

RETEX fourniture/intégration FTI pour eVTOL

3AF CT Essais– Navigabilité des installations d'essais

09 & 10 Octobre 2024 – DGA-TA Font Romeu

Agenda

- Nouveau paradigme pour la télémessure pour les nouveaux acteurs
- Principales exigences
- Analyse préliminaire de la liaison bord-sol
- Bilan de liaison
- Architecture bord-sol
- Architecture bord: solution et contraintes
- Workshop placement antennes et radio à bord
- Sol: solution et contraintes

Nouveau paradigme pour la télémesure

Le besoin des nouveaux acteurs (start-up) est différent des acteurs traditionnels

- Un seul responsable pour le FTI segment bord et segment sol (liaison incluse)
→ **fourniture de la chaîne complète**
- Pas de besoin d'utilisation longue durée (de plusieurs mois à ~1 an) pour leur certification de vol
→ **investissement à durée limitée, le coût est le driver principal**
- En France: Difficulté d'obtenir des fréquences par l'ARCEP (cela peut-être très coûteux) et certaines zones sont saturées (ex: Toulouse, Bordeaux, près des zones militaires...)
→ **besoin de trouver des solutions alternatives**
- La liaison de données de télémesure n'est pas critique pour leurs tests (ils vont surtout exploiter les données enregistrées à bord)
→ **importance du logiciel de traitement de données (interface principale de l'utilisateur) et de sa facilité de configuration avec le FTI bord**
- L'expression des besoins n'est pas figée, et évolue au cours de la définition de l'architecture et des retours de l'EASA
→ **proposer une solution souple et adaptative**

Contexte besoin FTI eVTOL / new Urban Mobilities

MOST IMPORTANT REQUIREMENTS (données d'entrées)

1. PRIX
2. MASSE FTI ~5kg
3. TAILLE FTI
4. Freq Acq Max FTI 2Mbps
@50km
5. Tests à la fois courte et longue portée
6. Facilité de mise en œuvre
7. Besoin stockage bord prioritairement
8. Suivi temps réel

MOST IMPORTANT REQUIREMENT (environnement)

1. Localisation des essais en vol
 - a) Zone couverte
 - b) Centre de contrôle Pas antenne tracking
/ ne pas dépasser le
faîtage du hangard
2. Liaison si possible ne nécessitant pas d'allocation de fréquence par l'ARCEP

REFLEX : fourniture et intégration FTI pour le VTDI

Analyse préliminaire de la liaison bord/sol

Type de liaison	Nécessite une allocation de fréquence	Latence/debit	Tests courte portée	Portée	Facilité d'intégration/utilisation	Inconvénients	Avantages
IRIG106	OUI	20Mbps/ très faible latence	Sensible aux échos lors (proximité TARMAC)	< 35km = antennes OMN > 35km = antenne directionnelle avec tracking	Intégration bord (enjeu placement des antennes pour éviter masquage et interférences) Intégration sol pas forcément triviale (hauteur antenne , tracking, echo)	Nécessite une allocation de bande de fréquence Emission omnidirectionnelle à partir de l'avion Nécessite une antenne avec tracking pour une portée > 35km -Sensible aux échos lors de proximité sur le tarmac	Standard IRIG106 Interopérabilité Centres d'Essais Faible latence
Satellite LEO type IRIDIUM (780km)	NON	<100 Kbps / latence non négligeable (400ms)	-	Liaison Beyond line of sight	Antenne bord relativement facile à intégrer infrastructures sol légère	Faible débits Latence	Fréquence attribuée Liaison Beyond Line of Sight
Satellite MEO type Starlink (550km) / OneWeb	NON	>100Mbps / latence non négligeable (30-60ms)	-	Antenne bord avec tracking (+lourd/+coûteux)	Intégration Antenne bord peut être complexe (poids/taille)	Antenne bord avec tracking (+lourd/+coûteux) Coût de location station sol	Fréquence attribuée Latence + faible que le L'Iridium
4G / 5G	NON	>100Mbps / latence non négligeable 4G: 60ms, faible: 5G: 10ms	Résiste aux échos par design	Disponibilité réseau non garantie	Configuration complexe à mettre en œuvre	Installation / Configuration complexe - Disponibilité réseau non garantie	Fréquence attribuée Bande passante disponible
MANet MIMO (Réseau Ad Hoc « WIFI »)	NON sur fréquence libre mais portée plus réduite	1Mbps->5Mbps (selon distance) / faible latence (7ms)	Résiste aux échos par design	Portée <75km 5	Intégration facile (réseau Ad Hoc) portée plus longue sans antenne de tracking et possibilité d'extension par relais pour couverture de zones supplémentaires	Portée <75km selon débit Nécessite tracking lorsque la zone à couvrir est très large (pas pratique par relais) ou avec une portée plus longue (->150km)	Utilisation de fréquence libre avec émission faible puissance directive (beamforming) Adapté aux essais tarmac (échos) Mise en œuvre simple (bord+sol) Extension possible avec antenne relais Faible latence

Budget link – long range (50km) - 2x2 MAnet onboard

Provided optimal onboard antenna placement / Allowed bandwidth for temporary frequency

Theoretical:

In 5MHz BW:

~4Mbps user data

In 10MHz BW:

~7Mbps user data

With margin:

In 5MHz BW:

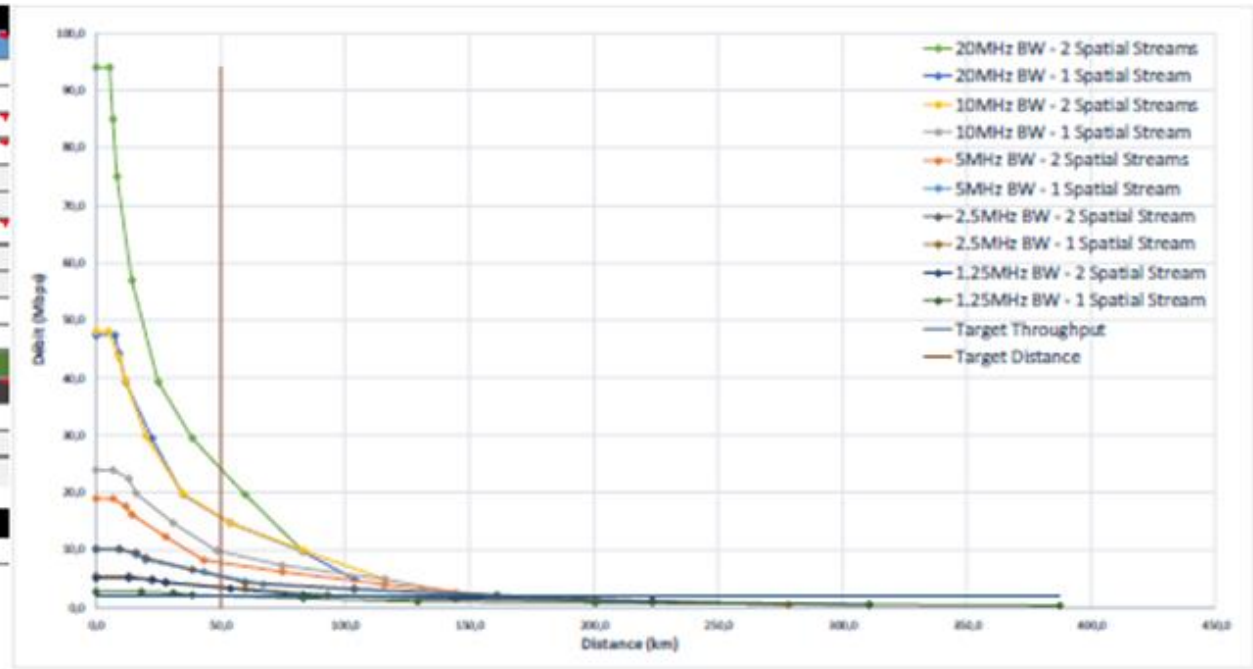
~2.5Mbps

In 10MHz BW:

~5Mbps

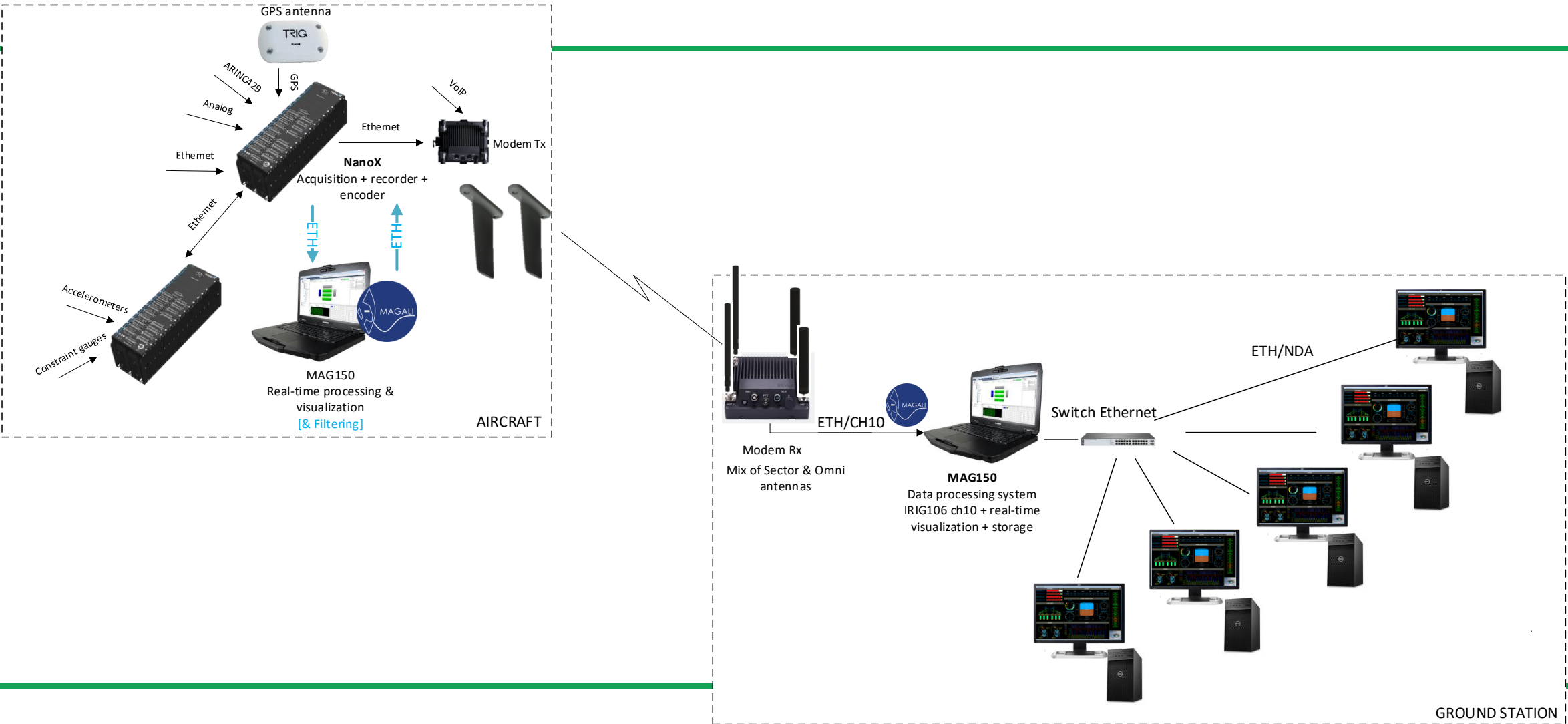
Données Utilisateurs	Valeur	Unité
Environnement		
Frequence	2300	MHz
Puissance d'émission Maximum	10	W
Amplificateur Bi-directionnel	No	
Contrôle de la puissance d'émission	Adaptive	
Perte dans les cables Emission	1,5	dB
Gain de l'antenne Emission	4,00	dBi
Nombre d'antenne Réception	4	
Perte dans les cables Reception	0,5	dB
Gain de l'antenne Reception	12,00	dBi
Hauteur de l'antenne Emission	500,00	Meters
Hauteur de l'antenne Reception	8,00	Meters
Obstacle dans les 60% Rayon 1ère zone de Fresnel	No	
Antenne à polarisation croisée	No	
Distance de la cible	50,0	Kilometers
Marge de sécurité	5	dB
Trafic de données utilisateur (UDP)	2,0	Mbps

Zone de Fresnel et distance de l'horizon		
Distance de l'horizon	89,9	Kilometers
60% du rayon de la 1ère zone de Fresnel	24,2	Meters
Rayon maximal de la 1ère zone de Fresnel	40,4	
Rayon maximal de la 2ème zone de Fresnel	57,1	
Rayon maximal de la 3ème zone de Fresnel	69,9	

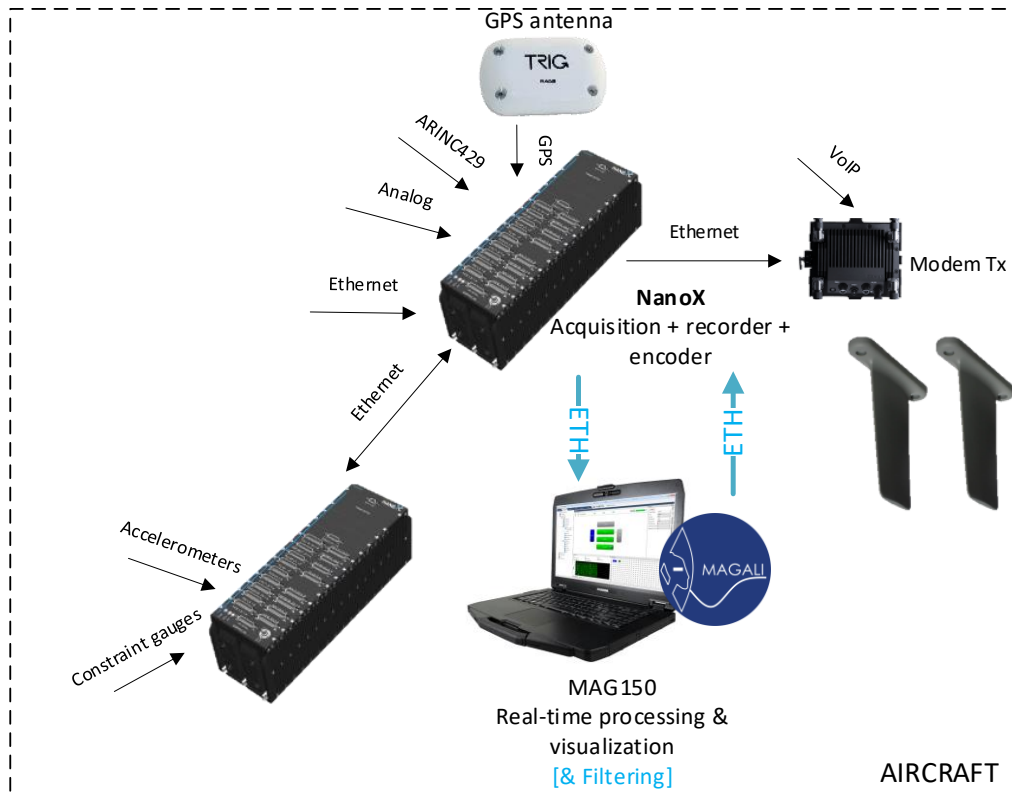


Largeur de Bande	Résultats de performance du lien (à la distance cible)					Unité
	1,25 MHz	2,5 MHz	5 MHz	10 MHz	20 MHz	
RSSI	-93	-93	-92	-90	-90	dBm
SNR	15	12	10	9	6	dB
Nombre de Stream Spatiaux	1	1	1	1	1	
MCS	4	4	3	2	2	
Capacité du lien	1,7	3,3	4,1	7,4	14,7	Mbps
Air Time (Cycle de service)	333	61	49	27	14	%

Architecture bord-sol



Bord – solution et contraintes



Système d'acquisition :

145 voies analogiques et 14 voies numériques à acquérir → 2 centrales d'acquisition reliées par un câble Ethernet de 5m :

- ~5.5kg
- Fréquence acquisition > 100Mbps

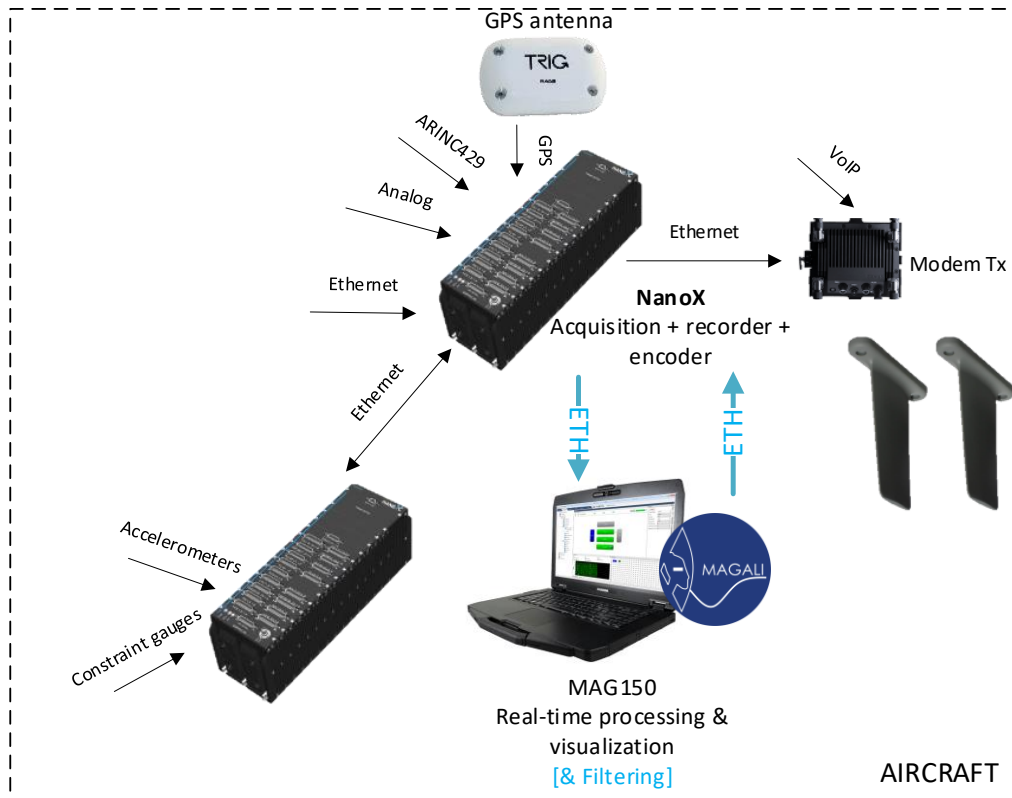
Contraintes environnementales :

- Température de fonctionnement $\leq 70^{\circ}\text{C}$ → intégration sur plaque métallique ou plots en caoutchouc, ajout d'un ventilateur interne (module Cooling) ou externe
- Qualification vibrations/chocs conforme MIL-STD-810G

Possibilité d'avoir la visualisation temps réel des données transmises

Déclaration de conformité CE

Bord – solution et contraintes



Liaison télémesure :

Radio MIMO: 2x2 pour réduire le poids, mais risque masquages lors de manœuvres (cf workshop placement)
→ 1.5kg avec antennes

Pas de batterie (Li-Ion) pour la radio (limitation du poids):
convertisseurs DC-DC 28V-14V

Qualification vibrations/chocs conforme MIL-STD-810G

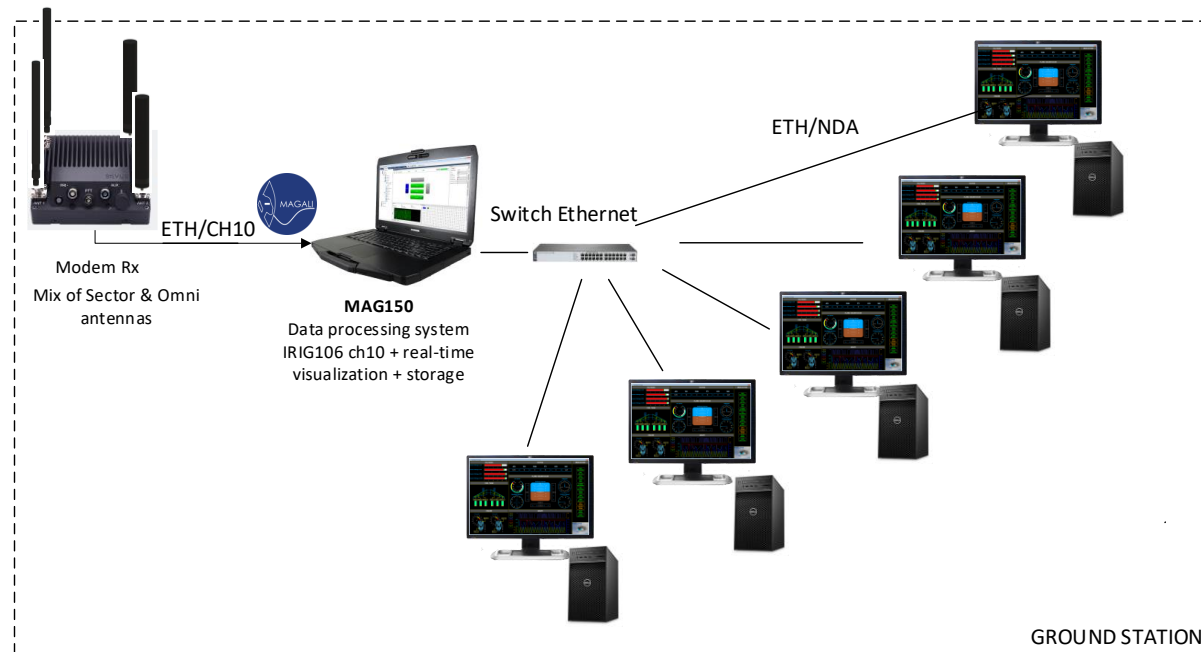
2 Liens Ethernet physique vers la radio:

- la voix du pilote + son ambiance
- Plusieurs flux UDP avec niveaux de priorité (GPS, data critiques, vidéo...)

Filtrage possible du flux Ethernet pour optimiser la bande passante → sélectionner des voies à transmettre vs. à enregistrer

Non conforme CE (matériel US couvert par dérogation militaire)

Sol – solution et contraintes



Contrainte bâtiment sur aéroport:

- limiter le dépassement du faîtage: mât
- si possible d'antenne directionnelle

Zone de vol:

- uniquement vers le sud → antennes sectorielles
- mais finalement, contrainte de passer derrière le bâtiment → mix avec des antennes omnidirectionnelles

Liaison

Autoadaptation de la forme d'onde (bande passante disponible) selon le bilan de liaison disponible

Connexion directe Ethernet:

- Flux UDP priorisés, format CH10
- 1 acquisition par flux UDP: permet de récupérer les données les plus critiques en cas de dégradation du bilan de liaison

