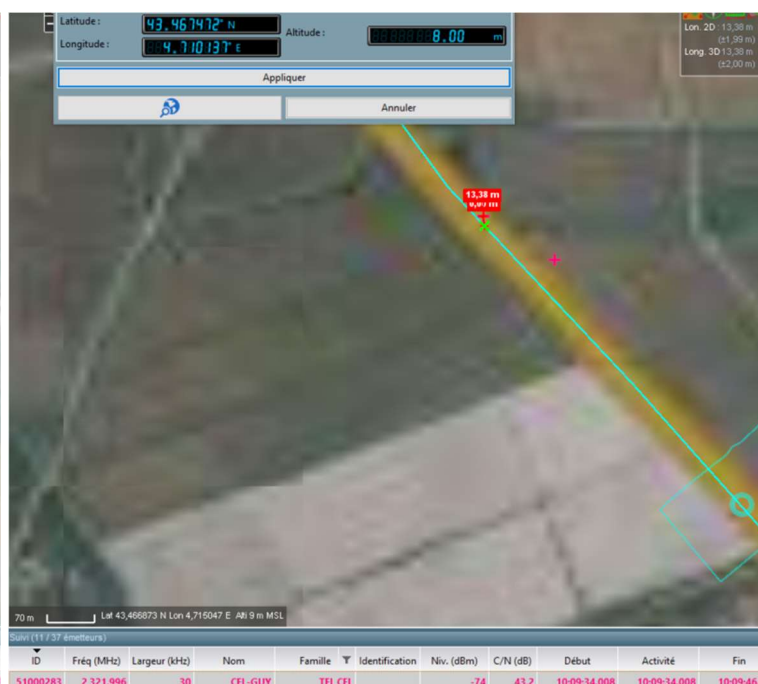


Fig.177 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 265m

Générateur 2322 MHz : 256m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
378777	43,48667878	4,708139217	09:12:39	378730	43,48115408	4,708261404	09:11:52

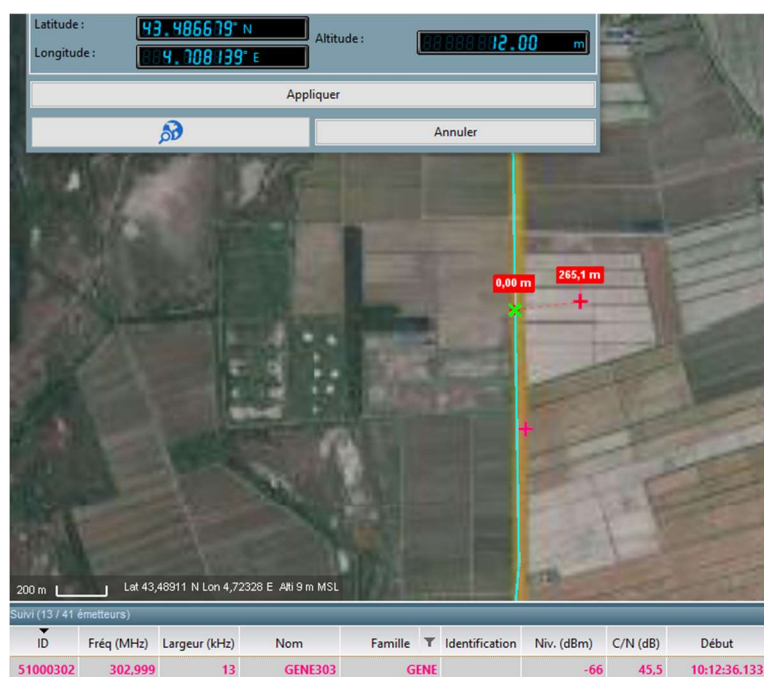


Fig.178 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

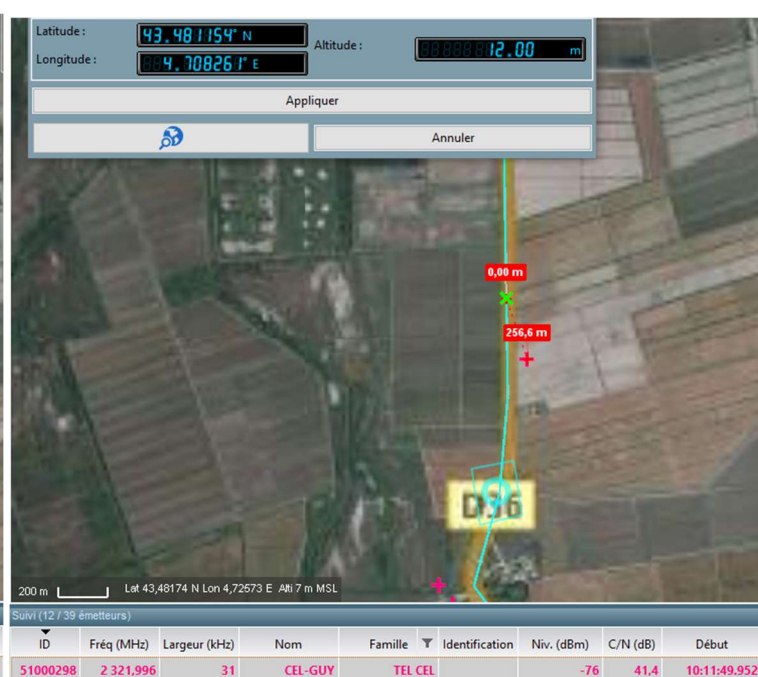


Fig.179 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 2322 MHz : 242m

TOW	Latitude	Longitude	heure
378914	43,50278756	4,707822814	09:14:56

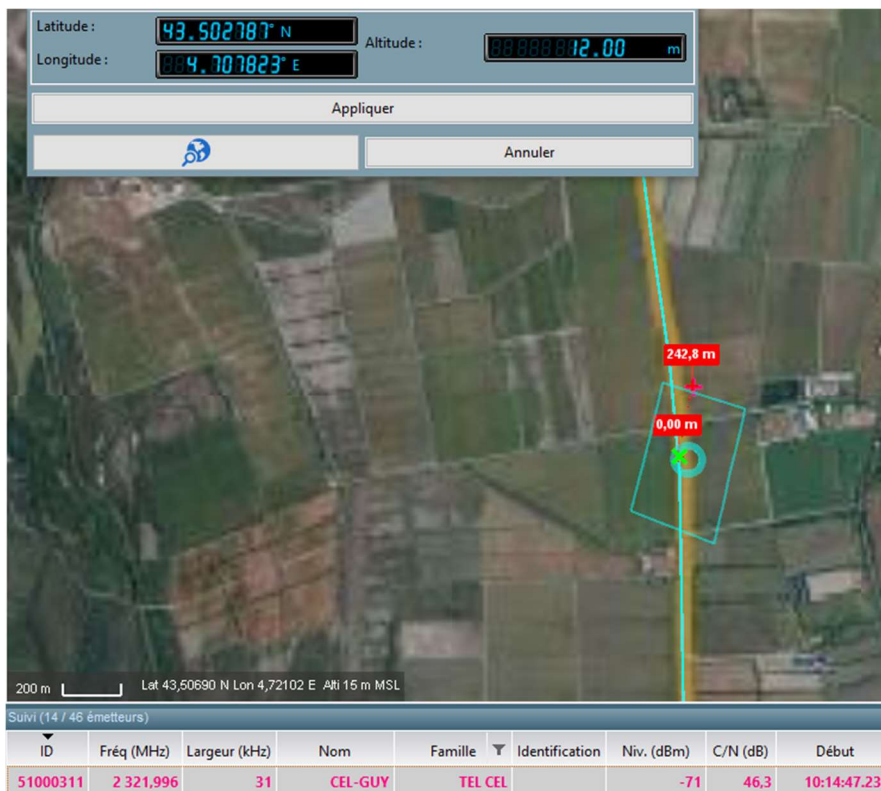


Fig.180 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 279m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
379027	43,51595616	4,706133556	09:16:49	379009	43,51384566	4,706072816	09:16:31

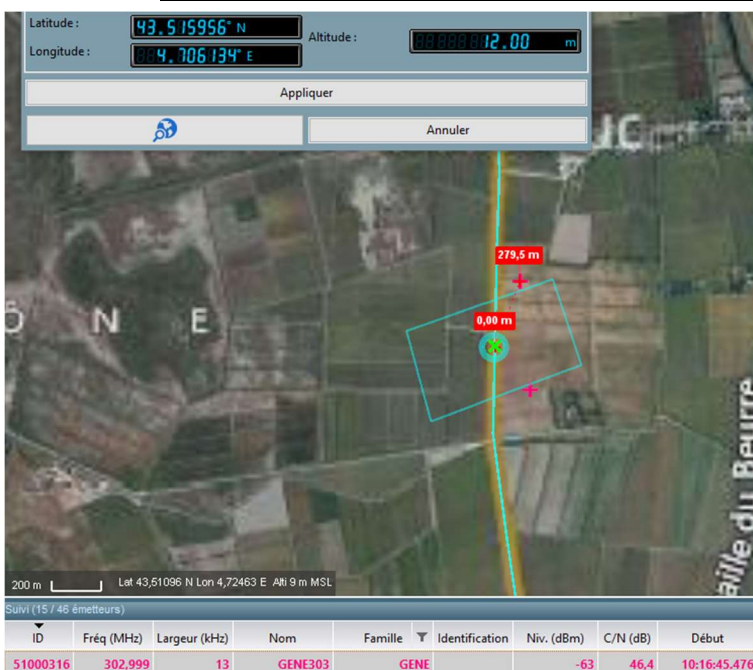


Fig.181 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

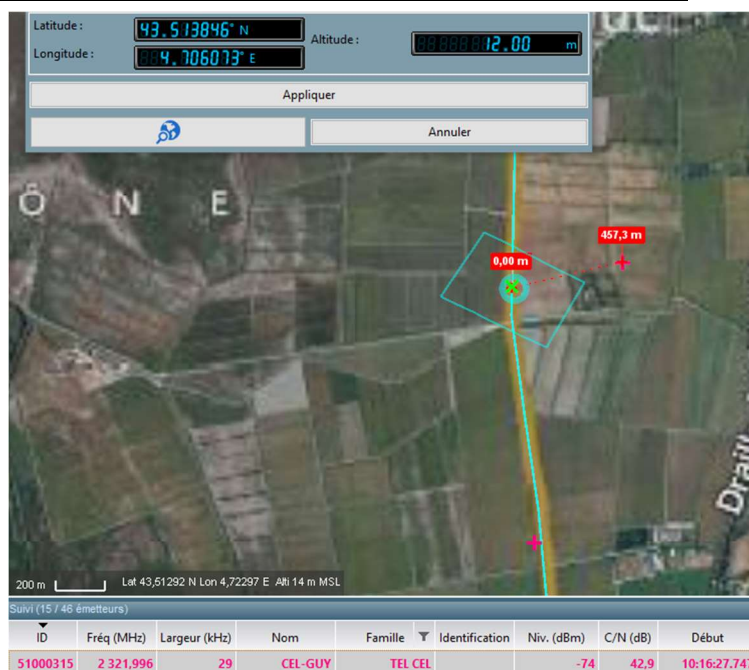


Fig.182 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 2322 MHz : 148m

TOW	Latitude	Longitude	heure
379214	43,53007792	4,702357671	09:19:56



Fig.183 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 364m

Générateur 2322 MHz : 228m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
379279	43,53594251	4,695582939	09:21:01	379358	43,54304563	4,68738673	09:22:20

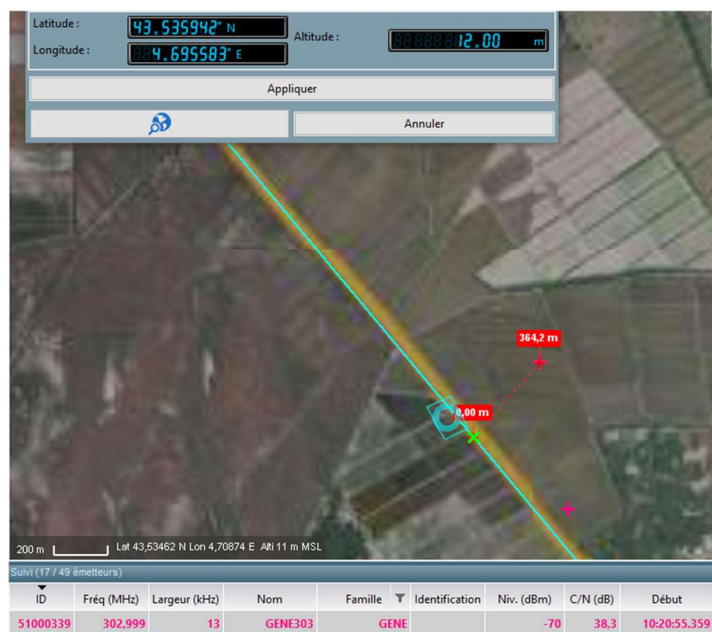


Fig.184 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz



Fig.185 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 397m

Générateur 2322 MHz : 56m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
379515	43,55725312	4,673916038	09:24:57	379508	43,55722964	4,673931932	09:24:50

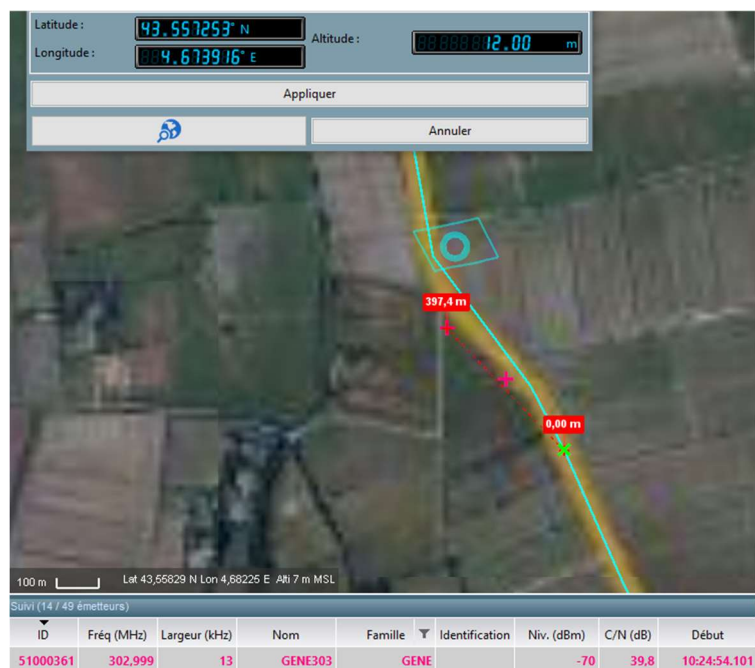


Fig.186 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

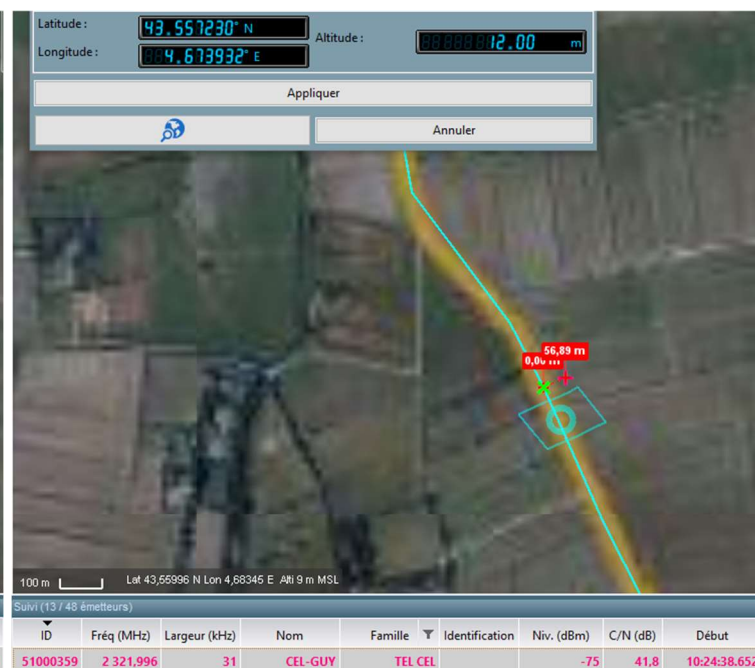


Fig.187 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 2322 MHz : 60m

TOW	Latitude	Longitude	heure
379687	43,5644598	4,66932958	09:27:49

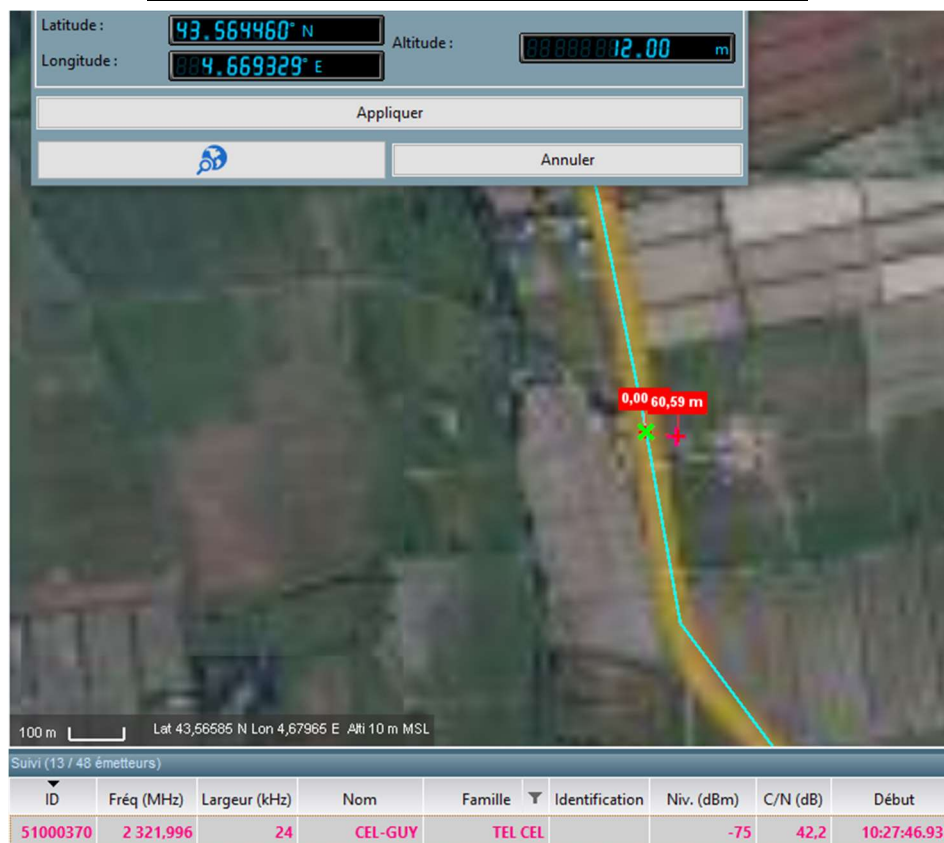


Fig.188 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 246m

Générateur 2322 MHz : 228m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
379841	43,57958911	4,657770257	09:30:23	379838	43,57940876	4,658182089	09:30:20



Fig.189 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz



Fig.190 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 20m

Générateur 2322 MHz : 85m

TOW	Latitude	Longitude	heure
380175	43,56952067	4,624752842	09:35:57

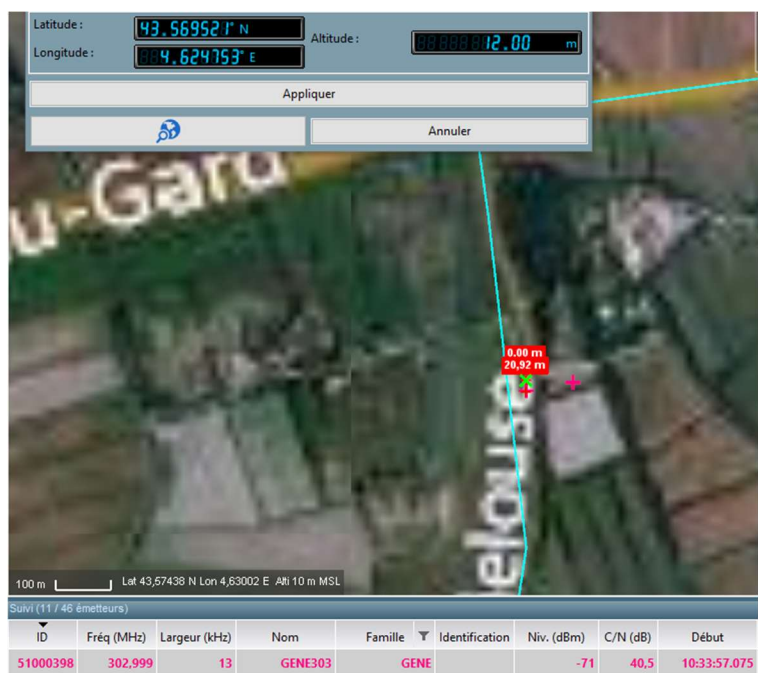


Fig.191 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

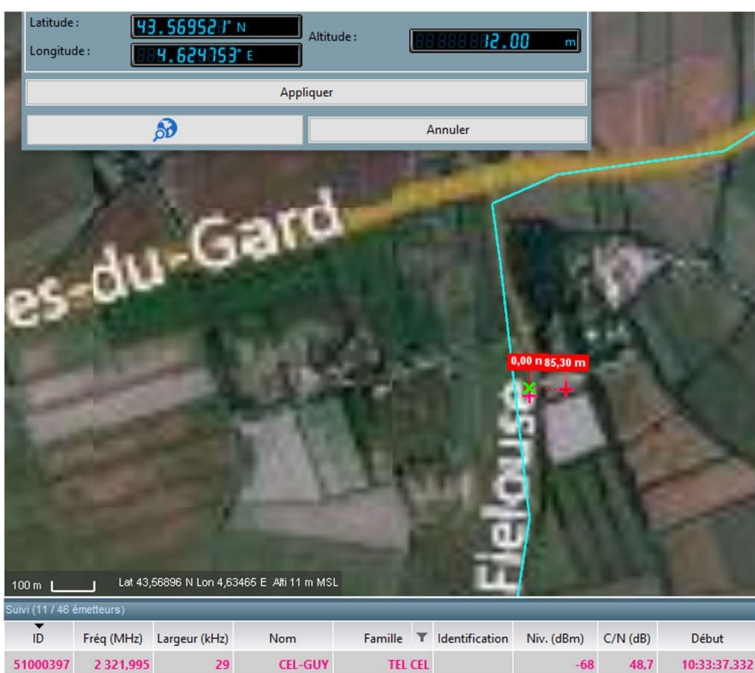


Fig.192 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 388m

Générateur 2322 MHz : 164m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
380472	43,53867297	4,639401466	09:40:54	380378	43,5468945	4,629819732	09:39:20

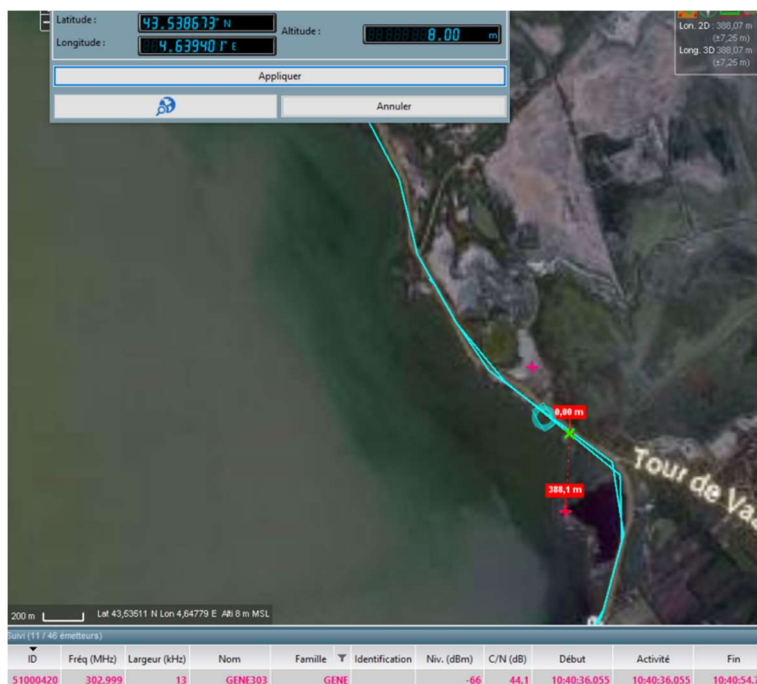


Fig.193 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

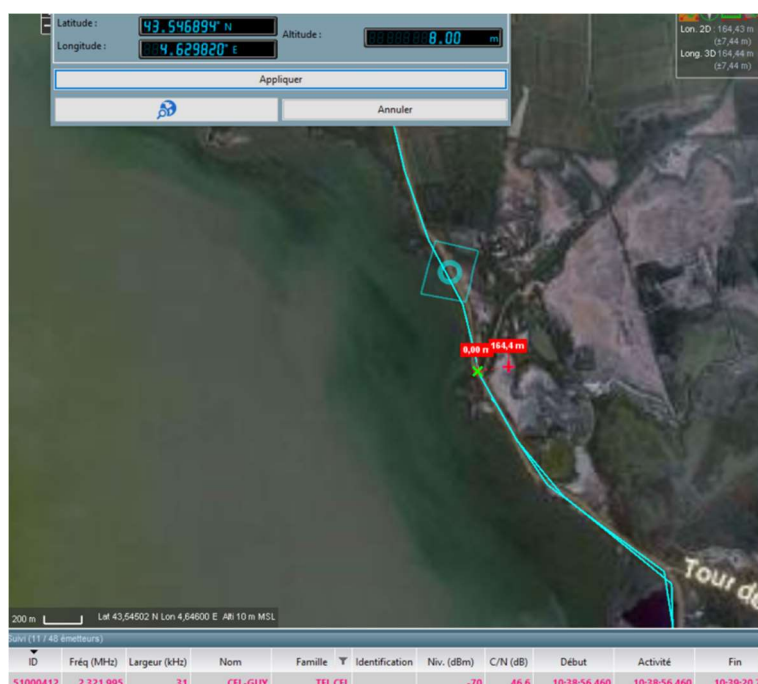


Fig.194 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

Générateur 303 MHz : 195m

Générateur 2322 Mhz : 211m

TOW	Latitude	Longitude	heure	TOW	Latitude	Longitude	heure
380727	43,5180016	4,633505235	09:45:09	380582	43,52832232	4,639674829	09:42:44

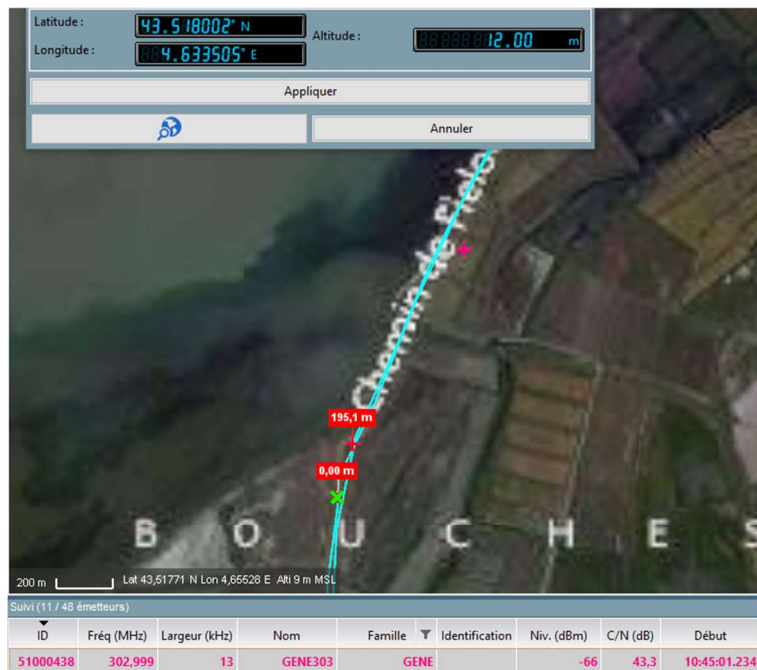


Fig.195 – Mesure de précision de suivi pour géné 303MHz

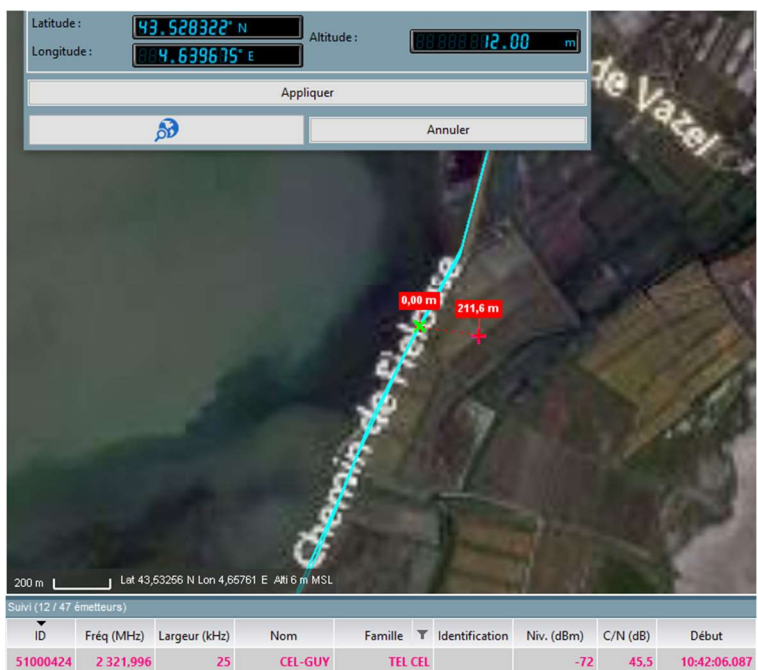


Fig.196 – Mesure de précision de suivi pour géné 2322MHz

8.7.2.6. UTILISATION DE LA BOULE OPTRONIQUE

Afin de vérifier la cohérence entre la localisation et l'identification via la boule optique celle-ci a été utilisée durant un des vols (type « chasse au renard ») et au regard de la précision de la localisation fournie par FH, l'identification optique (Westcam MX10) est immédiate.

A 10h23, véhicule **client** suivi en mouvement sur la D36.

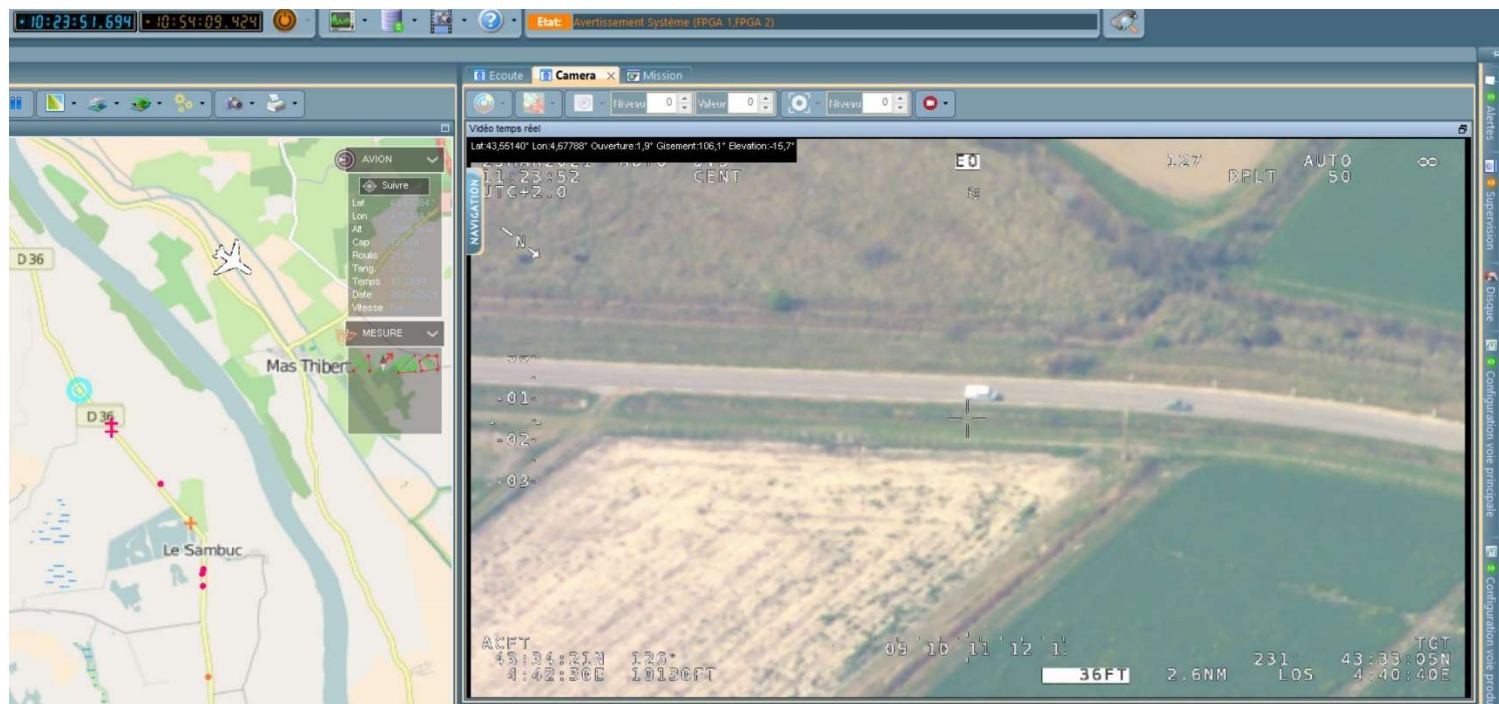


Fig.197 – Suivi véhicule client, visualisation avec boule optronique

A 10h25, véhicule **client** à l'arrêt sur la D36.

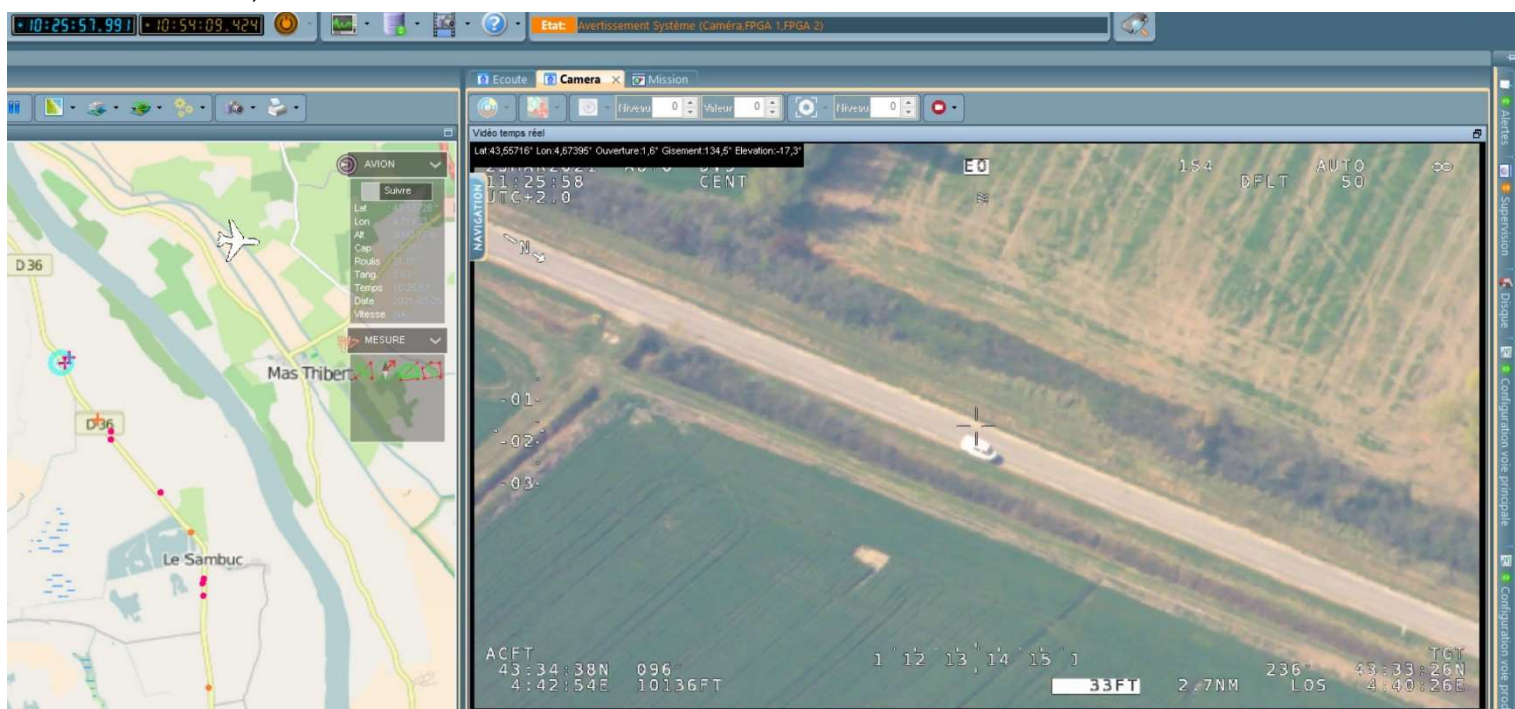


Fig.198 – Suivi véhicule client, visualisation avec boule optronique

A 10h40, le véhicule **client** suivi en mouvement sur la route de l'étang de Vaccarès.

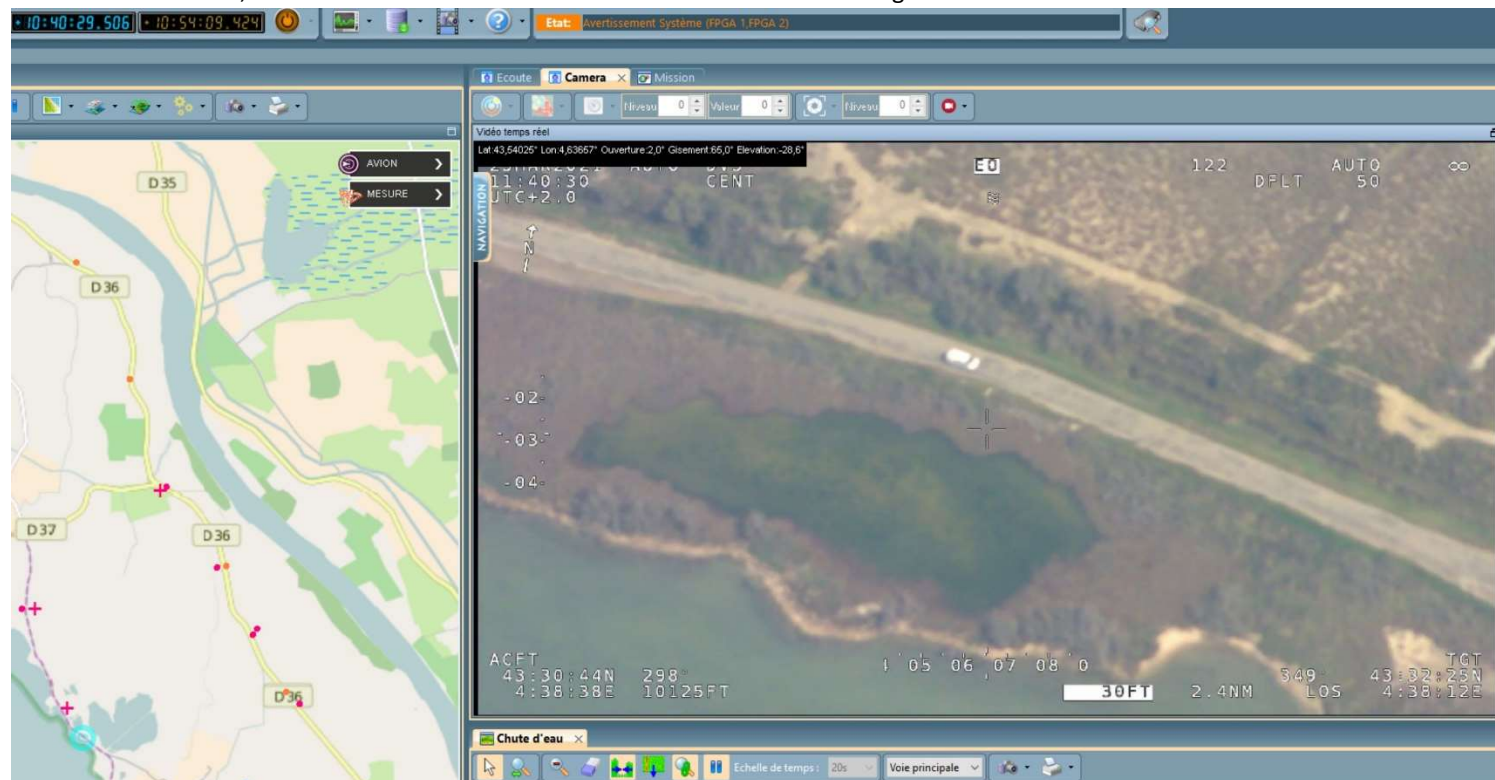


Fig.199 – Suivi véhicule client, visualisation avec boule optronique

Deuxième extrait de ce suivi en mouvement du véhicule **client**.

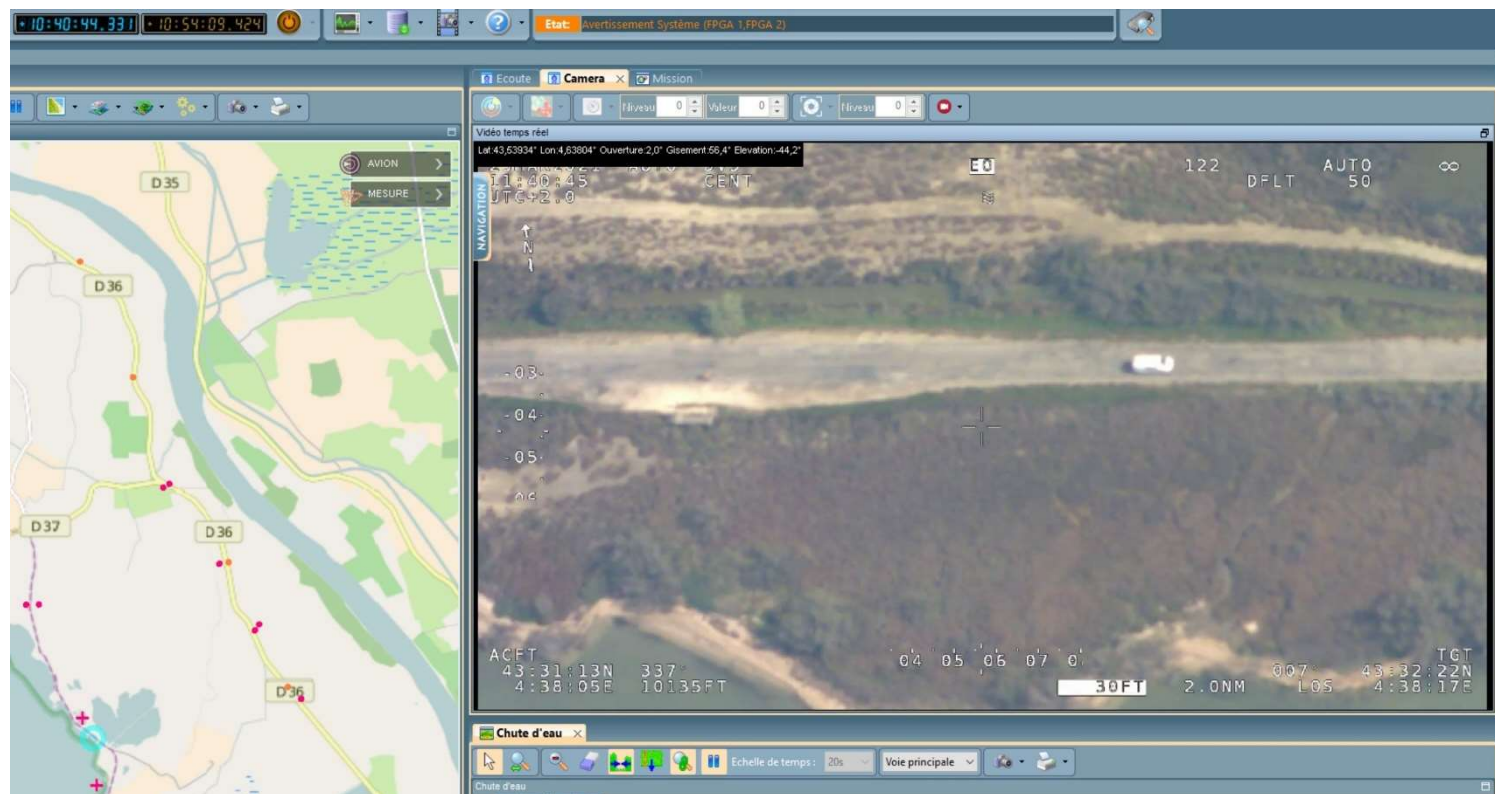


Fig.200 – Suivi véhicule client, visualisation avec boule optronique

A 10h31, véhicule Avantix en mouvement sur la D36.

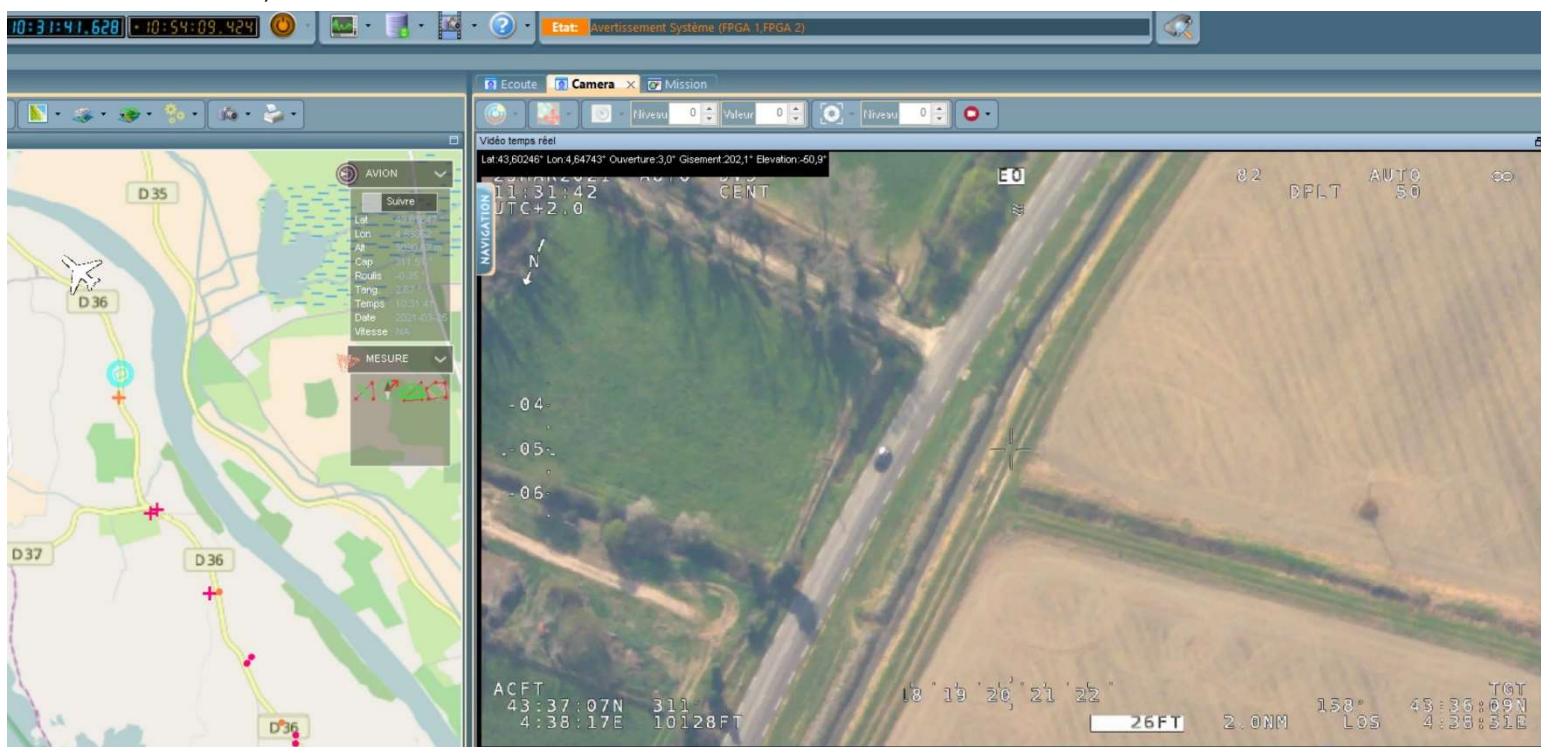


Fig.201 – Suivi véhicule Avantix, visualisation avec boule optronique

A 10h35, véhicule Avantix à l'arrêt sur la D36.

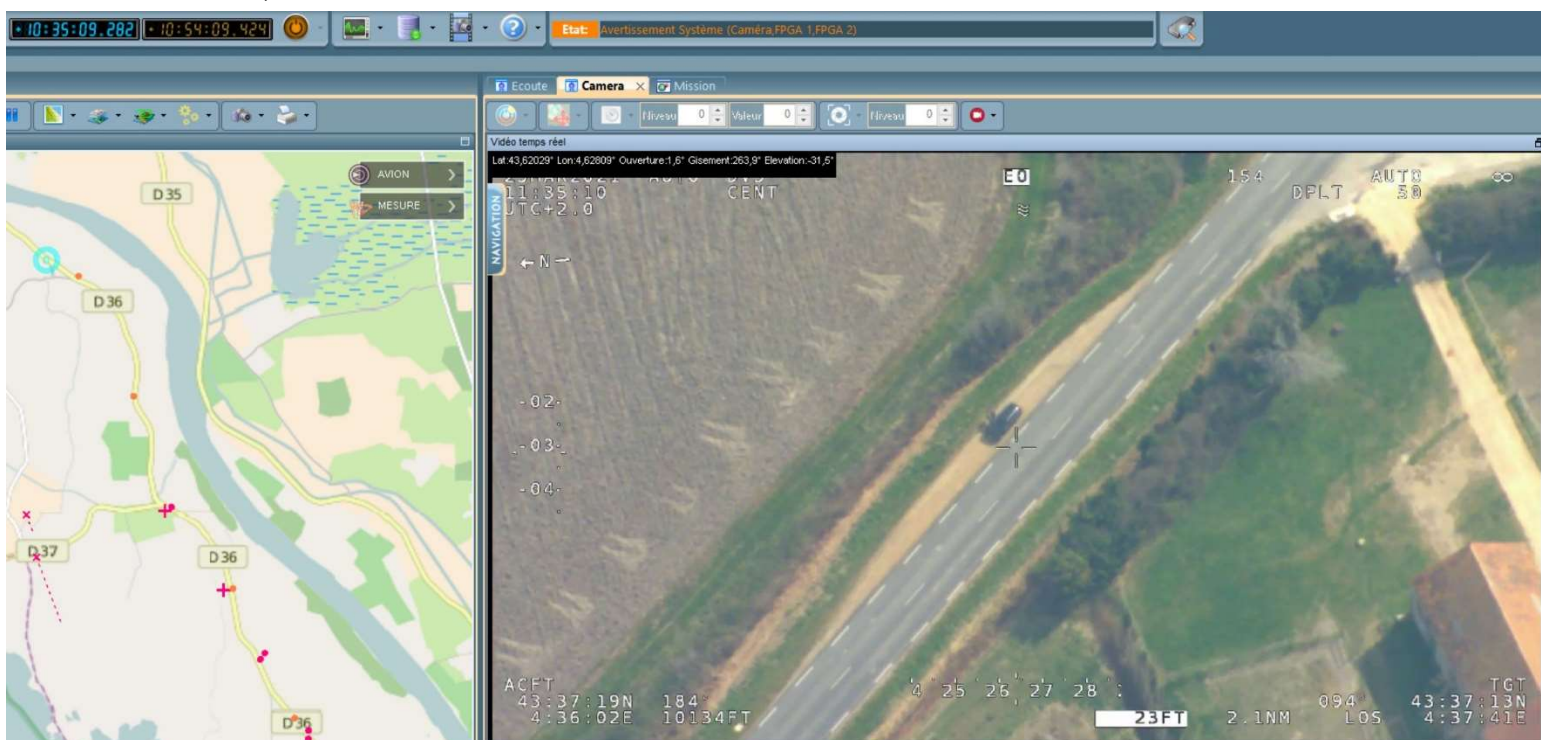


Fig.202 – Suivi véhicule Avantix, visualisation avec boule optronique

8.7.2.7. RESULTATS

Le véhicule est positionné sur le tracé fourni par le client, dès le début du suivi et tout au long.

Mesures de précision :

	Générateur 303 MHz	Générateur 2322 MHz
9h47	94 m	131 m
9h51	128 m	280 m
9h54	325 m	170 m
9h56	135 m	169 m
10h01	158 m	256 m
10h07		270 m
10h09	212 m	13 m
10h12	265 m	256 m
10h14		242 m
10h16	279 m	457 m
10h19		148 m
10h21	364 m	228 m
10h24	397 m	56 m
10h27		60 m
10h30	246 m	228 m
10h35	20 m	85 m
10h40	338 m	164 m
10h42		211 m
10h45	195 m	
Moyenne	225 m	190 m

Fig.203 – Mesures de précision des 2 générateurs sur véhicule client pendant toute la durée de la mission

8.8. VOL DE VOIES D'ÉCOUTE & DEMODULATEUR DU COMMERCE (VOLS 3 & 4)

8.8.1. PRESENTATION DES CAPACITES DE FLASHHAWK

L'antenne radio du capteur FlashHawk permet à la fois de pratiquer des mesures de radiogoniométrie et d'enregistrement des voies d'écoute (aussi appelées voies IQ).

En effet, le Réseau Antennaire permet d'obtenir

- des voies IQ dans la bande 764 MHz – 3 GHz grâce à une antenne dédiée dite BH
- des voies IQ dans la bande 30 MHz – 764 MHz grâce à la ponction de 5 antennes dites BB

Sur la voie d'écoute, le système FlashHawk permet de récupérer :

- un spectre sur une bande de 40 MHz configurable à tout moment de la mission
- jusqu'à 4 flux en parallèle, de largeur configurable de 6,25 KHz à 2 MHz
- jusqu'à 2 MHz de largeur totale des flux enregistrés sur le stockage embarqué et exploitables en rejeu, que le poste de commande soit à bord ou déporté par une liaison de données, pour une utilisation type drone,
- jusqu'à 2 MHz de largeur totale exploitable en mission à l'IHM si le poste de commande est à bord
- jusqu'à 250 kHz de largeur totale exploitable en mission à l'IHM si le poste de commande est déporté par une liaison de données 10 Mbit/s (dont 4 Mbit/s dédiés aux flux IQ), pour une utilisation type drone.

Le capteur enregistre ces données ; il est possible de démoduler ces signaux et d'écouter ce que les personnes se sont dit grâce à l'utilisation d'un logiciel tiers, de type démodulateur.

L'interface IHM de FlashHawk permet de paramétrer très facilement ces voies d'écoute comme démontré par la figure ci-dessous :

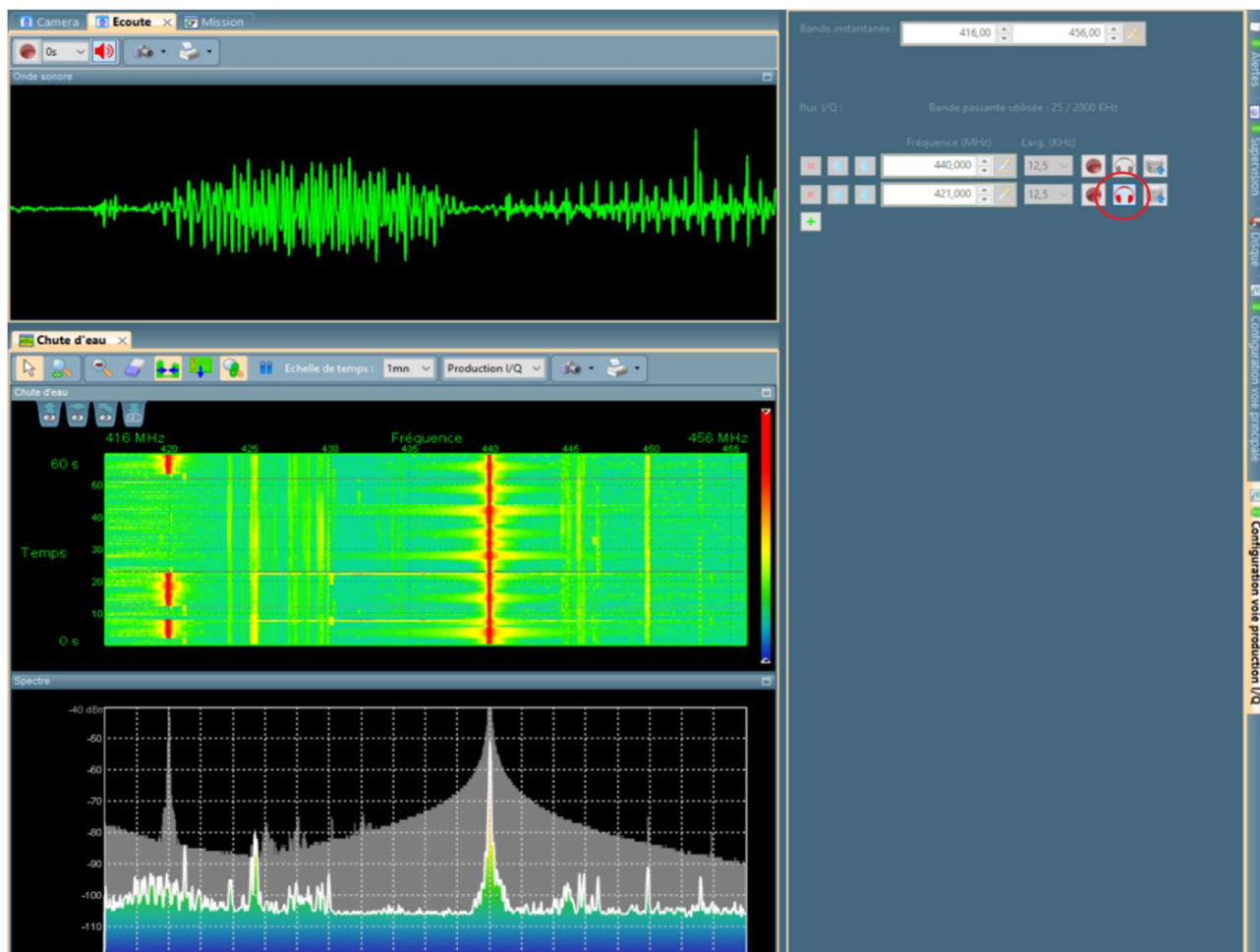


Fig.204 - IHM FlashHawk – configuration des voies d'écoute

- sur la gauche, se trouvent différentes représentations du signal (ondes sonores de la démodulation FM, ainsi que le spectre avec sa chute d'eau),

- tandis que sur la droite se trouve la définition du signal que l'opérateur a souhaité enregistrer.

Voici en exemple un zoom sur la partie paramétrage de l'IHM FlashHawk (partie droite) :



Fig.205 - Focus sur paramétrage IHM des voies d'écoute FlashHawk

La bande instantanée étant définie entre 416 et 456MHz (40MHz de bande max), 2 voies d'écoute ont été paramétrées parmi les 4 possibles :

- une à 440 MHz
- une à 421 MHz

Le bouton cerclé de rouge permet la démodulation et l'écoute du signal FM enregistré. Si le signal est modulé dans une modulation autre que la FM alors FlashHawk ne permet pas directement cette écoute. Pour ces modulations (AM ou complexes), il convient d'utiliser un logiciel dédié.

Il convient aussi de noter les 3 fonctions permises par l'IHM et illustrées par 3 boutons dans le cercle bleu foncé de la figure précédente :

- enregistrer le flux IQ
- écouter le flux IQ (mode FM uniquement)
- transférer le flux IQ sous un format compatible avec logiciel dédié

La figure ci-dessous illustre la visualisation du spectre instantané de 120 à 160 MHz dans lequel on peut identifier les différents flux d'après le niveau perçu.

Le flux centré en 137,5 MHz et de largeur 12,5 KHz est programmé dans l'interface.

Le bouton permettant de produire cet enregistrement du flux est quant à lui cerclé de rouge sur la figure qui suit.

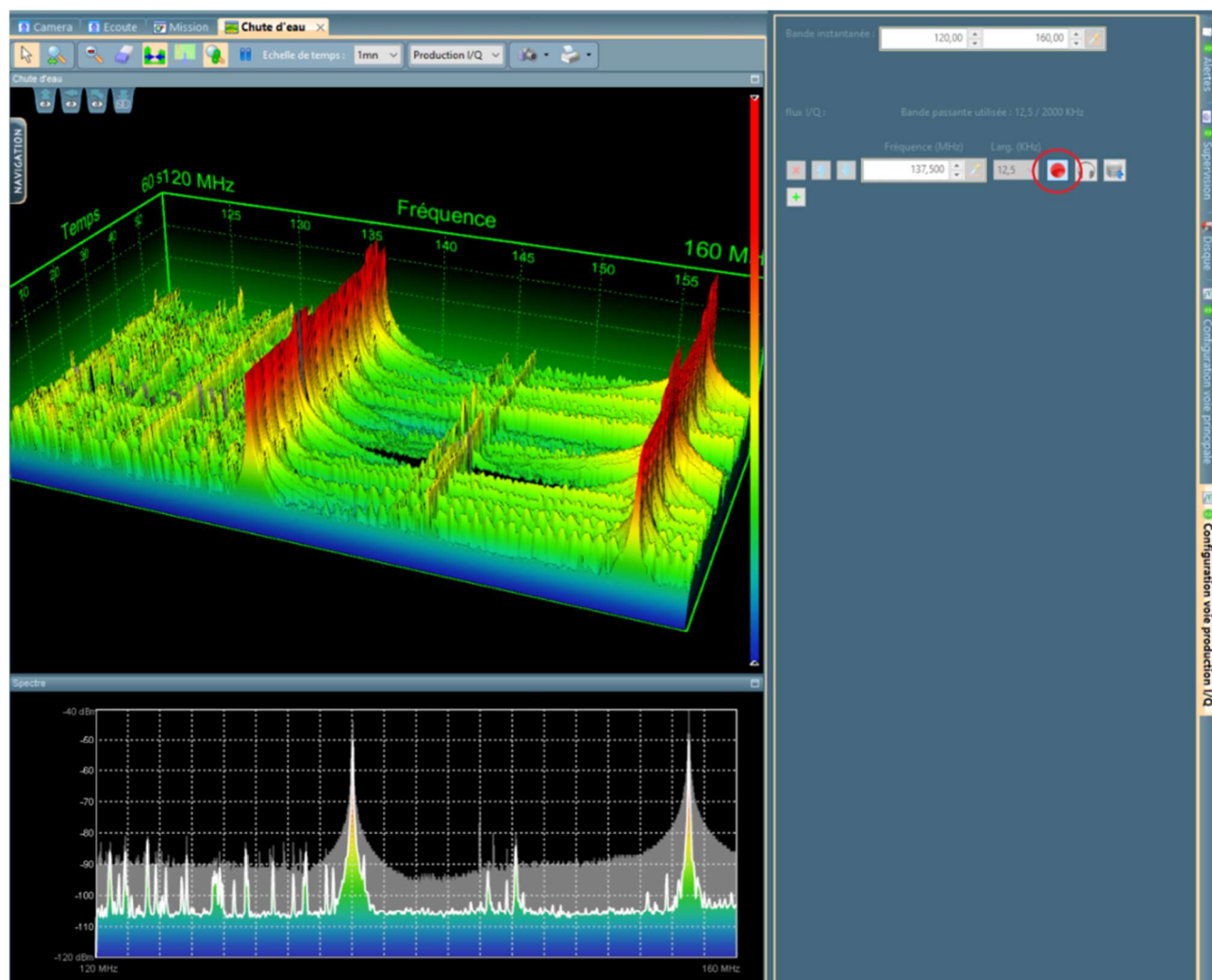


Fig.206 – IHM FlashHawk – Spectre instantané

8.8.2. PRESENTATION DES DEMODULATEURS DU COMMERCE

Il existe sur le marché de nombreux logiciels de restitution spécialisés dans la démodulation de signaux à modulation plus complexe que la simple FM. Les plus connus sont : Wavecom, Decodio, Go2Decode...

Par le passé, des tests avaient été démontrés par Avantix avec le logiciel Wavecom.

Dans le cadre de cette OER du capteur FlashHawk, le choix du client s'est porté sur le logiciel DECODIO.

Il s'agit d'un produit qui se décline en plusieurs versions ; celle utilisée est DECODIO RED :

- il permet l'extraction, l'enregistrement et la démodulation (numérique ou analogique) de signaux grâce à des techniques radio purement logicielles ;
- il peut décoder environ 512 canaux en parallèle en temps réel.

Les formats que DECODIO revendique pouvoir démoduler sont les suivants :

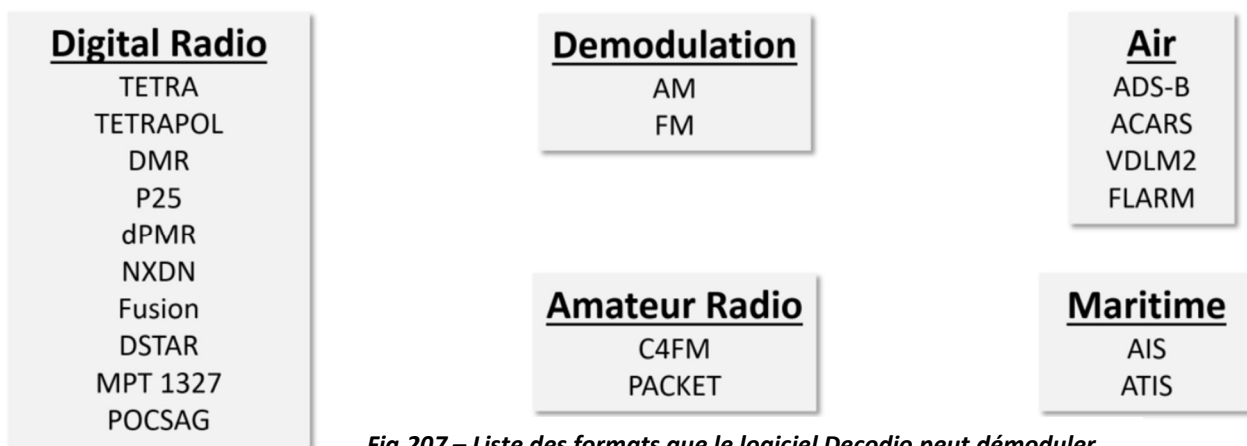


Fig.207 – Liste des formats que le logiciel Decodio peut démoduler

Ainsi, dans le cadre de l'OER, le client a proposé que soient utilisés et écoutés des émetteurs de type dPMR, DMR et APCO P25. Le scénario et les fréquences de ces émetteurs sont ainsi décrits dans les chapitres suivants.

Il est important de noter que le capteur FlashHawk peut facilement fournir des fichiers d'écoute bruts dans tous types de formats qu'Avantix met à disposition de ses clients.

8.8.3. BUT DU SCENARIO

Ce scénario permet de valider le capteur FlashHawk durant le Vol #3 de séparation spatiale, et le Vol #4 de « chasse au renard » et « suivi véhicules », pour l'enregistrement de voies d'écoute sur les émetteurs suivants :

- 137,5 MHz
- 412 et 412,5 MHz
- 420 et 421 MHz
- 867,6 MHz

Des personnes (appelées plastrons) étaient en charge de tenir en main ce matériel et d'effectuer des appels de quelques secondes en parlant dans le combiné.

Ce scénario met en œuvre des tests dont les résultats peuvent être facilement interprétés grâce à l'utilisation d'un démodulateur du commerce. L'ensemble des tests de ce scénario permet de valider l'intégralité des traitements effectués avec les hypothèses retenues :

- **moyens d'essais** : plastrons avec transmetteurs à diverses fréquences, dispersés sur 6 sites (éloignés 2 par 2 d'environ 1,8 km qui est la limite de séparabilité)
- **données de test** : données captées par FlashHawk les 24 et 25 Mars
- **pré-requis** : avoir assigné à chaque plastron son matériel et sa position, avoir défini les fréquences recherchées dans la base de données
- **liste des essais effectués** : durant toute la durée du vol 3 et du vol 4, les plastrons ont émis et ont parlé dans le transmetteur approprié qui leur a été assigné.

8.8.4. ESSAIS

Après le vol, le fichier d'écoute a été récupéré grâce à l'IHM FlashHawk sous format .wav, puis transféré à l'opérateur DGA MI, qui a procédé à la vérification des fichiers.

Les figures ci-dessous expliquent étape après étape la vérification ainsi faite.

Fig.208 - Première étape : affichage d'accueil du démodulateur du commerce (point de départ)

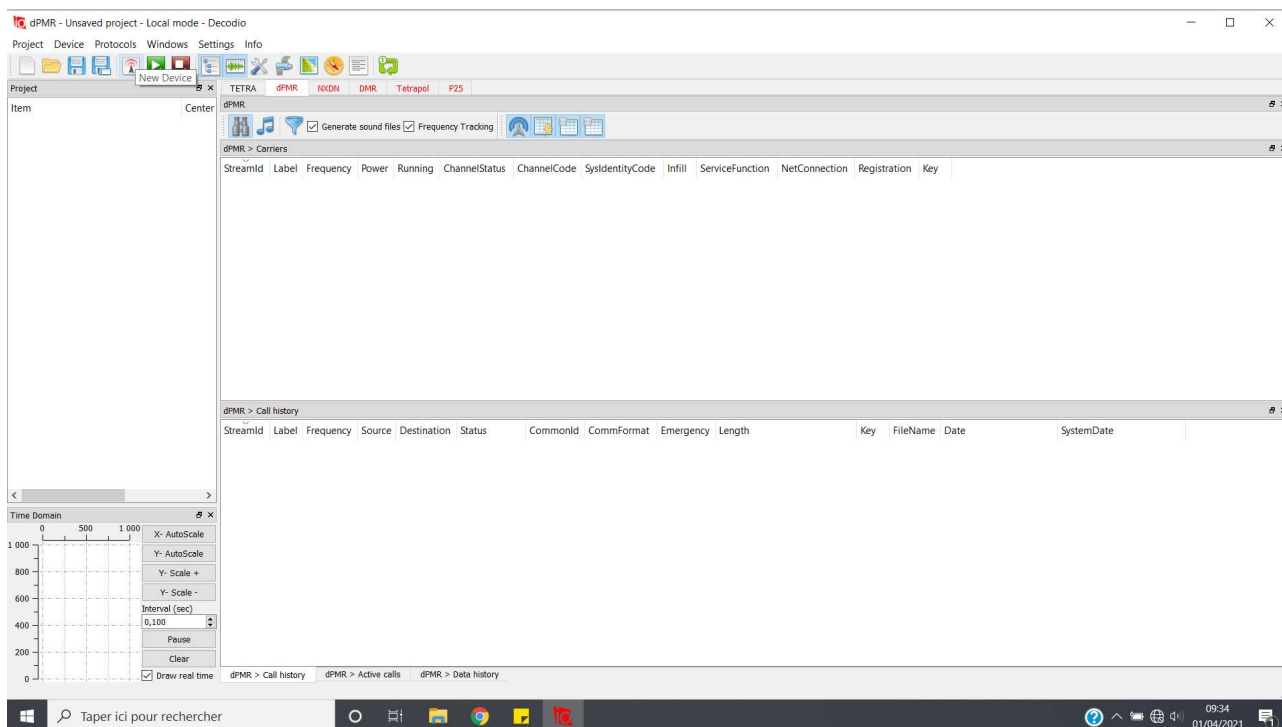


Fig.209 – Deuxième étape : sélection du fichier wav (fourni par Avantix, suite au Vol #3)

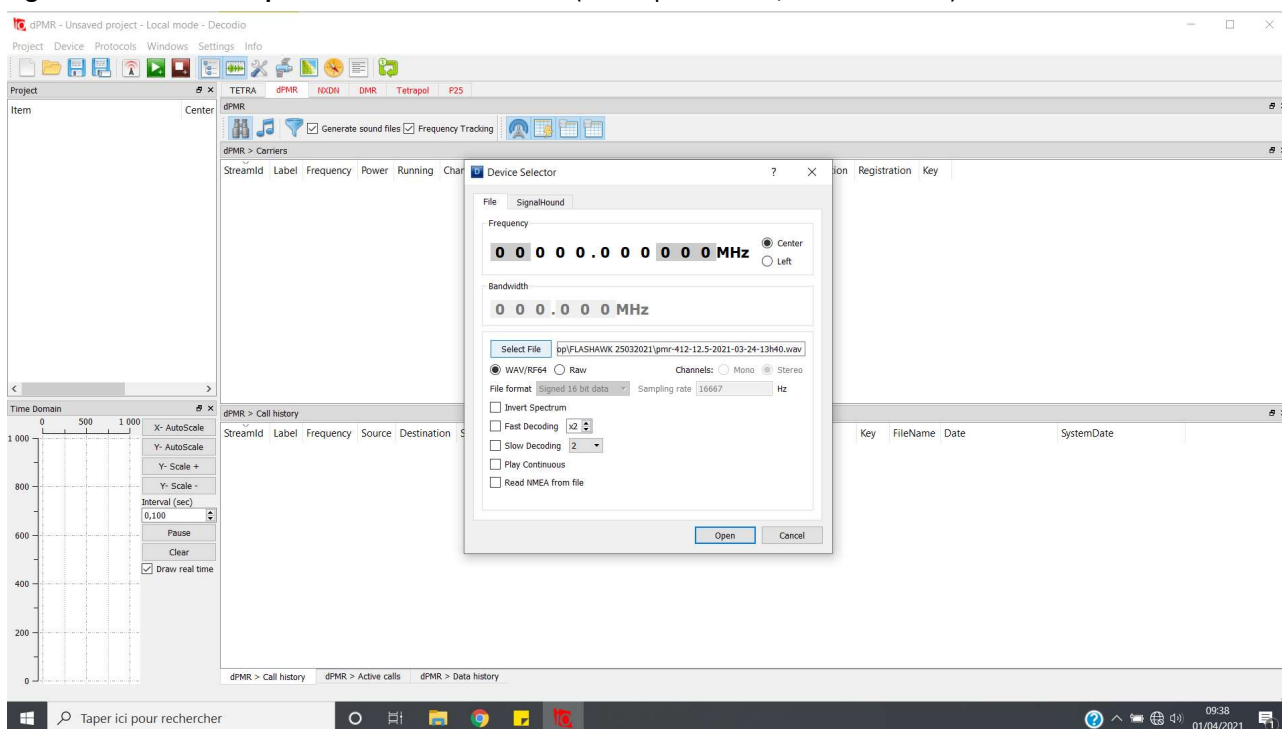


Fig.210 – Troisième étape : le fichier .wav est chargé. Il semble intéressant de noter que l'opérateur choisit également les protocoles (différents onglets en dessous de la barre d'outils du logiciel) sur lesquels le logiciel va s'appuyer pour décoder le fichier chargé.

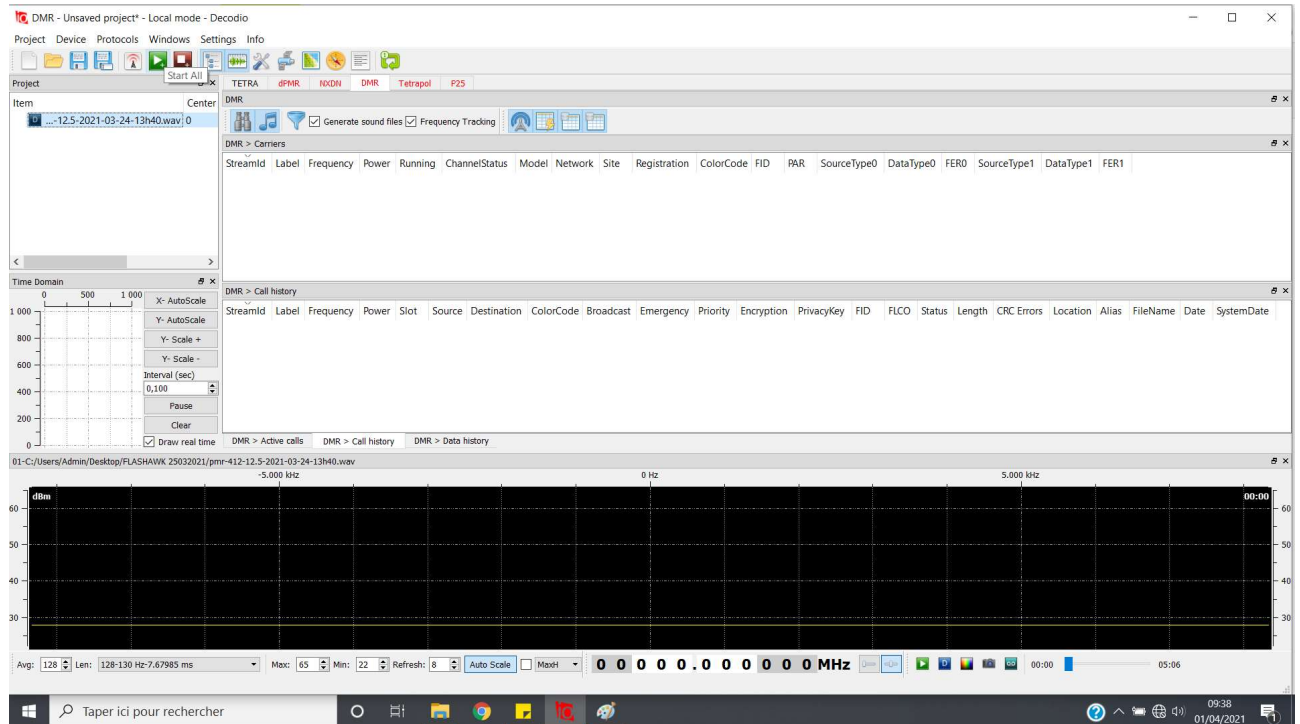


Fig.211 – Quatrième étape : Décodage en cours - affichage de l'appel :

Le logiciel va reconnaître automatiquement le protocole utilisé (dans l'exemple utilisé : dPMR) et les identifiants, ce qui lui permettra de reconnaître les alternances, chaque ligne affichée dans la partie basse correspond à une alternance / à un émetteur.

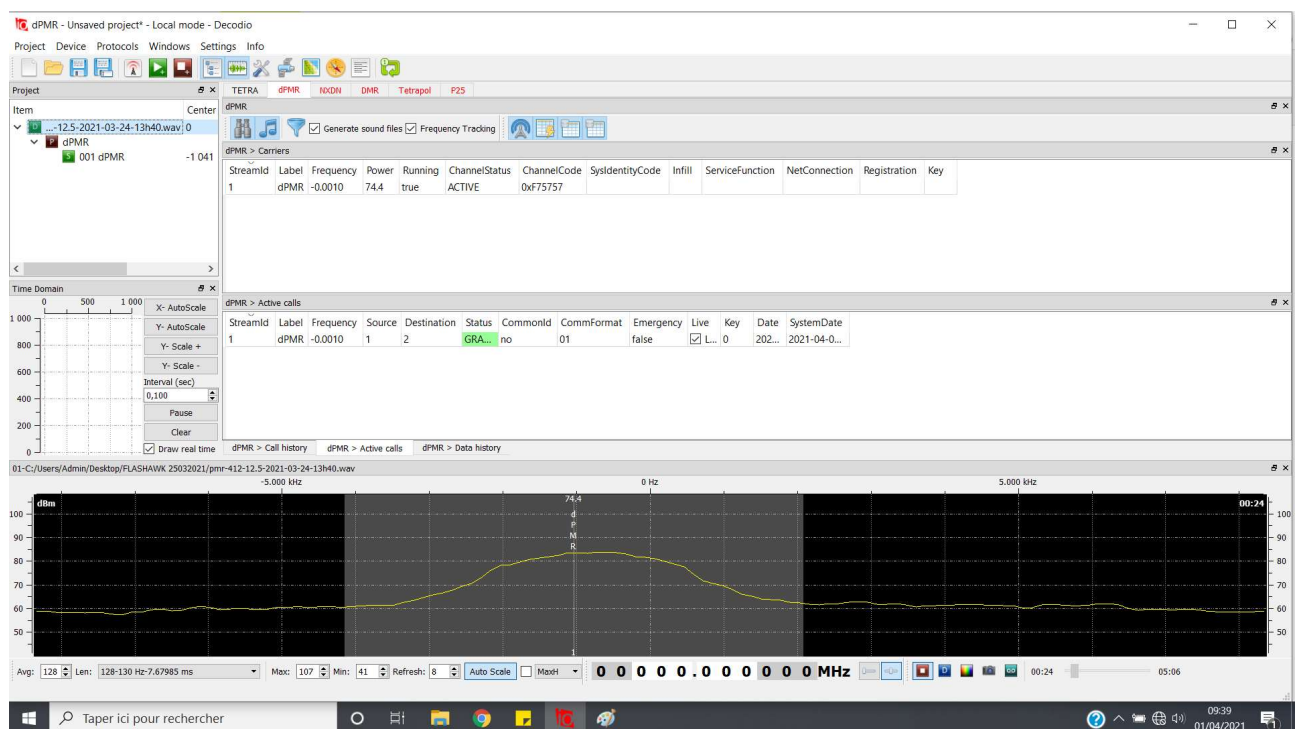


Fig.212 – Cinquième étape : décodage en cours - affichage historique de tous les appels enregistrés pour les sources 1 & 2 ; il est possible de reconnaître les alternances entre chaque interlocuteur.

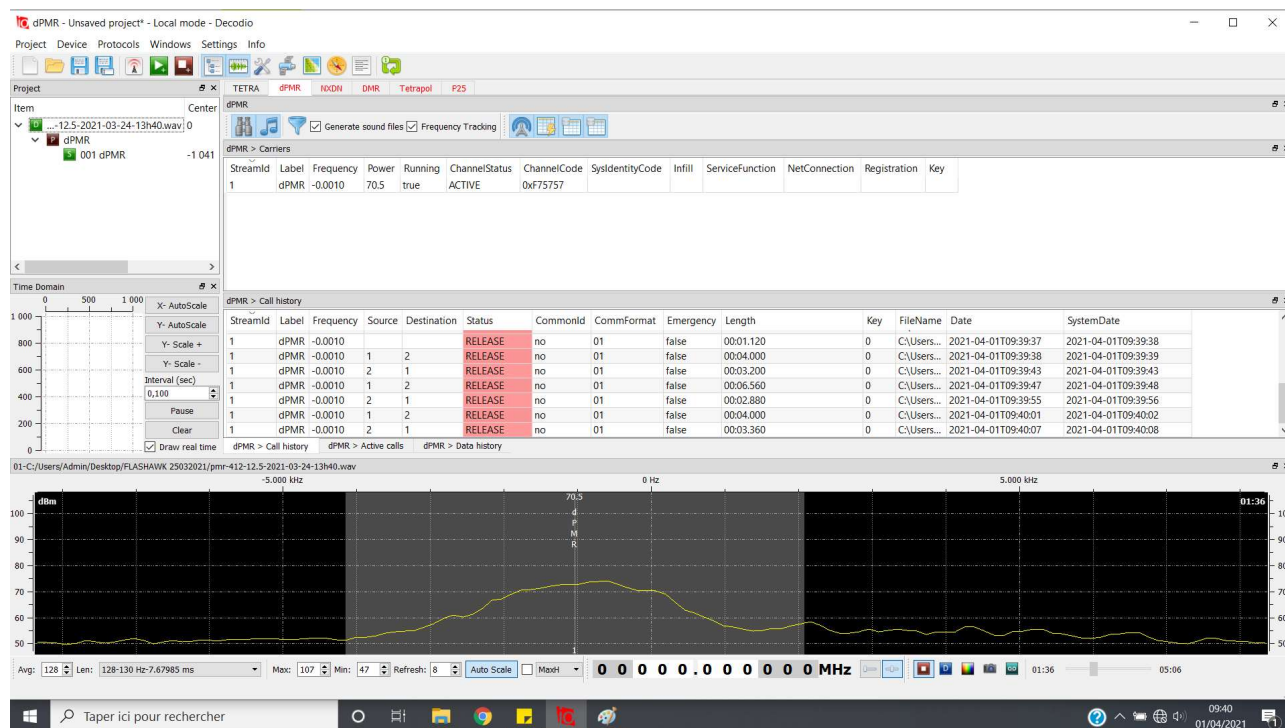


Fig.213 – Sixième étape : le décodage est terminé – l'extraction des données pour chaque alternat est possible ; voir le clic droit « extract report ».

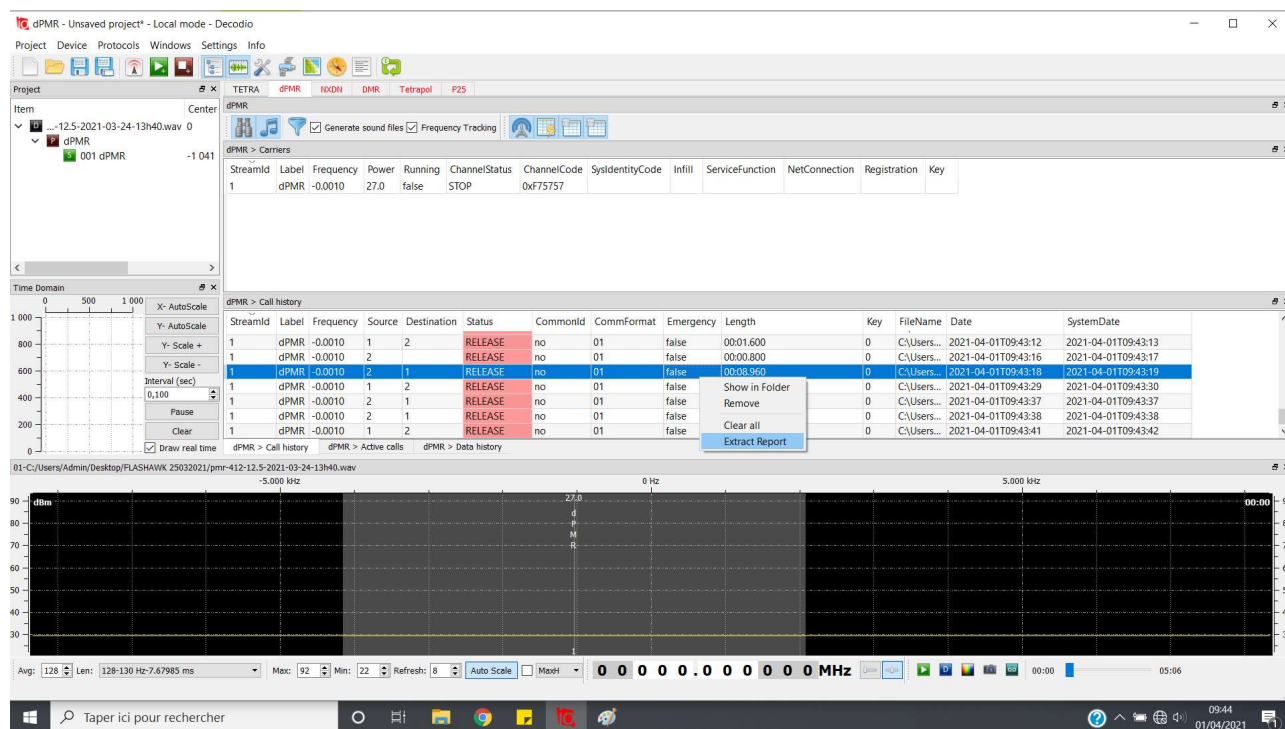


Fig.214 – Septième étape : le décodage est terminé, les données sont extraites dans des répertoires

Report_2021.04.01_09.44.16_dPMR_Sessions.txt - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

Date: 2021-04-01
Time: 09:44:24.505
Position: N/A

StreamId	Label	Frequency	Source	Destination	Status	CommonId	CommFormat	Emergency	Length	Key	FileName	Date	SystemDate
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:05.120	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093846_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:03.680	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093851_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:04.160	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093858_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:02.560	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093903_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:03.680	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093907_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:04.480	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093911_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:03.200	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093917_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:04.800	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093920_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:06.080	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093926_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:02.400	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093934_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:01.120	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093937_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:04.000	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093938_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:03.200	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093943_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:06.560	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093947_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:02.880	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T093955_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:04.000	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094001_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:03.360	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094007_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:03.520	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094017_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:04.480	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094022_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:03.200	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094034_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:06.560	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094038_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:02.560	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094046_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:08.000	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094052_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:01.280	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094103_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:05.280	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094105_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:01.920	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094112_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:08.320	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094115_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:04.480	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094125_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:10.240	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094131_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:04.160	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094142_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:06.720	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094148_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:04.320	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094156_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:01.760	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094205_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_2				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:03.360	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094212_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:01.760	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094225_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:03.040	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094235_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 2	1	RELEASE no 01	false	00:07.840	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094303_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1				
1	dPMR	-0.0010 1	2	RELEASE no 01	false	00:01.600	0	C:\Users\Admin\Decodio	AG\Output\dPMR\2021_04_01\2021-04-01T094312_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2				

Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8 09:45 01/04/2021

Fig.215 – Huitième étape : obtention et production de fichiers .wav dans un répertoire ad hoc ; chaque fichier correspond à un alternat, il est donc possible de trier les alternats de la source et ceux du destinataire.

2021_04_01

Fichier Accueil Partage Affichage Outils de musique

Épingler à l'accès rapide Copier Coller Couper Copier le chemin d'accès Coller le raccourci

Déplacer vers Copier vers Supprimer Renommer Nouveau dossier Accès rapide

Propriétés Ouvrir Modifier Historique Sélectionner tout Sélectionner

Presse-papiers Organiser Nouveau Rechercher dans : 2021_04_01

N°	Titre	Interprètes ayant p...	Album
2021-04-01T093846_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093851_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093858_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093903_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093907_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093911_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093917_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093920_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093926_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093934_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093937_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093938_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093943_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093947_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T093955_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094001_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094007_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094017_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094022_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094034_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094038_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094046_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094052_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094103_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094105_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094112_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094115_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094125_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094131_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094142_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094148_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094156_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094205_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_2.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094212_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094225_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094235_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094303_dPMR_-0.001MHz_SRC_2_DST_1.wav		Decodio AG	
2021-04-01T094312_dPMR_-0.001MHz_SRC_1_DST_2.wav		Decodio AG	

44 élément(s) 1 élément sélectionné 65.0 Ko 09:47 01/04/2021

8.8.5. CONCLUSION

En suivant le protocole de DGA MI, Avantix a démontré que le logiciel FlashHawk permettait de produire un flux IQ lors d'une mission, de le transférer sous le format approprié et de le lire avec un logiciel en charge de la démodulation, obtenant ainsi des fichiers .wav démodulés et exploitables par n'importe quel analyste de mission, et ce de manière rapide et simple.

9. EVOLUTION – ALGORITHME DE LOCALISATION PAR DEFILEMENT

9.1. SIMULATION BASEE SUR UN VOL EXISTANT

Un algorithme par défilement est envisageable dans le clustering de FlashHawk, pour obtenir une localisation lorsque l'avion ne peut pas suffisamment s'approcher de la cible.

Pour cela, les données d'azimut fournies par le calculateur du FlashHawk sont utilisées pour en déduire une localisation.

Nota : Les relevés d'écart d'azimut mesuré sont dans les tableaux des paragraphes 8.2 et 8.3 pour l'ensemble des fréquences testées dans le cadre de cette OER.

Le principe est de pouvoir observer la cible sous différents azimuts, et d'en déduire la position vraisemblable de la cible.

Pour illustrer ce chapitre, le cœur d'un tel algorithme est codé sous Matlab à partir d'une fonction de minimisation de coût (moindre carré) de la distance d'un point à un faisceau de droite.

Les graphes ci-dessous sont extraits d'un vol effectué pendant l'OER :

- le vol s'est déroulé le 22/03/2021 et la fréquence observée sur ces graphes est 137 MHz,
- une portion de la trajectoire de l'avion est extraite, et seules les informations d'azimut mesurées pendant cette portion sont utilisées,
- la position théorique de la cible est l'étoile bleue,
- la position déduite par l'algorithme par défilement est le cercle rouge,
- la trajectoire en rouge est la portion de ficelle de l'avion. On voit qu'elle part d'environ 60 km au sud du plastron, et se situe à environ 12 km à l'est.

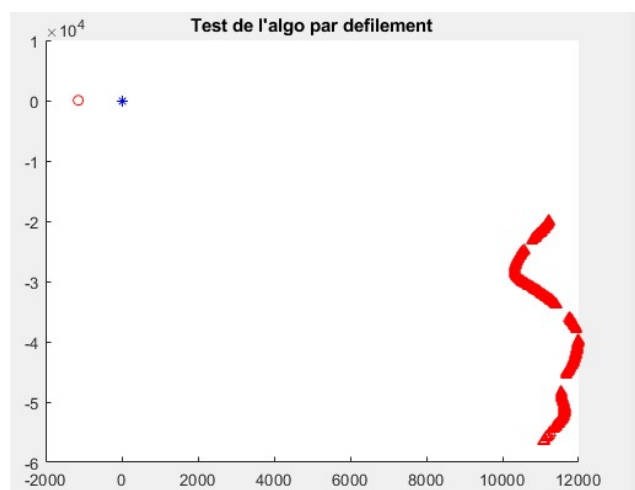


Fig.216 - Extraction d'une trajectoire et calcul de cible

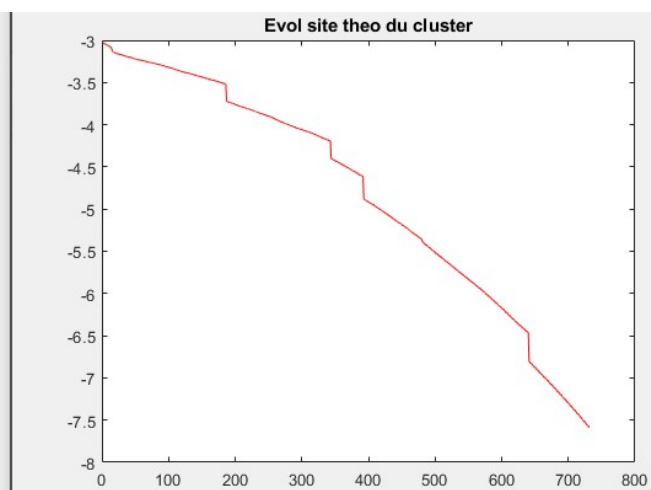


Fig.217 - Evolution de l'angle de site théorique

L'avion ne se rapproche pas à plus de 23 km du plastron.

Ceci s'observe également par les valeurs de l'angle de site représentées sur la courbe de droite.

Le site évolue entre -3 et -8 degrés environ, ce qui est en dehors de la couverture du PEA.

Cependant, les mesures d'azimut restent tout à fait exploitables, avec une variation à 1 sigma de 2.9 degrés.

L'utilisation de ces valeurs d'azimut par l'algorithme par défilement permettent de positionner la cible sur le cercle rouge (erreur d'environ 1km).

AVANTIX	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 112/119 DR-SF
----------------	--	--

On remarque que comme l'avion est resté globalement à l'est du plastron, la précision de localisation est meilleure en latitude qu'en longitude.

9.2. SIMULATION BASEE SUR UN VOL EN L

Dans toutes ces simulations, la trajectoire suivie par l'avion est fondamentale.

Nous la prenons égale à un L, de même dimension pour les deux branches du L : voir schéma ci-dessous.

- Les branches de ce L font 35 km.
- On suppose que l'on fait une mesure d'azimut tous les 2km.
- L'avion part du coin inférieur gauche du L en rouge, et se déplace vers le coin supérieur droit.

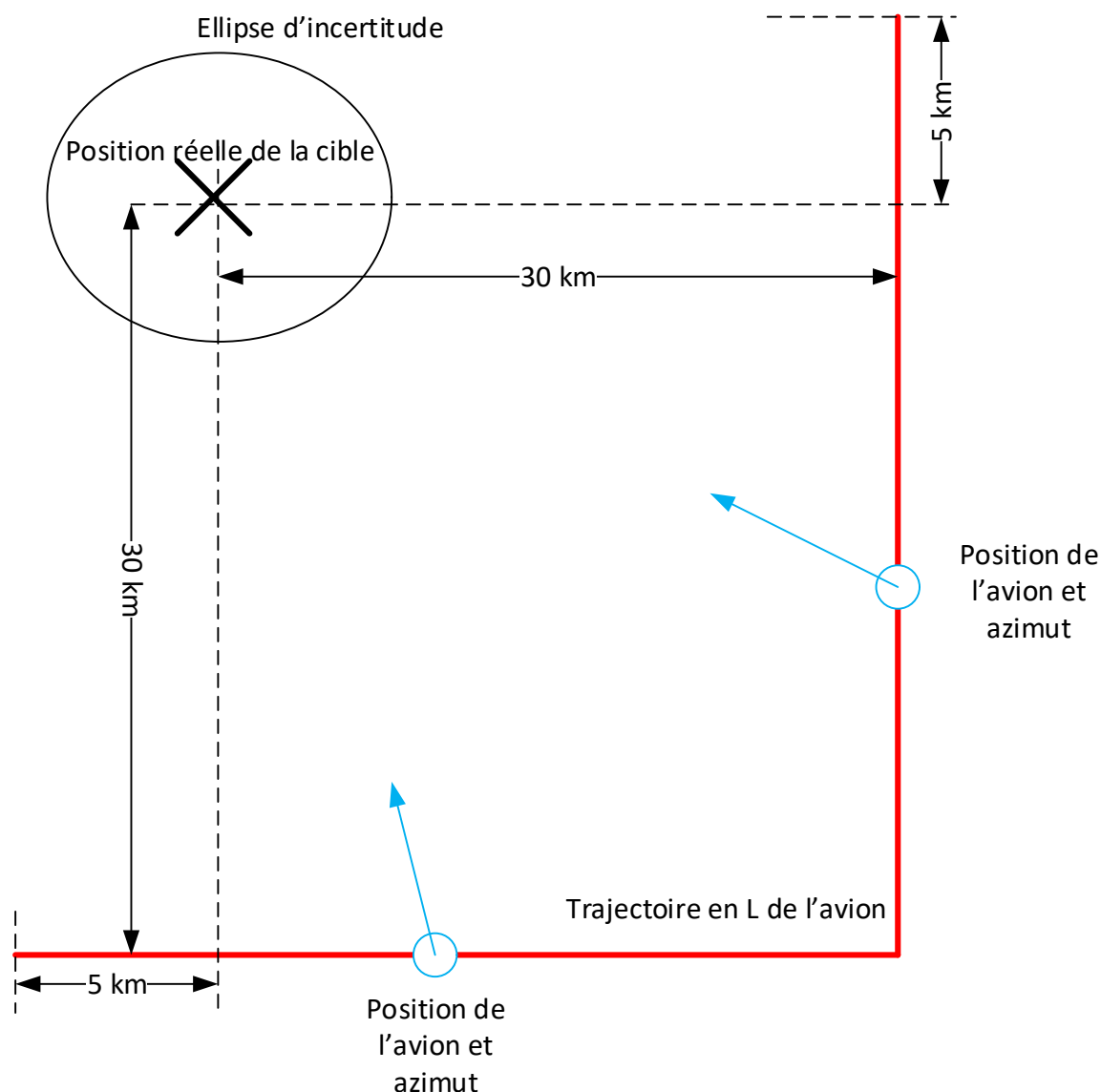


Fig.218 - Description d'un mode opératoire en L

Vue la trajectoire de l'avion, l'ellipse doit pouvoir être approximée par un cercle.

Cette simulation reprend les variations de mesure de l'azimut à 1 sigma de 3 degrés.

L'avion cette fois-ci effectue une ligne horizontale au sud à 30km du plastron, et une ligne verticale à l'est à 30km du plastron.

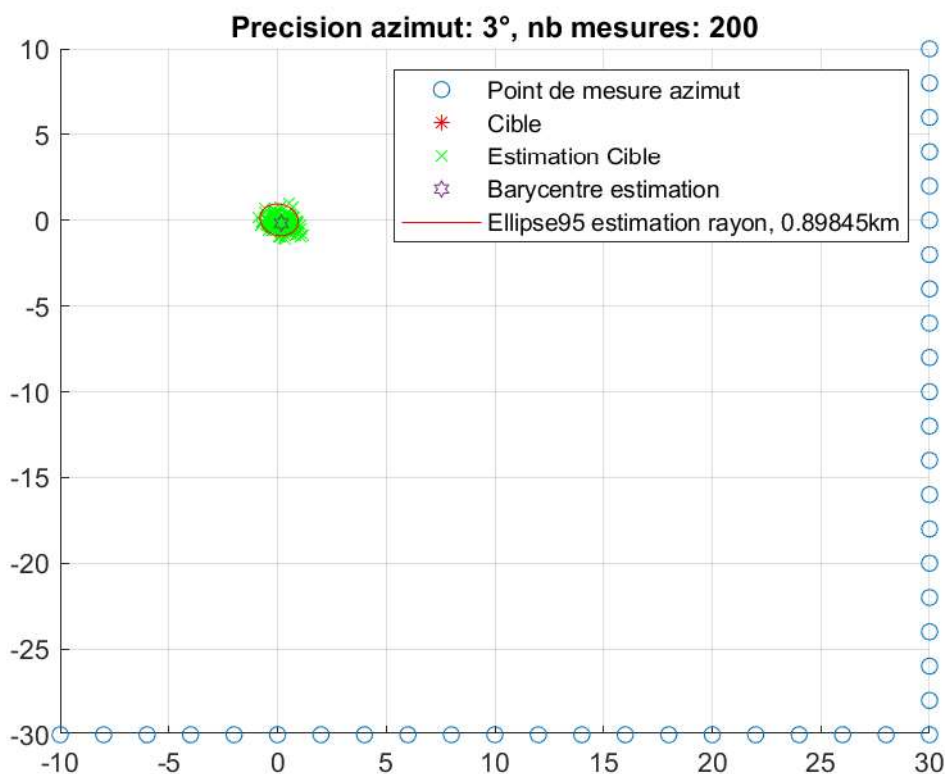


Fig.219 - Exemple de simulation d'un algorithme par défilement

La graduation de l'axe X et de l'axe Y sont en km.

On observe bien dans ce cas-là que la technique par défilement permet d'avoir une bonne estimation de la localisation aussi bien en latitude qu'en longitude.

Cet algorithme pourrait être implémenté dans FlashHawk sans aucune modification du capteur embarqué.

Le choix de l'algorithme par défilement ou de l'algorithme par localisation sur MNT pourrait être fait par l'opérateur cible par cible, ou automatiquement en fonction d'un critère basé sur le site mesuré.

Pour l'ensemble des écarts de mesure d'azimut présentés dans le paragraphe 8.3.5, une simulation plus complète permet d'extrapoler les précisions de localisation correspondantes :

Simulation d'algorithme par défilement suite aux vols 1 et 2 à 10000 pieds		
Dénomination	Relevé écart azimut (°RMS)	Simulation de la précision de localisation en mètres
GEN2322b12	2.3	800
GEN2322b3	2.25	800
GEN1502b12	3.5	1000
GEN1502b3	3.65	1000
GEN1363b12	3.2	1000
GEN1363b3	3.2	1000
GEN867b12	3.55	1000
GEN867b3	6.30	1700
GEN412b12	2.15	800
GEN412b3	2.30	800
GEN365b12	2.15	800
GEN365b3	2.30	800
GEN303b12	2.15	800
GEN303b3	2.45	800
GEN237b12	2.50	800
GEN237b3	3.00	900
GEN137b12	2.40	800
GEN137b3	2.65	800
GEN72b12	6.25	1700
GEN72b3	9.95	3000
GEN41b12	3.85	1200
GEN41b3	4.9	2000
GEN33b12	10.70	3500
GEN33b3	10.00	3500

**Fig.220 – Précision de localisation à 10 000 pieds
par défilement (simulation sous Matlab)**

10. CONCLUSION

10.1. MATRICE DE DEBRIEFING DES VOLS

Toutes les demandes formulées par le client lors de la séance de préparation ont bien été remplies à l'issue de l'OER et les données étaient présentes pour l'analyse par Avantix.

Cette OER a été une opportunité pour un industriel de recueillir autant de données grâce à l'ensemble des moyens matériels et humains (présence de plastrons) mis en place.

	Goniométrie									
	Gisement Fx	Elévation Fx	Secteurs angulaires Fx	Signal long Fx	Signal bref Fx					
Vol 1	X	X	X	X	X					
Vol 2	X	X	X	X	X					
	Séparation spatiale									Voies d'écoute
	Thuraya	Iridium	PMR 156	PMR 137,5	DMR 412,5	DMR 137,5	PMR 867,6	DPMR 412	Géné 2 Fx	DECODIO
Vol 3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Tracking véhicule lent & recherche émetteur									
	Géné 2322	Géné 303	PMR 440	PMR 867,6	PMR 137,5	Inmarsat	Iridium			
Vol 4	X	X	X	X	X	X	X			
	Vol en haute altitude									
	Loc EVF1	Loc EVF2	Test de portée Géné 1	Test de portée Géné 2	Test de portée Géné 3	Test de portée Iridium	sép spat PMR 440	sép spat PMR 867	Signaux AIS	Tenue en charge
Vol 5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fx : x = 1 à 12, représente 12 fréquences qui sont distribuées entre bande basse (8 fréq) et bande haute (4 fréq)

Fig.221 - Matrice de debriefing des vols

10.2. SYNTHESE

Veuillez trouver un tableau synthétique et chiffré ci-dessous afin de retrouver quelques résultats de tests principaux, à avoir en tête pour cette OER :

DESCRIPTION	ALTITUDE	PARAMETRE	COMMENTAIRE (type d'émetteur, fréquence...)
Nbre d'antennes / volume			21 antennes - 80 x 40 cm
Angle de vue de l'antenne en Elévation		+10° à -90°	la demi-sphère complète sous l'appareil
Angle de vue en Azimut		360°	
Zone aveugle	aucune		
Portée au sens détection et algorithme par défilement	10 000 pieds	42 km	137,6 MHz
	10 000 pieds	29 km	867,6 MHz
	20 000 pieds	90,1 km	GEN2322 MHz
	20 000 pieds	109,8 km	GEN1363 MHz
	20 000 pieds	107,6 km	GEN137 MHz
	20 000 pieds	140 km	PMR 440 MHz
	20 000 pieds	45 km	PMR APCO
	20 000 pieds	29 km	Iridium
Fauchée avec localisation en moins de 5s	10 000 pieds	11km	tous systèmes ci-dessus pour site = -30°
	20 000 pieds	21km	
	30 000 pieds	32km	
	45 000 pieds	48km	
Relevés d'écart d'Agles solides	10 000 pieds	4 - 5°	1363 à 2322 MHz
	10 000 pieds	< 12°	867 MHz
	10 000 pieds	4 - 5.5°	137 à 412 MHz
	10 000 pieds	8 - 12°	41-72 MHz
	10 000 pieds	> 20°	33 MHz

Fig.222 - Tableau de synthèse des mesures FlashHawk durant l'OER (partie 1)

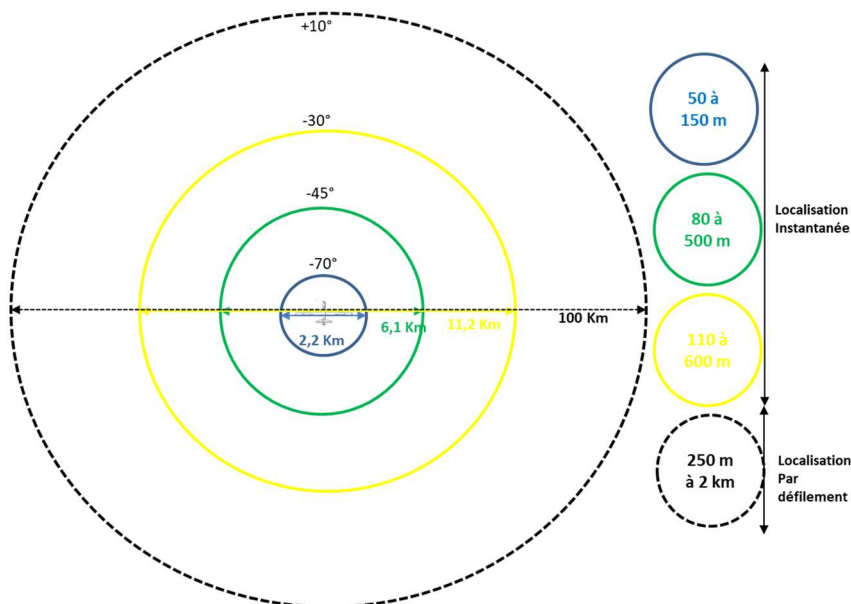
AVANTIX	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk		Version 01 Date : 12/05/2021 116/119 DR-SF
	DIFFUSION RESTREINTE	SPECIAL FRANCE	

DESCRIPTION	ALTITUDE	PARAMETRE	COMMENTAIRE (type d'émetteur, fréquence...)
Ecart d'azimut	10 000 pieds	2 à 4°	137 à 2322MHz (sauf 1 pt à 867MHz)
Ecart de loc -45°	10 000 pieds	<450m	> 41MHz
Ecart de loc -70°	10 000 pieds	<150m	> 41MHz
Ecart de loc -45°	20 000 pieds	<500m	de 137 à 2322MHz
Ecart de loc -70°	20 000 pieds	<300m	de 137 à 2322MHz
Sensibilité	20 000 pieds	-95 à -100dBm	PMR 440, APCO et Iridium
Séparation spatiale	10 000 pieds	> 30°	De 156 à 440 MHz et Iridium
Durée minimum du burst télécom		400 µs	
Stockage max pour une mission de 1h45 (pendant les essais)		3,5 Go sur embarqué	600 émetteurs pour le survol d'Arles, vidéo HD, 1 flux IQ de 12,5 KHz
Stockage théorique max pour une mission de 6h		81 Go sur embarqué	2000 émetteurs, vidéo HD, 2 MHz de flux IQ
Durée de calibration		1h à 1h30	
Démodulation		Compatibilité testée avec DECODIO, Wavecom	
Voies d'écoute		4 x 2MHz	
Gestion des signaux EVF			
Facilité d'utilisation de l'IHM			
Capacité de vue à l'horizon et dessous en un seul capteur			
Pas besoin d'opérateur V/UHF dédié			

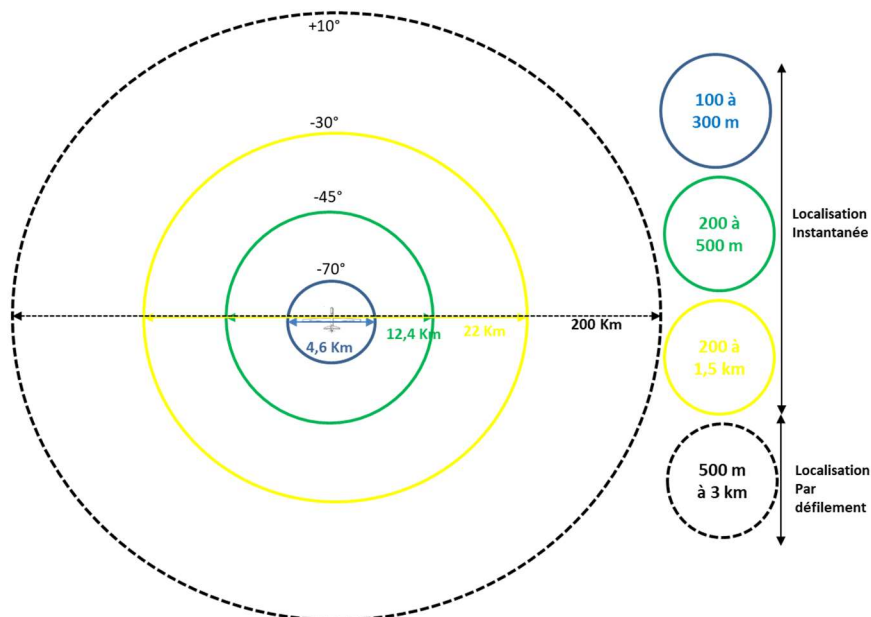
Fig.223 - Tableau de synthèse des mesures FlashHawk durant l'OER (partie 2)

Une autre façon de présenter ce tableau est proposée ci-après sous forme de graphes à différentes altitudes :

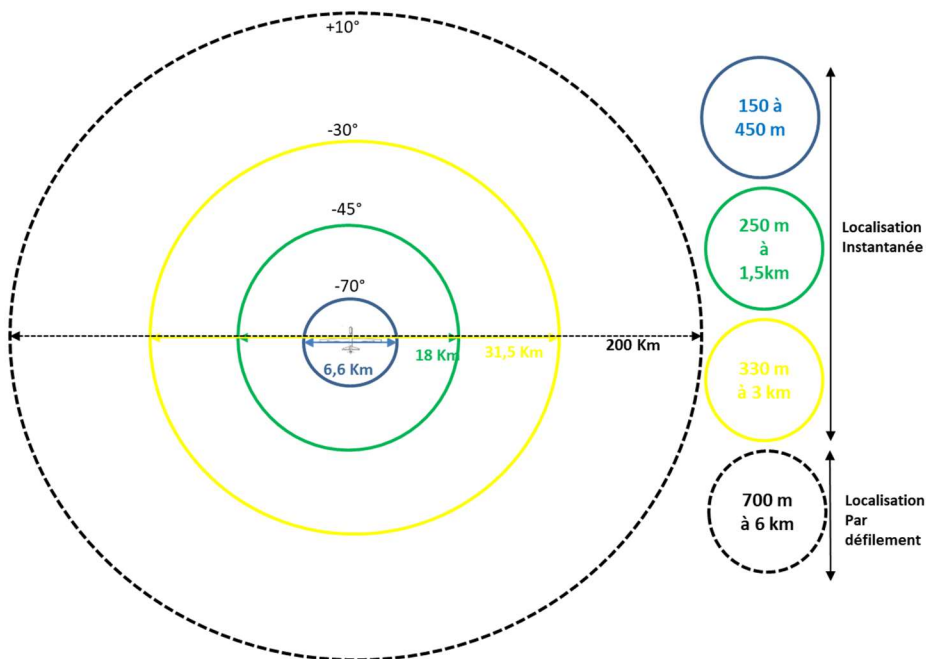
- Fig.224 - Performances Portée/Précision à 10 000 pieds en vol**



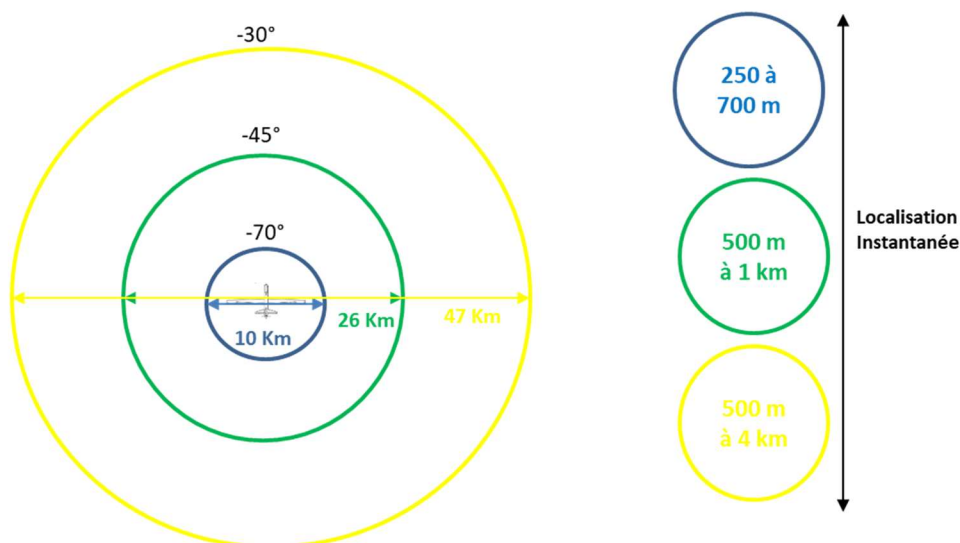
- Fig.225 - Performances Portée/Précision à 20 000 pieds en vol



- Fig.226 - Performances Portée/Précision à 30 000 pieds par extrapolation du vol à 20 000 pieds



• **Fig.227 - Performances Portée/Précision à 45 000 pieds par extrapolation du vol à 20 000 pieds**



Remarque : Au-delà des 47 km une localisation par défilement est possible en fonction de la puissance des émetteurs jusqu'à +10°

La capacité du FlashHawk est de pouvoir fournir à l'opérateur ROEM une Situation Tactique quasi-instantanée sur des cibles d'intérêt ayant des temps de communication très courts (1 à 5 secondes) dans un diamètre à 360° autour du porteur allant de 11 kms à 47 kms de diamètre pour des altitudes allant de 10 000 pieds à 45 000 pieds.

Au-delà de cette zone de localisation instantanée, le FlashHawk donne une information d'Azimut jusqu'à des portées mesurées en vol entre 75 km à 140 km de 10 000 à 20 000 pieds. Il a été démontré par simulation la capacité à localiser les émetteurs sur cette zone plus lointaine par défilement.

Le FlashHawk a donc une capacité en un seul capteur de localisation instantanée à 360° mais aussi à l'horizon de localisation par défilement.

10.3. LES LEÇONS QUE L'INDUSTRIEL A RETIREES DE L'OER

Ce programme d'essai en vol qui a permis de caractériser le capteur FlashHawk, a mis en lumière les points suivants :

- la calibration de la bande basse a pu être démontrée avec un temps de vol limité afin que le potentiel avion avant la prochaine visite technique ne soit pas impacté,
- le capteur est maintenant opérationnel sur l'ensemble de la bande de fréquences,
- les précisions de localisations sur toute la bande apportent une nouvelle capacité pour l'opérateur ROEM indépendamment de la boule optique,
- la localisation quasi-instantanée permet à l'opérateur une exploitation automatique et immédiate en un seul passage sur une zone ainsi qu'une augmentation des probabilités d'interception des communications courtes (type PMR)
- la capacité de localisation par défilement à l'horizon est possible et a été clairement une avancée pour le produit,
- les portées de localisation à l'horizon, jusqu'à 75 km à 10 000 pieds, et 140 km à 20 000 pieds ainsi qu'en même temps la capacité de localiser sous l'appareil procure une grande flexibilité d'emploi de la charge. Ceci permet d'avoir une continuité de service de localisation depuis l'horizon jusqu'à être à portée optique ou même être au-dessus d'une cible (tout en étant dans les nuages par exemple ou à haute altitude à discrétion acoustique). Elle permet de donner à l'opérateur ROEM une situation tactique de l'ensemble des émetteurs en quelques secondes à 360° sans zone aveugle ;
- un bon pouvoir de séparation spatial des cibles, l'amélioration de performance est tout à fait possible au regard des précisions de localisation ;

	Note Technique Draft relative aux essais pour l'OER du capteur FlashHawk DIFFUSION RESTREINTE SPECIAL FRANCE	Version 01 Date : 12/05/2021 119/119 DR-SF
---	--	--

- un environnement haute intensité avec un taux de charge à 20 000 pieds avec détection localisation massive en 2G en passant au-dessus de la ville d'ARLES qui n'empêche pas le capteur de fonctionner sur l'ensemble des cibles configuré : 700 émetteurs ;
- une vue champ large du capteur du fait de la vision 360°, demi-sphère, qui a permis d'avoir un capteur toujours disponible pour faire des localisations tout en ayant un aéronef en virage. Il est à remarquer que ce phénomène se trouvera renforcer sur le drone SDT avec une charge sous l'aile et un pilotage souvent automatique, ne pouvant pas toujours faire un vol à plat ;
- une capacité de suivi de cible en véhicule
- une validation de la voie d'écoute avec l'interfaçage d'un produit tiers qui permet d'ajouter de la caractérisation type « identifiant radio » et « remontée de réseaux »,
- un Système d'Information simple et conçu par des opérateurs ROEM (laissé en évaluation pendant 1 an aux forces durant le PEA).
- une interface avec l'optronique qui permet l'identification simple et immédiate via son Système d'Information, à noter que d'autres capteurs pourront être interfacés : Actif cellulaire, Satellitaire, Radar.
- la possibilité d'interfacer différents types de solution de démodulation,
- la capacité du système à pouvoir être installé par un atelier Part 145 (main d'œuvre + contrôle) est d'environ une journée à 2 techniciens pour la mise en configuration de l'avion.

Suite à l'OER, il a été confirmé que le produit FlashHawk pourra naturellement évoluer et être amélioré en suivant les chemins suivants :

- la localisation par intégration d'ellipses à longue portée (par défilement) afin de réduire la zone d'incertitude à longue distance du fait des bonnes performances du capteur à l'horizon,
- le seuil abaissé de -45°C à -30°C avec des résultats équivalents en affinage,
- la localisation statistique pour améliorer à un degré *encore* plus élevé la séparabilité du système (les précisions de localisation démontrent que le pouvoir spatial pourra encore être amélioré),
- l'enrichissement de la localisation avec des identifiants : radio, cellulaire, satellitaire.

AVANTIX a poursuivi l'industrialisation du capteur et de son Système d'Information en proposant aux Forces une nouvelle génération de capteur ROEM avec le FlashHawk qui permet d'apporter des nouvelles capacités techniques de recueil et d'exploitation des données.

Ces trois années d'industrialisation (suite aux 3 ans de réalisation du prototype lors du PEA) ont donné lieu à un premier RETEX de plus de 200 heures de vol en ballon, 60 heures de vol avion, ce qui a permis d'atteindre un niveau de maturité important pour cette charge ROEM Nouvelle Génération.

La diversité des vecteurs aériens de par leurs capacités d'emport variant fortement, ainsi que leur logique d'emplois (stratégique/tactique, piloté/non piloté, ...) nécessite d'adapter les systèmes de guerre électronique actuels à ces futurs porteurs et à leurs missions spécifiques.

Comme exprimé par les Forces : "Les drones de moyenne altitude longue endurance (MALE) équipés de capteurs ROIM et ROEM permettent de détecter, localiser et suivre des cibles potentielles. Pour leur part, les drones tactiques, assurent l'appui direct en renseignement des forces présentes sur les zones de crise. Sont également indispensables des avions légers de surveillance et de reconnaissance ainsi que des pods de reconnaissance de nouvelle génération..."

C'est bien ce défi que nous souhaitons continuer de relever : pouvoir intégrer le capteur FlashHawk aux différents porteurs cibles des Forces afin de rendre la charge pleinement opérationnelle.

--- FIN DU DOCUMENT ---