

## RAPPORT 1051-1

**SERVICE MOBILE TÉLÉPHONIQUE PUBLIC AVEC LES AÉRONEFS**

(Question 74/8)

(1986-1990)

**1. Introduction**

1.1 Le présent Rapport énonce les principes généraux sur lesquels repose le service mobile téléphonique public avec les aéronefs et, en particulier, les caractéristiques d'exploitation ainsi que les caractéristiques techniques déterminantes pour obtenir un fonctionnement satisfaisant.

1.2 Les systèmes téléphoniques mobiles publics analysés dans ce Rapport sont définis comme des systèmes d'aéronefs pour la correspondance publique reliés au réseau téléphonique public international avec commutation (RTPC).

1.3 Plusieurs systèmes sont déjà exploités ou envisagés par diverses administrations pour assurer ce service. Les systèmes de Terre offrent certains avantages par rapport aux systèmes à satellite. Ces derniers connaîtront leurs applications les plus importantes au-dessus des vastes étendues marines ou de continents étendus qui ne peuvent être desservis par des systèmes de Terre. La réutilisation des fréquences peut, dans un système de Terre utilisant une géométrie de type cellulaire, procurer infiniment plus de voies qu'une couverture par satellite, même en partant de l'hypothèse de l'émission de faisceaux ponctuels multiples par le satellite. C'est dans les régions fortement peuplées où un fort volume de mouvements locaux d'aéronefs nécessite une importante capacité en voies, que les systèmes de Terre seront les plus pratiques.

1.4 On trouvera dans l'Annexe I l'indication des caractéristiques du système de Terre conçu au Japon.

1.5 Les caractéristiques du système de Terre expérimental actuellement mis en oeuvre aux Etats-Unis d'Amérique et au Canada et dont l'Australie envisage maintenant la mise en oeuvre sont indiquées dans l'Annexe II.

1.6 Les principales caractéristiques du système de Terre retenu pour exploitation intérimaire par le Royaume-Uni et qui constitue l'une des solutions étudiées par l'Institut de normalisation des télécommunications européennes (ETSI) pour utilisation en Europe sont indiquées dans l'Annexe III.

## 2. Considérations générales relatives à l'exploitation du service mobile téléphonique public avec les aéronefs

2.1 Le système devrait être pleinement compatible et offrir des possibilités d'interface avec le RTPC international, et il devrait aussi avoir un fonctionnement simple.

2.2 Il convient de prévoir un nombre de canaux suffisant pour pouvoir faire face à la demande prévisible de service.

2.3 Le système devrait être de conception modulaire et pouvoir répondre aux besoins du type monovoie ou multivoie.

2.4 La qualité de service devrait être comparable à celle du réseau public avec commutation (téléphonie et données).

2.5 Le système devrait, dans la mesure du possible, offrir une couverture ininterrompue sur toute l'étendue des zones de service spécifiées, avec possibilité d'exploitation coordonnée de part et d'autre des frontières nationales.

2.6 Il est souhaitable d'avoir une possibilité d'appel à destination et à partir des aéronefs.

2.7 Il convient d'assurer l'établissement automatique et le traitement administratif des communications à destination et à partir des stations mobiles.

2.8 Le système ne doit avoir aucune incidence nuisible sur la sécurité du service aéronautique.

## 3. Caractéristiques techniques du service téléphonique mobile avec les aéronefs

### 3.1 Bande de fréquences

3.1.1 Dans le renvoi 731B, la CAMR MOB-87 a attribué les bandes de fréquences 1 593 - 1 594 MHz et 1 625,5 - 1 626,5 MHz également au service mobile aéronautique en Région 1 (exception faite de la Syrie et de la Tunisie) à titre primaire et en Régions 2 et 3 (et la Syrie et la Tunisie) à titre secondaire. Le service est limité à la correspondance publique avec les aéronefs et il est soumis aux dispositions des renvois 731A et 731D selon lesquelles il ne doit pas prétendre à être protégé contre les brouillages des stations des services de radionavigation aéronautique et de radionavigation ou leur causer des brouillages selon les cas ou causer des brouillages nuisibles aux stations du service fixe fonctionnant dans les pays énumérés dans le renvoi 730 (voir aussi la Recommandation N° 408 MOB-87).

3.1.2 Bien que la CAMR MOB-87 ait attribué les bandes de fréquences 1 593 - 1 594 MHz et 1 625,5 - 1 626,5 MHz sous certaines conditions aux systèmes de Terre, la Recommandation N° 408 relève que ces fréquences seraient appropriées pour des systèmes préopérationnels et expérimentaux et qu'elles causeraient de considérables difficultés dans certains pays. De plus, la Recommandation N° 408 (MOB-87) invite aussi le CCIR à identifier d'autres bandes de fréquences techniquement préférées pour un futur système mondial de Terre. En conséquence, le § 4.6 de la Décision 81 charge le GTI 8/14 de déterminer quelles autres bandes de fréquences techniquement préférées pourraient être attribuées à un tel système.

3.1.3 La Recommandation 408 invite encore le CCIR à étudier d'urgence les critères de partage nécessaires entre systèmes CPA fonctionnant dans les bandes 1 593 - 1 594 MHz et 1 625,5 - 1 626,5 MHz et les autres services travaillant dans la même bande et dans des bandes de fréquences adjacentes.

3.1.4 L'étude des brouillages avec le Système global de détermination de la position (GPS) est faite dans le Rapport 766 du CCIR et avec le RDSS dans l'Annexe II au Rapport 1050 du CCIR

3.1.5 Les systèmes de Terre mentionnés aux § 1.4 et 1.5 et décrits dans les Annexes I et II fonctionnent dans la bande 9 dans la gamme des fréquences comprise entre 800 MHz et 900 MHz.

3.1.6 Le système de Terre mentionné au § 1.5 et décrit dans l'Annexe III utilise la bande de fréquences conformément aux indications données dans le § 3.1.1.

### 3.2 Modulation

3.2.1 Divers types de modulation, par exemple MF, MP, BLU avec compression-extension en amplitude, BLU-MA, MDMG (Modulation à déplacement minimal à filtre gaussien) et MPQ-DBL (Modulation de phase quadrivalente avec décalage à bande limitée) avec option AMRT, ont été proposés. Chaque méthode a ses avantages et ses inconvénients pour ce qui est de la qualité des communications, de l'efficacité d'utilisation du spectre et de l'économie. Des études complémentaires sont nécessaires pour faciliter la conclusion d'un accord international sur les types de modulation à utiliser.

### 3.3 *Signalisation*

3.3.1 L'exploitation d'un système téléphonique mobile public complètement automatique avec les aéronefs nécessite une méthode perfectionnée de signalisation pour la gestion des communications et l'acquisition des canaux.

3.3.2 Des exemples illustrant ce genre de méthode de signalisation figurent dans le Rapport 742.

### 3.4 *Codage téléphonie/données*

3.4.1 A déterminer.

### 3.5 *Equipement de bord*

3.5.1 Il convient de réduire au minimum les dimensions et le poids de l'équipement de bord.

3.5.2 Si possible, l'équipement de bord doit pouvoir assurer d'autres fonctions de communication.

3.5.3 L'équipement de bord doit être en compatibilité électromagnétique avec les autres systèmes des aéronefs, conformément aux consignes réglementaires en vigueur.

3.5.4 Le système doit avoir une incidence minimale sur l'ingénierie, la maintenance et l'exploitation des aéronefs.

### 3.6 Considérations relatives à la propagation et à l'effet Doppler

3.6.1 On trouvera dans l'Annexe IV une analyse des problèmes liés à la propagation et à l'effet Doppler.

## 4. Conclusion

4.1 Le présent Rapport n'est qu'une ébauche en ce qui concerne la définition des caractéristiques d'exploitation et des caractéristiques techniques à utiliser pour le service mobile téléphonique public avec les aéronefs. Dans le système proposé, on doit étudier plus avant un grand nombre d'aspects afin de contribuer à l'élaboration de normes internationales.

4.2 Les systèmes CPA fonctionnant dans la bande de fréquences 1 559 - 1 625,5 MHz risquent de brouiller les systèmes GPS, GLONASS et RDSS et la réception de signaux dans le service de radionavigation travaillant dans la même bande. Ce sujet nécessite des études complémentaires.

4.3 Les systèmes pour la correspondance publique aéronautique (CPA) fonctionnant dans la bande 850 - 895 MHz dans la Région 1 peuvent causer des brouillages au réseau Paneuropéen de radiocommunications numérique cellulaire (GSM). Cependant cette bande ne peut normalement être utilisée en Région 1 pour les systèmes de CPA.

## ANNEXE I

### SYSTÈME MOBILE TÉLÉPHONIQUE PUBLIC AVEC DES AÉRONEFS AU JAPON

#### 1. Introduction

Au Japon, on a mis au point un système mobile téléphonique public avec les aéronefs. Ce système est réalisé économiquement grâce à une exploitation partielle mixte avec le réseau (cellulaire) mobile téléphonique terrestre. En outre, il se présente sous forme de système de communication mobile intégré.

#### 2. Caractéristiques d'exploitation

Les caractéristiques d'exploitation sont les suivantes:

- exploitation totalement automatique avec sélection directe en liaison avec le réseau téléphonique public avec commutation (RTPC);
- abonnés itinérants: enregistrement de la position et accès à distance aux fichiers;
- transfert;
- service téléphonique et service non affecté aux conversations;
- service fourni non seulement aux lignes aériennes mais aussi à l'aviation générale;
- couverture de presque tous les itinéraires réguliers nationaux.

#### 3. Fonctions du système

La configuration du système est représentée à la Fig. 1.

Les fonctions du système sont les suivantes:

- le système est composé d'un équipement de station mobile installé à bord d'aéronefs et d'un équipement de station au sol;
- l'équipement de station au sol comporte les éléments suivants:
  - des émetteurs et récepteurs pour la transmission des différents signaux sur un trajet radioélectrique,
  - un équipement de station mobile de gestion, pour gérer l'établissement du trajet de conversation,
  - un équipement de centre de commutation pour relier le réseau mobile au réseau téléphonique public avec commutation (RTPC);
- la station mobile de gestion et l'équipement de commutation sont utilisés en commun avec le système mobile téléphonique terrestre;
- la gestion de l'établissement du trajet de conversation tant pour les appels air/sol que pour les appels sol/air s'effectue au moyen d'un canal radioélectrique unique et les messages de gestion sont tous numérisés;
- la qualité de la parole satisfait aux exigences requises pour le service téléphonique public.

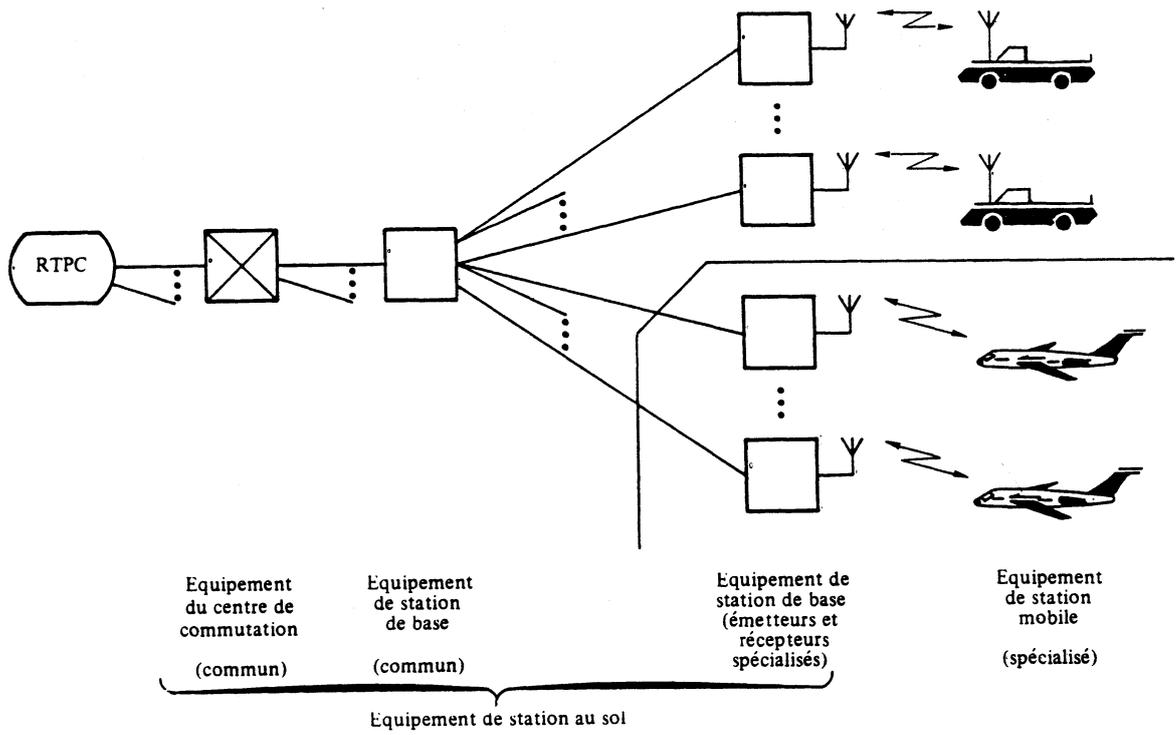


FIGURE 1 – Configuration du système

#### 4. Caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques sont basées sur celles du système (cellulaire) mobile téléphonique terrestre (voir le Rapport 742 et [Ogawa, 1987]).

Les caractéristiques principales figurent au Tableau I.

TABLEAU I – Caractéristiques techniques

Bandes de fréquences (MHz)		800-900
Espacement des canaux (kHz)		25
Nombre total de canaux duplex		80
Type de modulation		MP
Puissance de sortie (W)	Station de base	40
	Station mobile	10

Le type de modulation est la modulation de phase qui est meilleure que la MA-BLU du fait que la puissance d'entrée nécessaire dans le récepteur est plus faible pour cette technique de modulation que pour la MA-BLU, spécialement dans le cas de transmission de signaux numériques non affectés à la conversation. De plus, la détérioration de la qualité de transmission causée par l'effet Doppler est négligeable et le coût de l'équipement est peu élevé.

## 5. **Exploitation**

Ce système est entré en service en 1986.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OGAWA, K. [octobre 1987] - Present and future mobile communications services, JTR, p. 65-93.



## ANNEXE II

CORRESPONDANCE PUBLIQUE A BORD DES AERONEFS COMMERCIAUX  
AUX ETATS-UNIS D'AMERIQUE ET AU CANADA1. Introduction

Un système perfectionné de correspondance publique air-sol de Terre fonctionne actuellement à titre expérimental aux Etats-Unis d'Amérique et au Canada dans la bande des ondes décimétriques; il est fondé sur des accords de service avec des transporteurs aériens nationaux qui couvrent plus de 90% du marché des voyages aériens en Amérique du Nord. Dès le mois de décembre 1988, environ 900 aéronefs commerciaux étaient équipés pour le service air-sol avec, en moyenne, 2 émetteurs-récepteurs pour les aéronefs à moyenne capacité et 4 émetteurs-récepteurs pour les aéronefs à grande capacité. On prévoit, pour 1989, environ 600 nouvelles installations. L'expérience acquise grâce à ce système air-sol de Terre permettra d'établir des règles d'exploitation pour les services de communication offerts aux passagers des lignes aériennes et fournira des informations sur l'existence d'une demande de ces services par les passagers. Les aspects techniques de ce système sont exposés ci-après.

2. Technique2.1 Architecture du système2.1.1 Réutilisation des fréquences

Le système téléphonique public air-sol utilise des bandes de 4 MHz divisées en deux bandes de 2 MHz, l'une pour la liaison dans le sens air-sol, et l'autre, espacée de 45 MHz, pour la liaison dans le sens sol-air. Chacune des deux bandes est divisée en 10 sous-bandes de 200 kHz, ce qui donne un total de 310 voies et de 10 fréquences pilotes avec des bandes de garde. Les 10 sous-bandes sont utilisées dans une matrice qui couvre la partie continentale des Etats-Unis d'Amérique et les principales routes aériennes du Canada.

La configuration de ce système permet une réutilisation des fréquences analogue à celle utilisée dans un service radiotéléphonique cellulaire. Mais, si dans le service mobile terrestre, la réutilisation est fondée sur un service à limitation par le brouillage, la géométrie utilisée pour les communications air-sol et le rythme relativement lent du changement de l'affaiblissement de propagation sur le trajet avec la distance obligent à fonder la réutilisation sur une régulation du brouillage limitée par l'horizon plutôt que par la puissance.

La dimension et la séparation des cellules sont imposées par les altitudes minimale et maximale de vol des aéronefs desservis. Pour des altitudes d'environ 3 000 m, le rayon maximal d'une cellule est proche de 240 km. Chaque station au sol a un rayon d'exploitation allant jusqu'à l'horizon radioélectrique, lequel varie selon l'altitude de l'aéronef (par exemple, pour une altitude de 13 700 m, la distance à l'horizon est d'environ 480 km) et attribue de façon typique les voies téléphoniques en fonction de la demande créée par les voies aériennes.

La séparation effective des cellules est influencée par des problèmes supplémentaires tels que l'altitude des stations au sol et la hauteur des antennes, les marges de propagation, la connaissance de l'emplacement des aéronefs et des considérations topographiques. La combinaison de ces données avec les conditions du trafic analysé permet de construire un plan de fréquence efficace permettant à divers groupes de cellules de partager les mêmes fréquences selon un schéma de réutilisation approprié.

### 2.1.2 Modulation de la liaison

Le système utilise la modulation à bande latérale unique (BLU) pour toutes les communications (téléphonie et données) dans une voie de 6 kHz.

### 2.1.3 Sélection des voies d'une liaison

La création du réseau téléphonique air-sol national a été rendue possible par la mise en place de stations au sol couvrant tout le pays, chacune desservant une zone de service de 800 km de diamètre environ et pouvant traiter simultanément jusqu'à 31 communications. Chaque station recueille les données de facturation de toutes les communications qui l'empruntent. Les stations assurent également la surveillance de tous les équipements de bord et, en cas de défaut de fonctionnement d'un élément, elles avisent automatiquement un centre en sorte que le problème peut être rapidement résolu.

Le système se compose de deux sous-systèmes:

- a) les composants actifs de l'équipement de bord sont: une unité d'ordinateur embarquée ("ACU"), une unité commune ("CMN"), des émetteurs-récepteurs air-sol (RT), un support de combiné de cabine ("CHH") et des combinés sans cordon;
- b) les stations de base à terre, qui comprennent une unité de commande au sol (GCU), une interface avec le réseau public commuté et des émetteurs-récepteurs sol-air (RT).

A chaque station au sol est assignée l'une des dix sous-bandes de 200 kHz qui est alors divisée en 31 sous-canaux plus un seul canal pilote.

Chaque station de base comporte un émetteur de canal pilote en fonctionnement permanent qui émet constamment une liste des canaux téléphoniques disponibles dans le groupe où se trouve le canal pilote. Lorsqu'un émetteur-récepteur d'aéronef "prend" un canal disponible pour une communication, la station de base enlève ce canal de la liste diffusée.

Ce système est conçu de telle manière que les émetteurs-récepteurs au sol travaillent toujours sur des fréquences fixes. Par contre les émetteurs-récepteurs de bord sont des appareils à agilité de fréquence et ils sont accordés pour pouvoir être appariés avec la fréquence d'un émetteur-récepteur au sol sous le contrôle d'une unité d'ordinateur de bord (ACU).

Dans les aéronefs équipés du téléphone, les fréquences pilotes sont régulièrement balayées pour trouver un signal de station de base permettant d'entreprendre l'établissement de la prochaine communication téléphonique. Ce balayage s'effectue toutes les trois minutes; il est entièrement effectué en quelques secondes. L'un des émetteurs-récepteurs de bord est utilisé pour ce balayage. Si tous les émetteurs-récepteurs sont pris pour des communications téléphoniques, tout nouvel accès au réseau téléphonique public commuté doit attendre que la libération d'un émetteur-récepteur permette un nouveau balayage des fréquences pilotes.

Le choix du canal d'une station de base est déterminé par l'évaluation de la force des signaux de tous les canaux pilotes détectés ainsi que par la mesure de leurs effets Doppler. Un aéronef volant en direction d'une station de base recevra un signal pilote à une fréquence plus haute que sa fréquence réelle, alors que s'il s'éloigne de cette station, la fréquence du signal reçu sera plus basse que sa fréquence réelle. L'ACU compile un tableau des forces des signaux reçus et des décalages de fréquence Doppler et choisit la station de base la plus appropriée selon un algorithme de sélection préprogrammé qui assurera aux clients le temps de connexion le plus long. Ce temps de connexion est normalement compris entre 20 et 40 minutes et il est très rare qu'une communication soit perdue par le fait qu'un aéronef s'écarte de la zone de service d'une station de base.

Pour détecter l'effet Doppler avec précision, les étalons de fréquence du système (un pour chaque aéronef et un pour chaque station de base) doivent être d'une grande précision. Le décalage de fréquence Doppler est approximativement d'un hertz par mégahertz à la vitesse de 965 km/h: un appareil à réaction volant directement en direction d'une station de base ou s'en éloignant directement ressentira un décalage Doppler d'environ 800 Hz dans la bande des 900 MHz. Le décalage Doppler brut est déterminé par détection MF (dans un émetteur-récepteur) de la porteuse pilote de la station de base.

Chaque station de base a une portée utile d'environ 320 km selon l'altitude de croisière des aéronefs. Le transfert d'une station de base à une autre n'est pas actuellement nécessaire; plutôt que de transférer une communication, le système est conçu pour établir les communications de façon préférentielle selon un algorithme de sélection visant à maximaliser le temps de connexion.

Il faut une régulation efficace de la puissance des émetteurs de bord pour empêcher toute intermodulation et éviter que les aéronefs, à proximité des récepteurs de la station à terre, ne couvrent les signaux faibles émis par des aéronefs plus lointains dans des sous-canaux adjacents. L'équipement de bord utilise le CAG et le CAF pour régler le gain et la dérive Doppler exacte des émetteurs et récepteurs de l'aéronef. En conséquence, les récepteurs au sol peuvent se passer de CAF et n'exigent qu'un CAG limité, la régulation de l'effet Doppler et de la puissance étant assurée par l'émetteur de bord, pour la liaison air-sol.

Le système de téléphone public air-sol permettra, comme le téléphone au sol, la sélection automatique et l'accès aux renseignements de l'annuaire. Le demandeur, à bord de l'aéronef, pourra établir une communication en utilisant une quelconque des principales cartes de crédit. La configuration actuelle du système ne permet pas d'appeler l'aéronef, cela afin d'éviter de perturber les procédures et le service de cabine normaux des lignes aériennes.

## 2.2 Matériel

On utilise, à bord des aéronefs équipés, des antennes-lame unipolaires normales. Une antenne peut servir pour deux émetteurs-récepteurs; sur les aéronefs de moyenne capacité, une seule antenne est donc nécessaire. Le meilleur emplacement, pour l'antenne, est sur la face inférieure du fuselage, au centre d'une coupe définie par l'envergure maximale, le fuselage se comportant comme un sol plan d'une dimension égale à plusieurs longueurs d'onde dans toutes les directions.

### 2.2.1 Combinés sans cordon

L'ACU est installé dans le compartiment électronique de l'aéronef. L'ACU contient un microprocesseur utilisé pour les fonctions de commande et une station de base avec canaux radioélectriques qui émet pour les combinés sans cordon de l'aéronef, sur une fréquence de 1,7 MHz, avec une puissance de 90 milliwatts et reçoit sur une fréquence de 49 MHz. L'ACU convertit les fréquences utilisées par les combinés - avec et/ou sans cordon - en fréquence du canal air-sol. Le microprocesseur de l'ACU assure d'autres fonctions de commande, surveille l'équipement de bord et recueille les données de fonctionnement.

Le CHH est un appareil mural qui porte le combiné sans cordon. Un combiné peut être placé dans chaque CHH. Les supports des combinés de cabine peuvent être installés, à l'intérieur de la cabine, dans des endroits appropriés. Ils comportent un lecteur de cartes de crédit, un microprocesseur et un chargeur de batterie. Le CHH lit la carte de crédit de chaque client et transmet les renseignements à l'ACU qui, à son tour, vérifie la carte de crédit et renvoie au CHH un ordre de "déverrouillage". Le CHH verrouille alors mécaniquement la carte de crédit et libère, pour le client, le combiné sans cordon. Ensuite, lorsque le combiné est raccroché, le CHH s'assure, en liaison avec l'ACU, que c'est le bon combiné qui a été raccroché, verrouille le combiné et libère la carte de crédit. Le CHH n'utilise pas, lui-même, de fréquences radioélectriques. Il se sert de l'émetteur-récepteur du combiné sans cordon pour communiquer avec l'ACU. Chaque CHH possède un dispositif d'affichage alphanumérique qui guide le client et affiche, si besoin est, des messages d'erreur.

### 2.2.2 Combinés montés au dos des sièges

Afin d'améliorer la possibilité d'accès au téléphone pour les passagers, les combinés sont montés au dos des sièges. Ces appareils sont directement câblés sur l'ACU. L'insertion d'une carte de crédit libère le combiné de son support. Une fois le combiné libéré, la carte de crédit traverse un lecteur de bande magnétique incorporé au combiné. Le traitement de la communication s'effectue selon un processus semblable à celui qui a été décrit en détail ci-dessus pour les combinés sans cordon.

Le CMN contient les circuits à radiofréquences (RF) et l'alimentation de tout l'équipement air-sol du compartiment électronique de l'aéronef. Il comporte une source d'alimentation triphasée fonctionnant séparément du système d'alimentation à 400 Hz de l'aéronef. Des fusibles et des circuits redondants protègent le système d'alimentation de l'aéronef et empêchent toute défaillance ponctuelle de l'alimentation dans le système.

Le Tableau II contient les spécifications de ce système de correspondance publique air-sol.

TABLEAU II

Caractéristiques techniques

	Station d'aéronef	Station au sol
Puissance de sortie de l'émetteur	+40 dBm	+40 dBm
Affaiblissement du filtre de l'émetteur	1 dB	1 dB
Affaiblissement du dispositif d'alimentation de l'antenne	1 dB	3 dB
Gain d'antenne	0 dB	3 dB
Bruit du récepteur (max.)	5 dB	5 dB
Affaiblissement du duplexeur du filtre	1 dB	N/A
Combineur de l'émetteur	4 dB	N/A
Fréquence de l'émetteur**	895 MHz $\pm$ 1 MHz	850 MHz $\pm$ 1 MHz
Affaiblissement sur le trajet*	141 dB	140,5 dB
Niveau du signal à la réception	-103,5 dBm	-108 dBm
Niveau de bruit (6 kHz dBW)	-136 dBm	-136 dBm
Rapport signal/bruit	27,5 dB	23 dB

\* Altitude: 9 000 m  
Distance: 300 km

\*\* Ces bandes de fréquences sont actuellement utilisées aux Etats-Unis d'Amérique et au Canada à titre provisoire. Elles ne peuvent pas être actuellement utilisées dans la Région 1.

## ANNEXE III

SOLUTION RETENUE AU ROYAUME-UNI POUR LE SERVICE MOBILE  
TELEPHONIQUE PUBLIC EN VUE DE COMMUNIQUER AVEC DES AERONEFS1. Introduction

Le Royaume-Uni a étudié des méthodes permettant d'assurer un service téléphonique public avec des aéronefs, ce qui a abouti au choix d'un système assurant une utilisation efficace du spectre des fréquences, une couverture de zone étendue, permettant une continuité maximale des communications et donnant à chaque aéronef l'accès à 8 circuits téléphoniques (qui pourra passer à 32) tout en gardant au minimum le poids, la puissance et la génération de chaleur de l'équipement de bord. Outre ces facteurs opérationnels, la conception du système est telle qu'il sera possible de le moderniser facilement pour y incorporer des codecs vocaux à débit plus lent. On trouvera ci-dessous la description de ses caractéristiques techniques et opérationnelles.

2. Conception du système

Le système est conçu afin de pouvoir utiliser les deux bandes d'1 MHz (1 593 - 1 594 MHz et 1 625,5-1 626,5 MHz) attribuées par la CAMR MOB-87. Chacune de ces bandes sera divisée en 39 canaux de 25 kHz, ce qui assure des bandes de garde de 12,5 kHz en limite de chaque bande de 1 MHz.

La rapidité de modulation sera d'environ 38 kbit/s avec méthode MRT pour la liaison sol-air et AMRT pour la liaison air-sol.

Chaque canal peut acheminer 4 circuits téléphoniques de 9,6 kbit/s.

Le système pourra passer à un service à 4,8 kbit/s sur les canaux nécessaires dans le cas d'aéronefs équipés de codecs vocaux à débit plus lent lorsque ce matériel sera disponible. On disposera alors d'une capacité maximale de 312 circuits/MHz. Dans un proche avenir, les techniques de réduction des données permettront encore de doubler cette capacité.

2.1 Décalage dû à l'effet Doppler

La vitesse du rayonnement électromagnétique est d'environ un million de fois supérieure à la vitesse de croisière normale des aéronefs qui utiliseront ce système. Le décalage du signal dû à l'effet Doppler est donc d'environ 1 Hz/MHz (c'est-à-dire de 1,6 kHz) pour un aéronef se déplaçant radialement par rapport à une station au sol. Cette valeur diminue si le trajet suivi n'est pas radial ou si la portée est du même ordre de grandeur que l'altitude de l'aéronef.

Ce système ne cherche pas à corriger ce décalage Doppler qui ne représente qu'une faible proportion de l'espacement de 25 kHz entre canaux. De même, le filtre de réception n'est pas décalé pour être centré sur le signal car l'exploitation AMRT implique qu'un canal quelconque peut être utilisé par plusieurs aéronefs à décalages Doppler différents.

L'importance de l'information perdue en raison du décalage Doppler est faible et peut être tolérée. Bien plus important est la quantité de brouillage introduite dans le filtre de réception. Cette quantité est minimalisée si l'on maintient le filtre centré sur la fréquence nominale, cette méthode étant particulièrement efficace si un brouillage décalé par l'effet Doppler existe de part et d'autre du signal utile.

### 3. Plan de réutilisation des fréquences

Ce système assure la fourniture d'une couverture étendue pour les aéronefs tout en garantissant une utilisation efficace du spectre des fréquences grâce à la réutilisation des fréquences et à l'adoption d'une structure à trois niveaux. Chaque niveau est associé à un niveau de puissance d'émission donné et à une altitude de croisière déterminée.

Chaque station au sol est désignée comme étant de forte, de moyenne ou de faible puissance. Les stations de grande puissance assurent la couverture "en route" et desserviront les aéronefs volant au-dessus de 2 700 m environ. Les stations de moyenne puissance correspondent essentiellement aux phases de montée et de descente jusqu'à 2 700 m d'altitude environ. Les stations de faible puissance sont exclusivement réservées à l'utilisation des aéronefs au sol. Les niveaux de puissance associés à chaque type de station sont indiqués dans la section 5.

Les stations de faible et de moyenne puissance seront installées dans l'enceinte des aéroports, tandis que les stations de forte puissance seront disséminées dans l'ensemble de la zone d'exploitation de manière à en assurer une couverture totale. Pour y parvenir, on mettra en oeuvre un plan de réutilisation à neuf fréquences comme le montre la Figure 2.

#### 3.1 Assignation des canaux

Chaque canal est désigné comme étant soit un canal "en route" (grande puissance) soit un canal d'aéroport (moyenne ou faible puissance). La Figure 3 montre cette situation à l'aide d'un diagramme. Il y a 12 canaux d'aéroport (marqués par un "A" sur la Figure 3), six à chaque extrémité des bandes de 1 MHz et 27 canaux "en route" (numéros 7 à 34).

Les canaux "en route" sont assignés séquentiellement aux stations "en route", en sorte que chacune dispose de trois canaux à intervalles de 225 kHz. En conséquence, chaque station au sol "en route" peut accepter 24 circuits téléphoniques à 4 kbit/s (12 circuits pour un service à 8 kbit/s pour passer finalement à 48 circuits par station au sol).

Les stations d'aéroport au sol peuvent avoir une assignation maximale de six canaux, en sorte que chacune n'utilise qu'un canal d'aéroport sur deux. Cette assignation se fait cas par cas pour tenir compte des besoins de chaque aéroport et de la proximité d'autres stations d'aéroport au sol.

Cet arrangement présente en outre l'avantage que le risque de brouillage du canal adjacent sur d'autres services est ramené au minimum grâce à l'utilisation des puissances les plus faibles en limite de bande.

#### 3.2 Couverture des stations au sol

La Figure 2 montre le schéma d'implantation des stations au sol "en route". Elles sont espacées de 200 nautiques (366 km). La distance minimale entre stations utilisant les mêmes canaux est de 529 nautiques (968 km) et la distance minimale entre stations utilisant des canaux adjacents est de 346 nautiques (633 km).

Les aéronefs croisant au-dessous de 14 km ne peuvent pas se trouver en visibilité directe de deux stations au sol "en route" utilisant les mêmes canaux, ce qui interdit tout brouillage co-canal jusqu'à cette altitude.

Les aéronefs volant au-dessus de 2,7 km se trouveront toujours en visibilité directe d'au moins une station au sol "en route". La distance maximale entre un aéronef et une telle station sera de 115 nautiques (210 km). Les aéronefs volant au-dessus de 2,7 km seront toujours en visibilité directe d'une à sept stations au sol, ce nombre variant en fonction de l'altitude de l'aéronef et de son emplacement dans la structure hexagonale. De ce fait, un aéronef peut avoir accès à 168 circuits au maximum.

#### 4. Exploitation

Les données relatives à la disponibilité des circuits sont émises par chaque station au sol sur l'un de ses canaux. Un aéronef qui a besoin de circuits téléphoniques écoute les émissions sur la disponibilité des circuits et choisit canaux et intervalles de temps en fonction de ses besoins.

Les stations au sol émettent également des données de commande qui donnent aux aéronefs des instructions sur la synchronisation des intervalles de temps et sur la puissance d'émission requise.

##### 4.1 Transfert

Le transfert est un élément intrinsèque de ce système. Il est commandé par l'aéronef en sorte que la continuité des communications soit réalisée, que la qualité du signal soit améliorée et que la probabilité de brouillage diminue.

#### 5. Puissance

Le bilan de puissance "en route" du système est indiqué sur le tableau ci-dessous. L'affaiblissement sur le trajet est évalué avec prudence avec une marge de 3 dB environ, une marge généreuse ayant été prévue pour l'affaiblissement dû au câble entre l'émetteur-récepteur et l'antenne. La réserve de 14 dB tient compte de la propagation par trajets multiples à la portée maximale.

BILAN DE PUISSANCE	
Puissance d'émission	+46 dBm
Affaiblissement à l'émission	-2 dB
Puissance rayonnée	+44 dBm
Gain de l'antenne de l'aéronef	0 dB
Affaiblissement sur le trajet (370 km)	-148 dB
Affaiblissement à la réception	-3 dB
Gain de l'antenne au sol	+6 dB
Puissance nette du signal	-101 dBm
Bruit dans le canal	-130 dBm
Valeur du bruit à l'émission	+3 dB
Puissance totale du bruit	-127 dBm
S/N pour $E_b/N_o$ de 10 dBHz (TEB $10E-4$ )	+12 dB
Marge	+14 dB

La puissance d'émission des stations de moyenne puissance est inférieure de 20 dB à celle des stations de grande puissance.

La puissance d'émission des stations de faible puissance est inférieure de 35 dB à celle des stations de grande puissance.

La puissance d'émission des stations d'aéronef est variable; elle est commandée par les stations au sol.

#### 6. Conclusions

Le système décrit ci-dessus vise à fournir aux aéronefs un service téléphonique public utilisant efficacement le spectre des fréquences; il est conçu de manière à pouvoir améliorer son efficacité par incorporation de codecs vocaux à plus faible débit et par application de techniques de réduction des données lorsque ces moyens ou techniques seront utilisables. Il peut assurer une couverture étendue au-dessus des terres et pourra être développé si de nouvelles fréquences sont dégagées à son intention.

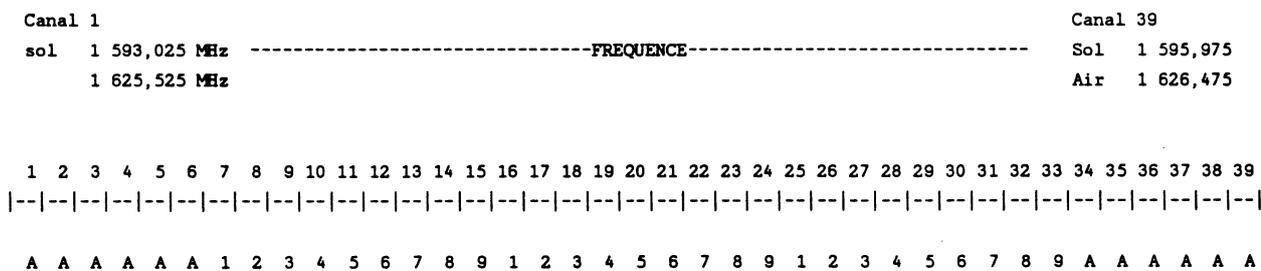
4	6	8	1	3	5	7	9
	9	2	4	6	8	1	3
3	5	7	9	2	4	6	8
	8	1	3	5	7	9	2
2	4	6	8	1	3	5	7

FIGURE 2

Plan de réutilisation des fréquences à 9 fréquences

Espacement des canaux 25 kHz

Quatre circuits téléphoniques sur chaque porteuse,  
avec possibilité de passage à seize circuits



Géographique

A un point géographique donné, les canaux sont assignés  
comme l'indique la Figure 2.

Les canaux marqués "A" doivent être utilisés dans les aéroports  
à puissance réduite.

LES STATIONS AU SOL EMETTENT EN PERMANENCE DES INDICATIONS  
DETAILLEES SUR LES CIRCUITS DISPONIBLES DANS  
LES INTERVALLES DE TEMPS 16 A 24 COMPRIS

FIGURE 3

## ANNEXE IV

## PROPAGATION ET EFFETS DOPPLER DANS LES SYSTEMES DE TERRE APC

1. Modèle de propagation air-sol

Le modèle de propagation air-sol de base comprend deux trajets entre l'émetteur et le récepteur (voir Figure 4). L'un est le trajet en visibilité directe, l'autre un trajet avec réflexion à la surface de la Terre. Au récepteur, le signal direct et le signal réfléchi s'additionnent de façon constructive et destructive [Kirby, R.S. et autres, 1952] en fonction de leur différence de phase, qui résulte de la réflexion sur le sol et du profil de réfractivité de l'atmosphère. Si l'aéronef est à quelques kilomètres de la station de base, la distance entre évanouissements est de l'ordre d'une seconde et dépend directement de la fréquence [Painter, J.H. et autres, 1973]. On peut observer des taux d'évanouissement plus élevés dans des cas très particuliers dus à la géométrie des réflexions.

La grandeur de chaque évanouissement dépend des caractéristiques du sol dans la région de la réflexion, de l'angle d'incidence et de l'angle de réflexion. La conductivité du sol est généralement fonction de la fréquence, en sorte que le coefficient de réflexion augmente avec la fréquence [Rapport 238-4 (Genève, 1982)].

La réflexion du sol est liée à la forme et à l'inégalité de la surface réfléchissante de la première zone de Fresnel (ici l'intersection entre le premier ellipsoïde de Fresnel pour le rayon réfléchi et le sol). La dimension de la première zone de Fresnel est fonction de la fréquence.

La distance entre la station de base et le point de réflexion au sol est à peu près égale à celle de l'aéronef au sol multipliée par le rapport entre la hauteur de l'antenne de la station de base ( $h_1$ ) et l'altitude de l'aéronef ( $h_2$ ). A mesure que l'aéronef se déplace, le point de réflexion avance à vitesse très réduite (d'un facteur approximativement égal à  $h_1/h_2$ ).

La distribution de la puissance entre les composantes spéculaire et diffuse du signal dépend de l'inégalité du terrain en corrélation avec la fréquence d'émission. Un doublement de la fréquence porte le coefficient de diffusion à la puissance quatre, diminue la réflexion spéculaire et augmente la puissance de la composante diffuse. Le signal total reçu fait donc apparaître des évanouissements moindres dus aux réflexions spéculaires, mais des fluctuations plus fortes dues à la composante diffuse en cas d'élévation de la fréquence. Le taux d'évanouissement des fluctuations du signal dues à la composante diffuse est lié à la distance de cohérence des irrégularités du sol et à la vitesse de la zone de Fresnel sur le sol, en sorte qu'il n'est pas affecté par la fréquence d'émission.

L'atmosphère terrestre affecte en gros de deux manières la propagation en ondes décimétriques: par réfraction et par diffraction. La réfraction, ou courbure du rayonnement, des ondes décimétriques, est due aux gradients de l'indice de réfraction de l'atmosphère. Dans ce que l'on appelle l'atmosphère type, l'indice de réfraction diminue de façon linéaire avec l'altitude en sorte que les rayons sont courbés vers le bas au-dessus de la Terre sphérique. Si l'on utilise l'approximation de  $4/3$  du rayon terrestre (Recommandation 528 du CCIR), on peut considérer les rayons comme rectilignes. Il est possible d'apporter une correction pour tenir compte des variations dues à l'altitude et à l'indice de réfraction de l'atmosphère [Robertshaw, G.A., 1986].

Les variations de la température, de la pression et de l'humidité atmosphériques affectent le trajet des rayons et, de ce fait, la phase du signal. Mais, si l'on veut assurer des communications air-sol fiables, l'emplacement exact des évanouissements importe moins que l'existence même de ces évanouissements. La prise en considération du profil exact de l'indice de réfraction de l'atmosphère n'est pas essentielle et l'on peut admettre que tout se passe comme dans le cas de la propagation en espace libre. L'effet de réfraction de l'atmosphère terrestre est pris en compte de façon satisfaisante par la méthode du rayon terrestre équivalent [Robertshaw, G.A., 1986].

Les effets de diffraction dus à l'atmosphère sont dus à la diffusion par des turbulences troposphériques et à des conditions atmosphériques anormales. A 850 MHz, la puissance diffusée est négligeable par rapport à la puissance reçue. De ce fait, les effets de diffusion dus à l'atmosphère peuvent être négligés si le trajet radioélectrique en visibilité directe est déterminé par des effets de réfraction.

L'antenne de l'aéronef, fixée sous son ventre, travaille comme un dipôle demi-onde. L'antenne de la station de base est aussi, par hypothèse, un dipôle demi-onde. L'antenne de l'aéronef est installée de manière à ramener au minimum les signaux réfléchis par la surface de l'aéronef.

La directivité de l'antenne peut provoquer de légères fluctuations du signal à mesure que l'aéronef se déplace en raison de la variation des angles entre les trajets des rayons et les antennes. Il semble que l'antenne de bord devrait être le principal contributeur à cet effet, l'aéronef étant à l'origine de réflexions multiples qui modifient le diagramme simple d'une antenne dipôle demi-onde idéale. Les fluctuations du signal reçu dues au diagramme d'antenne devraient être relativement lentes car l'inertie de l'aéronef en limite les mouvements. De plus, les angles entre le trajet des rayons et les antennes varient lentement. L'amplitude de ces fluctuations dépend du diagramme de l'antenne. Les fluctuations les plus fortes devraient se produire lorsqu'un moteur de l'aéronef (ou tout autre obstacle) fait écran entre l'antenne de bord et celle de la station de base.

La Figure 5 montre la qualité du signal reçu correspondant à deux modèles de trajet alors que l'aéronef s'éloigne de la station de base.

Alors que la fréquence passe, par exemple, de 860 MHz à 1 600 MHz, l'effet prédominant est l'évanouissement en espace libre avec un évanouissement passablement plus profond dû à une plus forte conductivité du sol et à une plus forte réflexion spéculaire. Une inégalité réelle plus forte du terrain compense, en raison de la diminution de la longueur d'onde, les évanouissements plus importants dus à une plus forte perte par diffusion du signal réfléchi. Au voisinage et au-delà de l'horizon radioélectrique, le signal réfléchi est caché en sorte qu'il faudra peut-être modifier le modèle pour pouvoir l'appliquer dans ces régions.

## 2. Effets du décalage Doppler

Le décalage Doppler a un effet considérable sur la conception et la complexité des systèmes air-sol. Avec pour l'aéronef une vitesse maximale de 960 km/h et une fréquence de travail de 850 MHz, le décalage Doppler maximal se manifeste sur un aéronef volant dans une direction radiale par rapport à la station de base à sa vitesse maximale et atteint 760 Hz.

Des décalages Doppler opposés peuvent provoquer des brouillages soit entre aéronefs travaillant avec une même station de base, soit entre aéronefs travaillant avec des stations de base adjacentes si ce décalage correspond à un fort pourcentage de la largeur de bande du canal. Si un aéronef volant en direction de la station de base émet sur un canal alors qu'un second aéronef s'éloignant de cette base émet sur le canal immédiatement supérieur, la fréquence utilisée par le premier de ces aéronefs subit un décalage vers le haut alors que celle qu'utilise le second subit un décalage vers le bas. Les signaux reçus peuvent se chevaucher, ce qui provoque des brouillages à la station de base. Il n'y a pas d'effet de brouillage équivalent pour la liaison montante, chaque aéronef subissant un décalage égal pour toutes les émissions en provenance de la station de base. De même, un brouillage induit dans le canal adjacent est observé dans des stations de base adjacentes.

Il est possible d'éviter ces deux formes de brouillage Doppler induit dans le canal adjacent, notamment en utilisant entre canaux adjacents une bande de garde plus large que le décalage Doppler maximal ou en interdisant toute assignation de canaux adjacents aussi bien à l'intérieur d'une même cellule qu'entre cellules adjacentes.

L'utilisation de ces méthodes entraîne cependant une forte diminution de l'efficacité d'utilisation de la largeur de bande. Une troisième solution précompense le décalage Doppler à l'émetteur de l'aéronef. Si l'aéronef peut mesurer avec précision le décalage Doppler du signal reçu, il peut appliquer un décalage de sens opposé (corrigé en fonction du décalage de fréquence duplex) à l'émission. A la suite de cette précorrection, le signal reçu par la station de base se situe dans sa juste bande de fréquences.

Mais, la précompensation de l'effet Doppler ne peut compenser le brouillage Doppler dans les canaux adjacents entre stations de base adjacentes. Des aéronefs appliquant le même type de précorrection Doppler pour compenser les effets Doppler dans une même station de base provoqueront toujours des effets Doppler opposés dans des stations de base adjacentes.

Ces trois solutions sont valables aussi bien avec des systèmes SCPC (une seule voie par porteuse) qu'avec des systèmes à plusieurs voies par porteuse (tels que les systèmes à accès multiple par répartition dans le temps - AMRT). Avec ces derniers, il faut tenir compte d'éléments supplémentaires: généralement, plusieurs aéronefs à effets Doppler différents occuperont des intervalles de temps différents sur une même porteuse d'une même station de base. Avec la solution de la bande de garde, il suffit de prévoir deux bandes de garde autour de chaque porteuse AMRT: les effets de la bande de garde sont alors partagés entre les N intervalles de temps de voie téléphonique de chaque porteuse. L'augmentation de N réduit l'effet des bandes de garde. Mais cette solution impose au récepteur de la station de base la charge de la poursuite de N effets Doppler différents, ce qui accroît la complexité à mesure qu'augmente la distance de poursuite en raison de l'élévation des fréquences. On peut appliquer la précompensation de l'effet Doppler pour supprimer la nécessité des bandes de garde et alléger le problème de la reconstitution de la porteuse par le récepteur de la station de base qui devra quand même traiter le décalage résiduel des porteuses entre aéronefs utilisant des intervalles de temps différents.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

KIRBY, R.S., HERBSTREIT, J.W. et NORTON, K.A. [mai 1952] - Services Range for Air-to-Ground and Air-to-Air Communications at Frequencies Above 50 Mc, IRE, Proc., p. 525-536.

PAINTER, J.H., GUPTA, S.C. et WILSON, L.R. [mai 1973] - Multipath Modelling for Aeronautical Communications, IEEE Trans. on Comm. p. 658-662.

Rapport 238-4 du CCIR [Genève, 1982] - Données relatives à la propagation nécessaires pour les faisceaux hertziens transhorizon.

ROBERTSHAW, G.A. [septembre 1986] - Effective Earth Radius for Refraction of Radio Waves at Altitudes Above 1 km, IEEE Trans. AP-34(9), p. 1099-1105.

Modèle de propagation air-sol à deux trajets

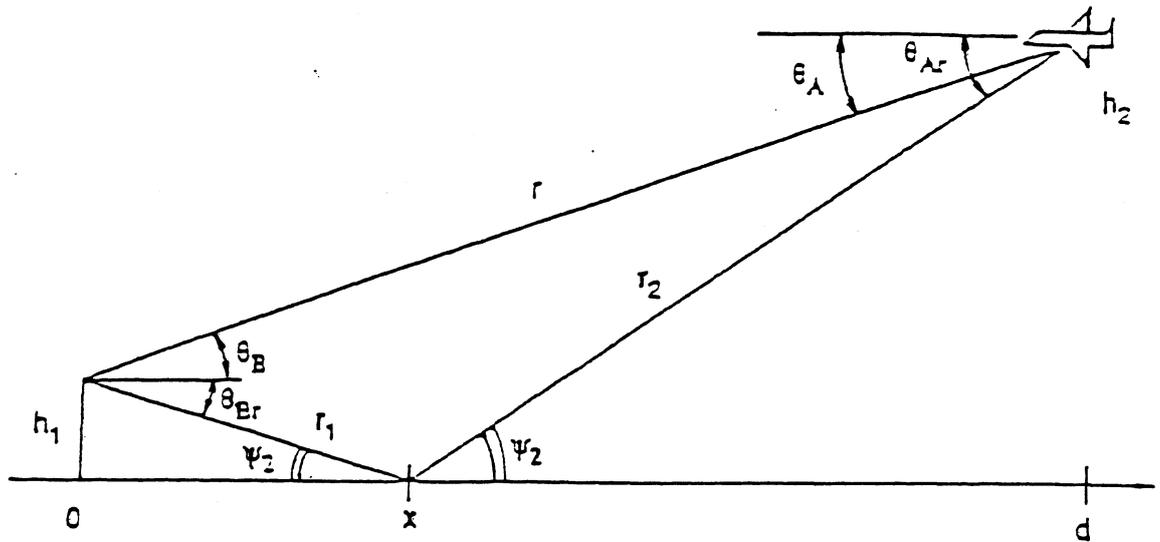


FIGURE 4

Géométrie et spécification du modèle de propagation air-sol

$h_1 = 60 \text{ ft}^*$	sol moyennement sec	$h_1 = 60 \text{ ft}^*$	sol moyennement sec
$h_2 = 30\,000 \text{ ft}^*$	irrégularité moyenne = 0,100 ft	$h_2 = 10\,000 \text{ ft}^*$	irrégularité moyenne = 0,100 ft
Fréq = 849,0 MHz	dipôle demi-onde	Fréq = 849,0 MHz	dipôle demi-onde

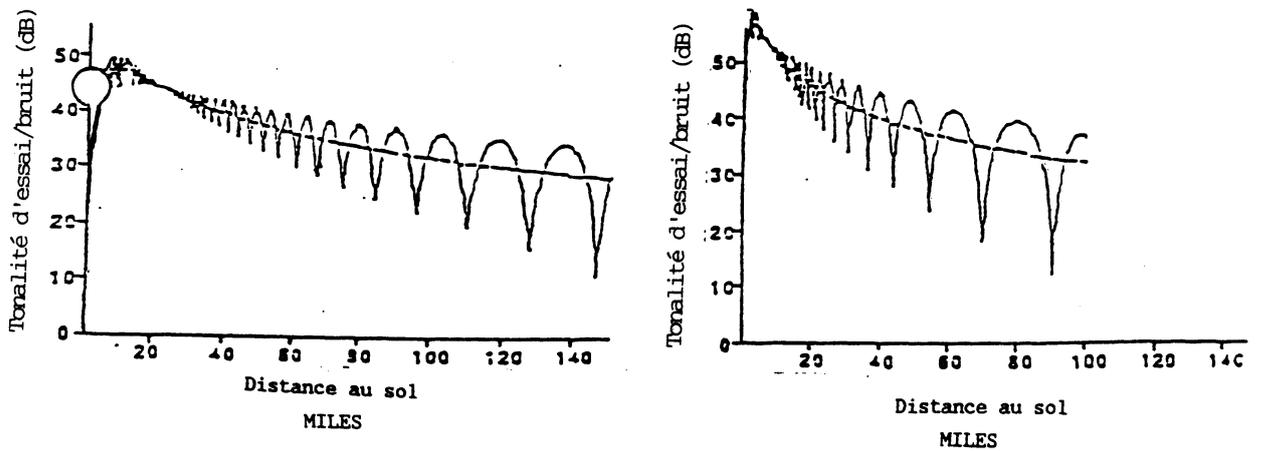


FIGURE 5

Comparaison entre diagrammes du signal reçu calculés pour des altitudes différentes à l'aide d'antennes dipôles demi-onde à la station de base

\* ft : pieds