

PRESENTATION :

“INTEGRATION & CERTIFICATION DE SYSTEMES DE TELEPHONIE MOBILE A BORD DES AVIONS DE LIGNE”



TABLE DE REVISION

Révision	Date	Objet de la révision	Ecrit par
R00	18/04/2014	Création (version confidentielle)	Stéphane ANDRE & Lilian LAGALY
R01	28/04/2014	Version non confidentielle	Lilian LAGALY

LISTE DE DISTRIBUTION

Destinataire(s)	Nb d'exemplaire(s)
Mr. Thomas GOUZENES (ARCEP)	1

TABLE DES MATERES

1	INTRODUCTION	4
2	DESCRIPTION D'UN SYSTEME « CONNECTIVITE GSM EMBARQUE »	5
2.1	ANTENNE RELAIS GSM DE TYPE « BASE TRANSCEIVER STATION »	6
2.2	LES « BROUILLEURS »	7
2.3	SYSTEME DE TELECOMMUNICATION DE TYPE « SATCOM »	7
2.4	LE SERVEUR.....	7
3	FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME DE CONNECTIVITE GSM EMBARQUE	8
4	CERTIFICATION D'UN SYSTEME DE CONNECTIVITE GSM EMBARQUES	10
4.1	CARTOGRAPHIE DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES « PIRE CAS »	11
4.2	ANALYSE	11
4.3	TESTS SUR AVION	11
4.3.1	Test « Back-door »	12
4.3.2	Test « Front-door »	12
5	CONCLUSION	13

LISTE DES ABBREVIATIONS

- **AEC:** Aeroconseil
- **AESA:** Agence Européenne pour la Sécurité de l'Aviation
- **BTS:** Base Transceiver Station
- **CRFMU:** Cell phone RF Management Unit
- **CRI:** Certification Review Item
- **DOA:** Design Organization Approval
- **EUROCAE:** European Organisation for Civil Aviation Equipment (Organisation Européenne pour l'Équipement de l'Aviation Civile)
- **E-UTRA:** Evolved Universal Terrestrial Radio Access
- **FAA:** Federal Aviation Administration
- **GCAA:** General Civil Aviation Authority
- **GSM:** Global System for Mobile communications
- **IPL:** Interference Path Loss
- **LTE:** Long Term Evolution
- **MCA:** Mobile Communications on Aircraft
- **OEM:** Original Equipment Manufacturer
- **OMT(S):** On-Board Mobile Telephony (System)
- **PED:** Personal Electronic Device (terme générique pour designer les appareils électroniques personnels des passagers)
- **P/N:** Part Number
- **RF:** Radio Frequency
- **RTCA:** Radio Technical Commission for Aeronautics
- **SB:** Service Bulletin
- **STC:** Supplement Type Certificate
- **T-PED:** Transmitting PED

1 INTRODUCTION

La société française Aeroconseil est spécialisée dans la conception, l'intégration et la certification de modifications d'aéronef. Elle est agréée par l'Agence Européenne pour la Sécurité de l'Aviation (EASA) en qualité de DOA (Design Organization Approval), sous le numéro d'agrément EASA.21J.039.

Parmi ces modifications d'aéronef, l'intégration de système permettant la "Connectivité embarquée" (GSM/WiFi) est devenue au fil des huit dernières années une des spécialités de l'entreprise toulousaine (Aeroconseil a été en 2008 le 1^{er} DOA à obtenir une certification de système GSM embarqué).

Aeroconseil compte à ce jour plus de 15 STC (Supplément au Certificat de Type de l'aéronef), approuvés en Europe par l'EASA, mais aussi aux États-Unis pour deux d'entre eux par la Federal Aviation Administration (FAA), et dans les pays du golfe Persique par la General Civil Aviation Authority (GCAA).

Le tableau ci-dessous en liste les principaux :

















N° STC AESA	Date de publication	Applicabilité Avion	Système installé
10014698	05/03/2008	AIRBUS A340	
10014699	17/09/2010	AIRBUS A330	
10014898	26/05/2008	BOEING 777-200 BOEING 777-300	
10037524	02/12/2011	AIRBUS A330-300	 
10038663	08/03/2012	BOEING 777	
10039705	18/05/2012	AIRBUS A330-200	 
10040592	12/07/2012	AIRBUS A330-200	 
10041655	04/10/2012	BOEING 777-200LR BOEING 777-300ER	 
10046868	07/11/2013	AIRBUS A340-600	 
10047491	17/12/2013	AIRBUS A340-300	 

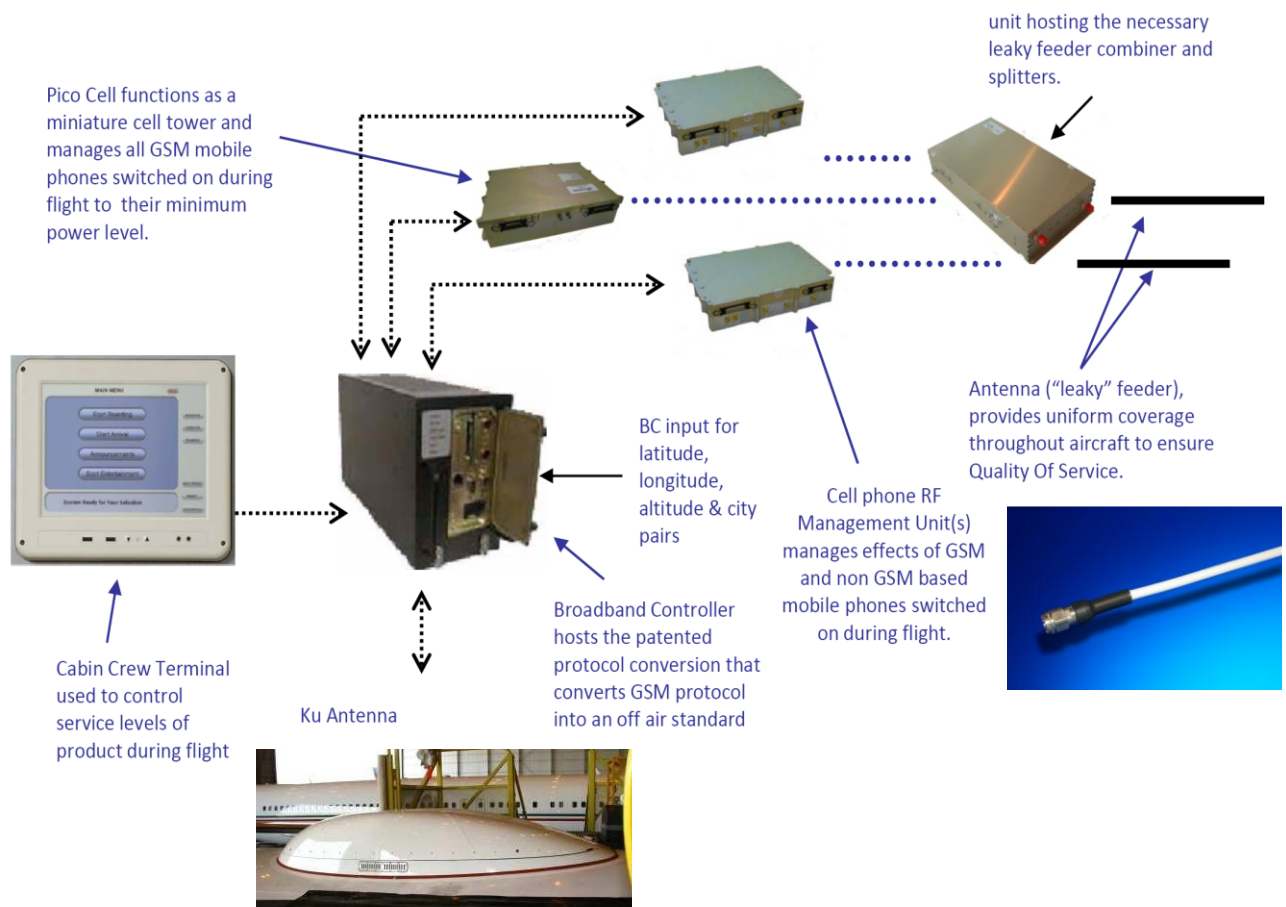
Tableau 1 – Liste des STC AESA détenus par AEC concernant des systèmes de téléphonie mobile à bord d'avions de ligne

2 DESCRIPTION D'UN SYSTEME « CONNECTIVITE GSM EMBARQUE »

Le système de "connectivité GSM embarqué" permet à l'équipage et aux passagers d'utiliser leur téléphone mobile à bord de l'avion, en phase de vol dite « croisière », et d'accéder au réseau de téléphonie terrestre via le système embarqué décrit ci-dessous.

Pour cela l'avion doit être équipé :

- D'un système de télécommunication de type "SATCOM" (communication par satellite) permettant de transmettre des données de l'avion vers le sol et du sol vers l'avion (système en général déjà présent à bord pour des applications avioniques nécessitant des échanges de données air/sol bilatéraux).
- D'une antenne relais de type "Base Transceiver Station" (BTS) permettant de créer un réseau GSM « local » (1800 MHz) à bord de l'avion et de couvrir l'ensemble de la cabine par le biais de deux antennes filaires (câbles fuyants ou « leaky feeders »).
- D'un serveur qui gère les échanges de données entre la BTS et le système de télécommunication "SATCOM", ainsi qu'avec les autres systèmes avion fournissant les données de vol utiles comme l'altitude, la position GPS, etc.
- Des « brouilleurs » qui viennent neutraliser à bord de l'avion toutes les fréquences autres que celles de la BTS, utilisées par les réseaux de téléphonie mobile terrestres selon les différents protocoles.
- D'un panneau de contrôle permettant à l'équipage de surveiller l'état de réseau et de neutraliser le système au besoin.



**Figure 1 – Description d'un système de téléphonie mobile à bord d'un avion
(ex. du système « eXPhone » de chez Panasonic Avionics Corporation)**

2.1 Antenne relais GSM de type « Base Transceiver Station »

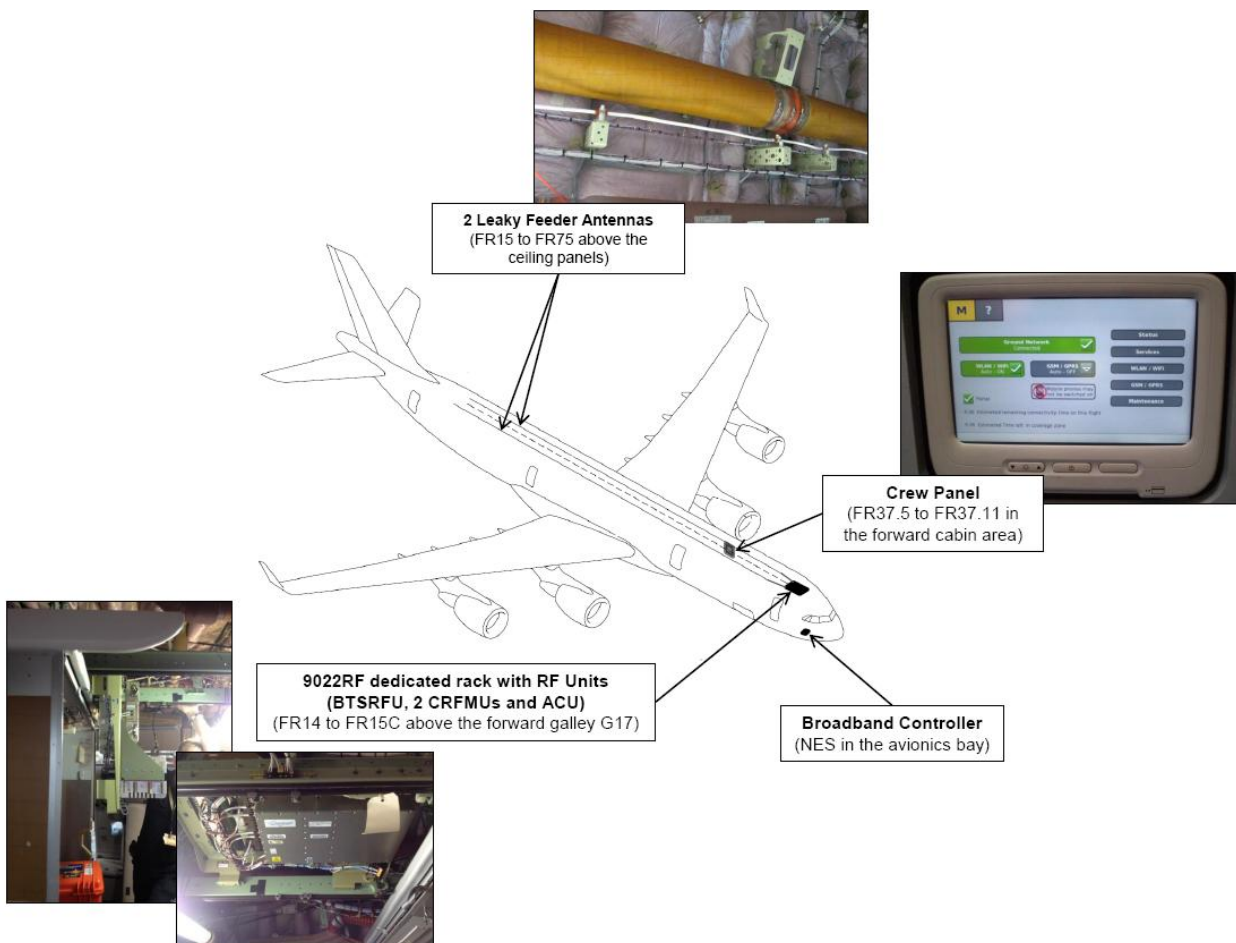
Le principe de base de l'antenne relais est identique à une BTS terrestre classique, mis à part les points suivants:

- La zone couverte est réduite à la cabine de l'avion (d'où des puissances de rayonnement beaucoup plus faible de l'ordre de +27.5 dBm max.).
- le diagramme de rayonnement doit être le plus homogène possible.

Les différentes parties constituant de l'antenne relais sont :

- La « Pico-cell » (ou « BTS ») qui gère les téléphones à bord de l'avion en leur imposant un niveau d'émission minimum (généralement 0dBm à 1800 MHz).
- La « Antenna Control/ Combining Unit » est un dispositif passif qui permet de combiner les signaux issues des brouilleurs et de la BTS.
- Les antennes filaires (ou « câbles fuyant ») sont des câbles antennes qui permettent d'obtenir un diagramme de rayonnement homogène dans l'ensemble de la cabine. Cela permet d'obtenir une transmission de bonne qualité en utilisant de très faible niveau de puissance.

L'antenne relais s'intègre généralement à bord de l'avion comme décrit dans la figure ci-dessous :



**Figure 2 – Intégration d'un système de téléphonie mobile à bord d'un avion
(ex. du système « eXPhone » de chez Panasonic Avionics Corporation)**

2.2 Les « brouilleurs »

Les « Cell phone RF Management Units » (ou « brouilleurs ») qui génèrent à bord de l'avion des ondes parasites servant à neutraliser les fréquences autres que 1800 MHz provenant des réseaux terrestres. Ainsi, elles empêchent les téléphones présents à bord de l'avion, et fonctionnant selon des protocoles autres que le GSM, de tenter de se connecter directement aux réseaux terrestre et d'émettre pour cela à pleine puissance. Pour éviter de nuire au bon fonctionnement des réseaux de télécommunications au sol, ces brouilleurs ne peuvent être utilisés qu'à partir de 5000 mètres d'altitude.

2.3 Système de télécommunication de type « SATCOM »

Le système de télécommunication "SATCOM" est généralement déjà installé à bord de l'avion avant l'installation du système de « Connectivité embarqués ». Il permet au réseau de l'avion de se connecter au réseau de téléphonie terrestre via un satellite en utilisant généralement la bande Ku ou Ka.

2.4 Le serveur

Le serveur est l'interface entre le "SATCOM" et l'antenne relais. Il permet notamment la conversion de données entre le protocole du SATCOM et le protocole GSM.

C'est aussi l'interface avec les systèmes de l'avion permettant d'avoir des données d'entrées comme l'altitude ou la position GPS actuelle de l'avion. Ces données permettent de gérer automatiquement le fonctionnement du système selon les différentes phases de vol ou les zones géographiques survolées (certains pays n'autorisant pas l'utilisation du téléphone portable en avion au dessus de leur territoire).

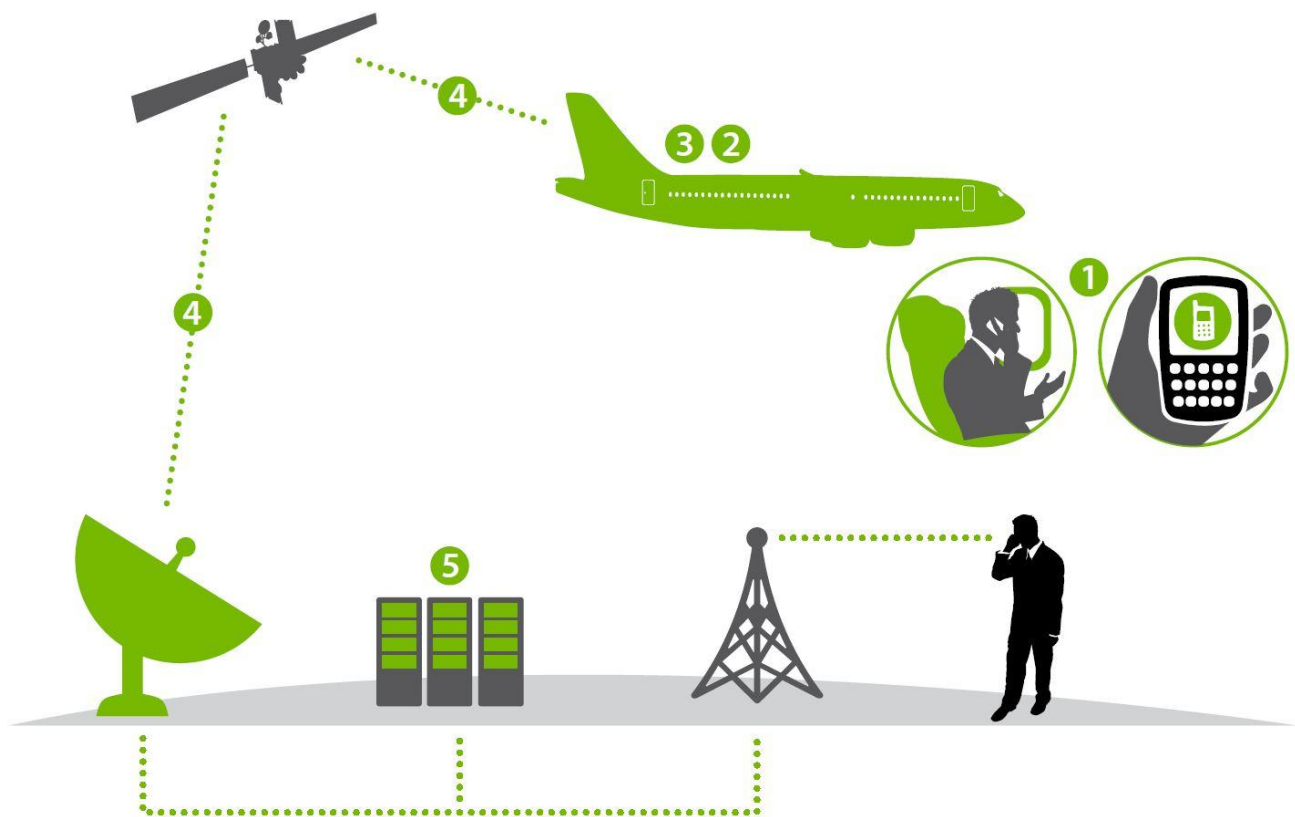
3 FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME DE CONNECTIVITE GSM EMBARQUE

Pour assurer un niveau de sécurité optimal, le système de "Connectivité embarqués" doit être capable de maintenir les téléphones à bord de l'avion à un niveau d'émission très faible.

Pour cela la "Picocell" va imposer un niveau de 0dBm pour les fréquences GSM à 1800 MHz.

Les CRFMUs empêchent les téléphones d'utiliser les autres fréquences en générant un niveau de bruit suffisant pour que les téléphones à bord ne reçoivent pas les signaux des stations terrestres.

Le schéma ci-dessous (issu du site Internet de l'équipementier **OnAir** spécialisé dans ce type de système) décrit le fonctionnement général du système :



- ① Les passagers utilisent leurs téléphones mobiles ou smartphones comme ils le font au sol.
- ② La BTS embarquée capte le signal.
- ③ Le signal est traité par le serveur embarqué qui assure la transmission des informations entre l'avion et le satellite.
- ④ Le signal est transmis par satellite.
- ⑤ L'infrastructure au sol du fournisseur d'accès spécialisé dans la téléphonie mobile à bord des avions traite le signal et assure la liaison avec les infrastructures terrestres existantes.

Figure 3 – Fonctionnement d'un système de téléphonie mobile à bord d'un avion
(source : www.onair.aero)

Pour éviter le brouillage des télécommunications au sol, le système ne peut être activé qu'à partir d'une certaine altitude. Les téléphones à bord doivent donc rester en mode "avion" jusqu'à la phase de croisière. Lors de la descente de l'avion, le système va dans un premier temps désactiver la "Picocell" puis une fois tous les téléphones à bord en mode avion la "Cell phone RF Management Units" est désactivée.

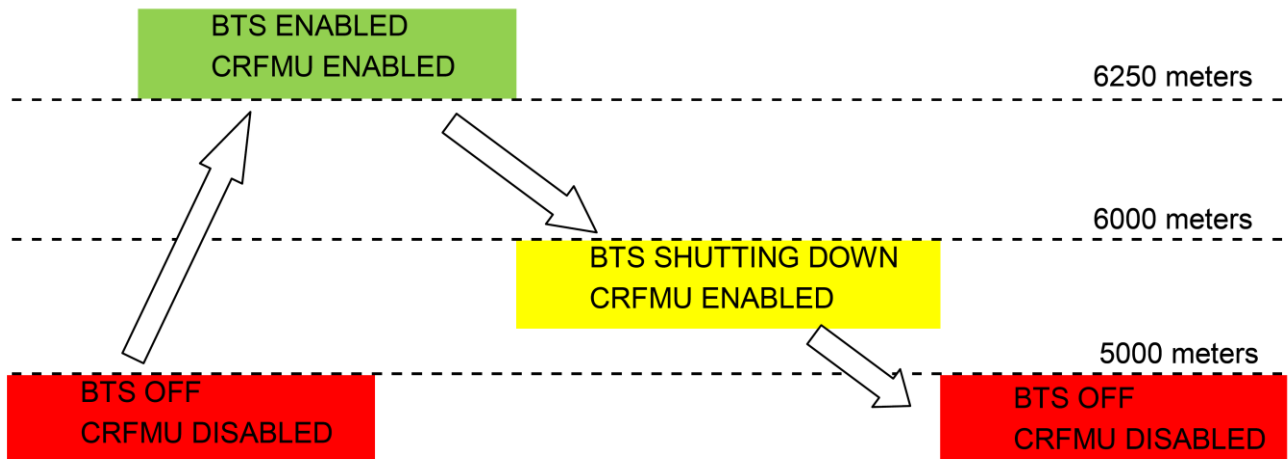


Figure 4 – Limitation de fonctionnement du système selon le niveau de vol (altitude)

4 CERTIFICATION D'UN SYSTEME DE CONNECTIVITE GSM EMBARQUES

La certification de ce type d'installation a pour but de démontrer que, suite à cette modification, l'avion reste conforme aux exigences de navigabilité applicables, et offre les conditions de sécurité et de sûreté de fonctionnement requises pour le transport de passagers.

L'organisme (DOA) chargé de faire cette démonstration va principalement s'attacher à vérifier que l'activation du système de connectivité GSM à bord de l'avion, et l'utilisation des téléphones portables qui en découle, ne mettent pas en péril, même en cas de dysfonctionnement, la bonne opération des autres systèmes de l'avion, et en particulier ceux indispensables à la sécurité du vol. Bien entendu, le type d'évènement redouté est la **perturbation par effet électromagnétique**.

La certification d'un système de connectivité GSM embarqué revient donc principalement à démontrer sa compatibilité électromagnétique avec les autres systèmes de l'avion.

Pour cela, Aeroconseil s'appuie sur son expertise mais aussi sur les directives de l'Agence Européenne pour la Sécurité de l'Aviation (AESA), qui elle-même s'appuie sur certaines normes industrielles dédiées telles que :

- 📄 ED-130 « Guidance for the use of Portable Electronic Devices (PEDs) on board Aircraft » publiée par l'EUROCAE (Organisation Européenne pour l'Equiptement de l'Aviation Civile)
- 📄 ED-14 « Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment » publiée par l'EUROCAE
- 📄 DO-160 publiée par la RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics), il s'agit de l'équivalent U.S. de l'ED-14 ci-dessus
- 📄 DO-294 « Guidance on Allowing Transmitting Portable Electronic Devices (PEDs) on Aircraft » publiée par la RTCA
- 📄 DO-307 « Aircraft Design and Certification for Portable Electronic Device (PED) Tolerance » publiée par la RTCA

La première étape de la démarche consiste à définir les niveaux d'intensité des champs électromagnétiques générés à bord par le fonctionnement de l'antenne relais et des téléphones portables des passagers, y compris en cas de dysfonctionnement du système. Pour cela, un certain nombre de scénarios « pire cas » sont envisagés.

Une fois les champs électromagnétiques « pire cas » (c'est-à-dire ne correspondant pas aux niveaux de puissances opérationnelles de l'antenne relais et des téléphones utilisés à bord en condition normale, mais des niveaux de puissances maximum que l'on peut raisonnablement craindre en cas de pannes) établis, on peut vérifier la compatibilité électromagnétique de chaque système avion, soit par analyse (voir § 4.2 ci-dessous), soit par test (voir § 4.3 ci-dessous).

4.1 Cartographie des champs électromagnétiques « pire cas »

Il existe des logiciels permettant de simuler les champs électromagnétiques générés à bord d'un avion par l'utilisation de téléphones portables, selon divers scénarios et divers paramètres (nombre d'utilisateurs par rapport au nombre total de passagers, répartition des téléphones sur toute la cabine, puissance d'émission, etc.).

4.2 Analyse

Chaque système avion essentiel à la sécurité du vol est analysé pour savoir si, en fonction de :

- sa localisation dans l'avion et l'intensité du champ électromagnétique « pire cas » envisageable à cet endroit d'une part,
- son niveau de qualification par rapport aux critères de susceptibilité électromagnétique de l'ED-14/DO-160 (section 21) d'autre part,

...il y a risque de perturbation électromagnétique ou pas.

Si un risque est identifié, le système est alors testé sur avion.

4.3 Tests sur avion

Comme le montre la figure ci-dessous, il existe 2 types de « couplage » électromagnétique possibles, pouvant potentiellement se traduire par des interférences, entre les émissions rayonnées des téléphones portables utilisés à bord et les systèmes avion :

- Couplage direct par rayonnement sur l'équipement ou les câbles → « **Back-door** »
- Couplage par propagation au travers des portes et/ou fenêtres de l'avion et conduction par l'antenne réceptrice et le câble qui la relie à l'équipement → « **Front-door** »

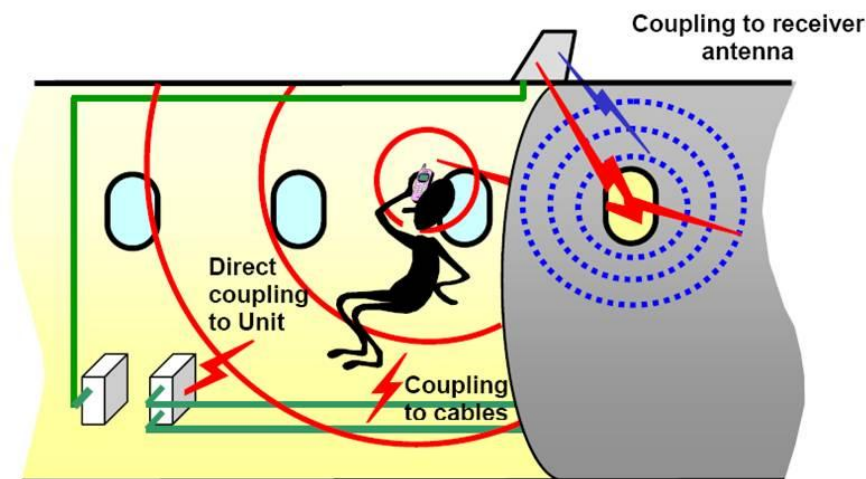


Figure 5 - Différents types de couplages électromagnétiques à bord de l'avion

Le couplage « **Back-door** » peut générer des interférences sur un équipement quelle que soit la fréquence du signal rayonné. Les émissions intentionnelles des téléphones portables (c'est-à-dire celles utilisant les bandes de fréquences allouées à l'opérateur de téléphonie mobile) sont donc particulièrement redoutées sur ce type de couplage.

Le couplage « **Front-door** » n'est quant à lui redouté que si les fréquences propagées sont comprises dans les bandes de fréquences opérationnelles du système avion. Or, tous les téléphones portables émettent, même de façon sporadique, des ondes non contrôlées sur des fréquences aléatoires. C'est la raison pour laquelle les interférences de type « front-door » ne sont pas à exclure.

4.3.1 Test « Back-door »

Comme son nom l'indique, ce test a pour but de vérifier la résistance de l'équipement de l'avion (et de la connectique associée) au rayonnement direct des émissions des téléphones portables à bord.

La méthodologie de test est la suivante :

- On simule le champ électromagnétique « pire cas » redouté à l'endroit où est installé le système à tester (ex. : un téléphone portable fonctionnant à pleine puissance et placé une dizaine de centimètres de l'équipement) au moyen d'une antenne rayonnante.
- A l'aide d'un générateur de fréquence (relié au besoin à un amplificateur), on simule toutes les fréquences utilisées pour tous les opérateurs de téléphonie mobile à travers le monde, et ce quelles que soient les technologies mises en œuvre (GSM ou autre), **y compris les fréquences utilisées pour la 3G et les 4G.**
- Pour chacune des fréquences utilisées, on effectue un test opérationnel de l'équipement ainsi agressé.

Les photos ci-dessous montrent le matériel mis en œuvre pour ce type de test :

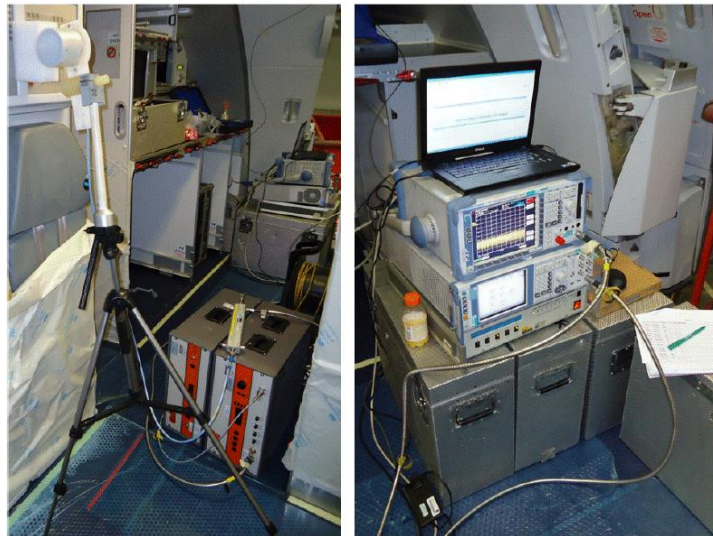


Figure 6 – Banc de test « Back-door »

4.3.2 Test « Front-door »

Le test « Front-door » consiste donc à vérifier qu'il n'y a pas de risque d'interférences sur les systèmes radio de l'avion, par le biais des antennes, dû aux émissions non-intentionnelles des téléphones portables utilisés à bord et qui se propageraient à l'extérieur.

Comme indiqué plus haut, les téléphones portables émettent « intentionnellement » à des fréquences dites « opérationnelles » (2G, 3G, 4G, etc.), mais ils émettent également, de façon « non-intentionnelle », du bruit à des fréquences aléatoires.

Le niveau de bruit émis théorique est connu suite à de nombreuses études permettant d'avoir des données statistique par fréquence.

Aussi, le test « Front-door » consiste, pour chaque système radio de l'avion, à mesurer le niveau de perte (ou « atténuation ») entre un bruit volontairement émis depuis la cabine, et la réception qui en est faite, via son antenne, au niveau de l'émetteur récepteur situé quant à lui en soute avionique.

L'atténuation mesurée doit être supérieure à un seuil minimum indiqué par la norme RTCA DO-307. Ce ratio garantit que le bruit généré en cabine (potentiellement par des téléphones portables) va être suffisamment atténué par la structure de l'avion pour que, une fois couplé aux antennes extérieures, l'intensité du signal soit inférieure au seuil de sensibilité du récepteur avion et, par conséquent, ne présente aucun risque d'interférence pour ce dernier.

5 CONCLUSION

Comme le montre ce document, Aeroconseil dispose d'une grande expérience dans l'intégration à bord d'avions de ligne, et dans la certification selon la réglementation aéronautique en vigueur, de systèmes de téléphonie mobile embarqués.

Dans le cadre de cette certification, Aeroconseil réalise déjà des tests de susceptibilité électromagnétique des équipements avions aux fréquences utilisées (actuellement ou dans le futur) pour la 3G et la 4G (voir détail en Annexe).

Aussi, en qualité d'expert technique, la société Aeroconseil serait heureuse d'accompagner et de conseiller l'ARCEP dans son projet de décision visant à autoriser la 3G et la 4G dans les avions et à une altitude supérieure à 3000 mètres au-dessus du sol.

