

RAPPORT 927-2*

**CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES RELATIVES AU BROUILLAGE
PRÉJUDICIALE DU POINT DE VUE DES SERVICES
MOBILES AÉRONAUTIQUES ET DU
SERVICE DE RADIONAVIGATION AÉRONAUTIQUE**

(Questions 1/8 et 62/8 et
Programme d'études 21A/8)

(1982-1986-1990)

1. Historique

La définition UIT du «brouillage préjudiciable» au numéro 163 du Règlement des radiocommunications est libellée comme suit:

«Brouillage préjudiciable: brouillage qui compromet le fonctionnement d'un service de radionavigation ou d'autres services de sécurité ou qui dégrade sérieusement, interrompt de façon répétée ou empêche le fonctionnement d'un service de radiocommunication utilisé conformément au présent Règlement.»

D'une manière générale, il est impossible de définir l'expression «brouillage préjudiciable» avec précision en termes quantitatifs; il convient, par conséquent, d'évaluer le brouillage préjudiciable en fonction de la nature de l'exploitation et des conditions de sécurité. On peut donc en conclure directement qu'il est nécessaire de tenir compte des critères de sécurité appropriés pour déterminer les valeurs quantitatives des seuils de brouillage préjudiciable aux services mobiles aéronautiques.

2. Critères de sécurité aéronautique

A la base de la sécurité aéronautique se trouve l'évaluation *statistique* des critères de performance et des «taux de défaillance». Certaines administrations de l'aviation civile de la communauté aéronautique internationale utilisent comme critères les «taux de défaillance» statistiques suivants:

- les systèmes de circulation aérienne qui assurent la séparation entre les aéronefs en route sont conçus de façon que le risque de collision en vol ne dépasse pas 2×10^{-8} ;
- pour homologuer l'équipement d'atterrissage automatique des aéronefs, beaucoup d'administrations de l'aviation civile exigent qu'il soit démontré statistiquement que le taux de défaillance des commandes de chaque aéronef ne dépasse pas 1×10^{-7} atterrissages.

Par conséquent, il est évident que les rapports nécessaires de protection des services mobiles aéronautiques de radiocommunication dépendent largement des caractéristiques statistiques de tel ou tel service. Par exemple, une aide de radionavigation qui est seule à guider un aéronef au cours de l'atterrissage automatique doit être très bien protégée du brouillage préjudiciable. On peut dire en fait qu'en pareil cas la probabilité statistique de brouillage préjudiciable doit être inférieure à 1×10^{-7} . A titre de comparaison, il peut être possible de définir d'autres systèmes aéronautiques qui n'ont pas besoin du même degré de protection. Cette question est étudiée plus en détail au § 5 du présent Rapport pour les différents systèmes aéronautiques.

Cela porte à croire que, s'il est possible de quantifier un niveau de signal brouilleur préjudiciable qui permette à un type particulier de service radioélectrique de fonctionner en sécurité, publier ce niveau sans l'assortir de la description de sa nature et de sa variation statistique hypothétiques n'aurait guère d'intérêt et pourrait avoir de graves conséquences. Il en serait ainsi surtout dans les milieux où il existe une multitude de sources possibles de brouillage, de plusieurs types peut-être et où pour cette raison le brouillage préjudiciable global en un point donné varie probablement avec le temps.

* Le Directeur du CCIR est invité à porter ce Rapport à l'attention de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et des Commissions d'études 1, 10 et 11.

3. Sources aéronautiques et non aéronautiques de brouillage préjudiciable

Y a-t-il ou devrait-il y avoir un rapport entre les critères de brouillage préjudiciable d'origine non aéronautique et les critères techniques de planification établis dans les services aéronautiques en vue des assignations d'un même canal ou canaux adjacents? La réponse à cette question est un aspect important de l'étude du brouillage préjudiciable. Les critères de planification des assignations de fréquence adoptés au niveau international dans les services aéronautiques sont fondés sur des considérations d'ordre pratique qui tiennent compte de l'usage opérationnel du service en cause. En outre, ces critères de planification reposent sur l'hypothèse que tous les intéressés font preuve de coopération et se conforment aux normes et procédures aéronautiques internationales agréées, ce qui est assez raisonnable. C'est un fait que les Etats contractants de l'OACI ont certaines obligations en ce qui concerne l'adoption des normes, des pratiques recommandées et des procédures aéronautiques en vertu de l'Article 38 de la Convention relative à l'Aviation civile internationale (Chicago, 1944). En raison de ces obligations, un service international hautement développé d'information et d'enregistrement veille à ce que des renseignements sur toutes les installations aéronautiques et sur leur zone de couverture où les fréquences sont protégées soient officiellement publiés et figurent sur les cartes conformément aux dispositions de l'Annexe 15 à la Convention relative à l'Aviation civile internationale, et les documents de vol présents dans le poste de pilotage contiennent les renseignements appropriés ainsi diffusés. A tous les critères techniques adoptés dans le milieu aéronautique civil international pour la protection contre le brouillage préjudiciable d'origine aéronautique vient donc s'ajouter une protection complète et importante assurée par l'intermédiaire de l'édifice de l'aviation civile internationale au centre duquel se trouve l'OACI.

Cette protection additionnelle est largement inexistante en ce qui concerne les sources non aéronautiques de brouillage préjudiciable à l'aviation dont certaines ne sont que partiellement réglementées par l'UIT. Par conséquent, il n'y a pas nécessairement de relation automatique entre les critères de protection aéronautique et les critères qui peuvent convenir aux services de sécurité à propos des sources non aéronautiques de brouillage préjudiciable. Chaque source non aéronautique possible de brouillage préjudiciable est un cas d'espèce à cet égard.

On sait que les sources extérieures d'émissions et de rayonnements artificiels ci-après ont causé du brouillage préjudiciable aux services aéronautiques:

- radiodiffusion à ondes kilométriques/hectométriques à modulation d'amplitude et à ondes métriques à modulation de fréquence;
- réseaux de distribution par câble;
- réseaux de distribution d'énergie électrique;
- téléphonie sur secteur par courants porteurs;
- équipement industriel, médical et scientifique;
- oscillateur local faisant partie des appareils électroniques domestiques;
- équipement informatique.

Il convient de noter que certaines de ces sources ne sont pas de la compétence directe de l'UIT et qu'une coordination s'impose donc entre l'UIT, l'OACI et d'autres organisations intéressées. Toutefois, cela ne doit pas nécessairement influencer sur la participation du CCIR à l'étude de critères de protection adéquats.

4. Attribution partagée et attribution exclusive

Quelles que soient les intentions initiales des planificateurs du spectre radioélectrique, il ne fait aucun doute que la pression résultant des demandes d'attributions additionnelles aux divers services de radiocommunication peut amener à considérer effectivement les critères de protection aéronautique comme des critères de partage avec les services non aéronautiques. De ce fait, un service de sécurité doit prendre beaucoup de précautions afin que tout service radioélectrique partageant la même bande soit soumis aux contraintes nécessaires pour préserver une marge suffisante dans toutes les circonstances vraisemblables, de sorte que le brouillage préjudiciable total n'excède jamais les critères de protection applicables.

A cause des contraintes de poids, de dimensions et de consommation d'énergie appliquées à l'équipement embarqué, les émetteurs ont une puissance relativement faible et les récepteurs sont sensibles, ce qui est conforme aux indications générales de l'UIT sur l'utilisation efficace et rationnelle du spectre radioélectrique. Néanmoins, les conditions ci-dessus suscitent des difficultés à la collectivité aéronautique en cas de brouillage. Par exemple, selon les normes et les pratiques recommandées de l'OACI, le signal utile à la limite de la zone de couverture d'une station de radiotéléphonie VHF ne doit pas être inférieur à 70 $\mu\text{V/m}$. Pour un aéronef volant à 300 m au-dessus du sol par exemple, une source au sol de signal brouilleur pourrait produire un champ égal à ce champ utile avec une p.i.r.e. d'environ 16 μW seulement. Beaucoup de sources de brouillage peuvent produire plus de 16 μW sans difficulté. Le Tableau d'attribution des bandes de fréquences figurant à l'article 8 du Règlement des radiocommunications contient des exemples de partage des attributions de fréquences entre les services aéronautiques et d'autres services de radiocommunication qui ont soulevé dans certains cas des problèmes de brouillage préjudiciable. En pareil cas, le besoin de maintenir les critères de protection aéronautique nécessaires s'est traduit par une utilisation du spectre radioélectrique moins efficace qu'avec des attributions exclusives distinctes. Il convient donc de faire preuve de prudence avant d'envisager un partage avec un service de radiocommunication aéronautique.

L'Annexe II précise certains des points qu'il convient d'évaluer lors de l'étude de problèmes spécifiques de partage avec la télémessure effectuée en vol au cours de l'essai des aéronefs. A cet égard, l'Annexe II répond à la Résolution N° 505 de la CAMR-79.

5. **Systèmes de radiocommunication et de radionavigation aéronautiques figurant dans l'Annexe 10 à la Convention de l'OACI**

L'Annexe 10 à la Convention relative à l'Aviation civile internationale donne des renseignements précis sur les systèmes de radiocommunication et de radionavigation aéronautiques, qui sont brièvement présentés ci-dessous:

5.1 *Echange de données numériques et radiotéléphonie dans les bandes d'ondes décimétriques et métriques*

Pour un aéronef en vol, l'échange air-sol de données numériques ou la radiotéléphonie air-sol constitue une liaison directe avec des stations aéronautiques au sol. Le nombre des aéronefs qui évoluent simultanément dans un espace aérien donné et la multiplicité des itinéraires empruntés obligent à appliquer un ensemble complexe de règles et de procédures pour assurer la sécurité des vols. S'il est vrai que le brouillage des communications radiotéléphoniques air-sol est relativement plus facile à déceler (dans la mesure où le pilote peut l'entendre et risque moins d'être induit en erreur) que le brouillage d'un échange de données digitales ou d'une aide de radionavigation, ce brouillage peut néanmoins avoir de graves conséquences, notamment pour un aéronef qui cherche à entrer en communication avec le contrôle d'approche d'un aéroport alors qu'il vole très bas, à quelques centaines de pieds au-dessus du sol. Ainsi, que l'on utilise ou non des expressions conventionnelles précises et d'autres procédures opérationnelles normalisées, il est arrivé que le léger brouillage d'un seul membre de phrase ait des conséquences catastrophiques.

Il est difficile de transformer les facteurs ci-dessus en critères quantitatifs de rapport de protection. Il est généralement admis qu'on peut normalement accepter un brouillage minimal des communications vocales; par contre, il faut reconnaître que, dans une situation opérationnelle difficile, des erreurs normalement acceptées peuvent prendre une grande importance et un service exempt de brouillage peut être essentiel. Il faudrait donc établir pour la radiotéléphonie à ondes métriques et décimétriques un rapport général de protection tel que le brouillage total sur un canal quelconque n'augmente pas sensiblement le niveau de bruit de fond des récepteurs de service de sécurité utilisés dans les communications air-sol. Selon le même raisonnement général, il faudrait fixer un rapport de protection pour l'échange de données numériques dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques.

La compatibilité entre le service de radiodiffusion fonctionnant dans la bande comprise entre environ 87 et 108 MHz et les services aéronautiques fonctionnant dans la bande 108 à 136 MHz est un sujet traité dans le Rapport 929.

5.2 *Fréquences d'urgence (ondes métriques)*

Le Règlement des radiocommunications et l'Annexe 10 à la Convention de l'OACI (Chicago) contiennent des dispositions spéciales pour l'utilisation et la protection des fréquences d'urgence 121,5 MHz et 243 MHz du service mobile aéronautique. Par ailleurs, l'OACI a adopté des procédures spéciales pour le contrôle de ces fréquences et, en outre, le système COSPAS-SARSAT fournit les capacités d'alerte essentielles. De même, les RLS que les aéronefs doivent, dans certains pays, obligatoirement transporter, fonctionnent sur ces fréquences. Il importe que la réception des émissions de détresse et d'urgence ne subisse aucune dégradation. Ces fréquences sont également utilisées par d'autres services pour les communications avec les services aéronautiques lorsqu'une urgence se produit.

5.3 Systèmes de guidage à l'atterrissage

5.3.1 Système d'atterrissage aux instruments (ILS) - (ondes métriques et décimétriques)

L'ILS comprend un «radiophare d'alignement de piste» (ondes métriques) qui assure le guidage latéral de l'aéronef pour l'amener sur la piste de l'aéroport, un «radiophare d'alignement de descente» (ondes décimétriques) qui indique la trajectoire de descente dans le plan vertical et une, deux ou trois «radiobornes» placées en des points connus qui permettent à l'aéronef de contrôler sa hauteur et sa distance au seuil de piste. Une ou plusieurs «radiobalises à ondes kilométriques ou hectométriques» ou d'autres aides d'approche supplémentaires, comme le VOR, peuvent être utilisées en même temps que l'ILS pour contribuer à guider l'aéronef vers le faisceau radioélectrique correct. Chacun des éléments de l'ILS assume une fonction différente et ils ne font donc pas double emploi.

Au cours des phases d'approche et d'atterrissage, au moment où l'aéronef évolue tout près du sol, il est indispensable de limiter à une valeur extrêmement faible la probabilité de brouillage préjudiciable de toute aide radioélectrique utilisée dans ces phases du vol. Il convient tout particulièrement de remarquer à ce propos que dans toutes les conditions météorologiques les gros avions modernes ont normalement recours, pour l'atterrissage automatique, à des systèmes qui utilisent les signaux de guidage ILS. On notera que le très haut niveau de protection contre le brouillage préjudiciable pendant l'atterrissage automatique ne s'impose que dans d'assez petits volumes d'espace aérien autour des installations ILS, par exemple autour des aérodromes. Il peut être utile de s'en souvenir au moment d'étudier les problèmes pratiques de protection contre le brouillage préjudiciable.

Etant donné le caractère critique du brouillage causé aux ILS, de nombreuses études ont été faites à ce sujet. On trouvera des renseignements détaillés dans l'Annexe I, ainsi que le calcul des rapports de protection requis dans certaines circonstances.

La compatibilité entre le service de radiodiffusion fonctionnant dans la bande comprise entre environ 87 et 108 MHz et les services aéronautiques fonctionnant dans la bande 108 à 136 MHz est un sujet traité dans le Rapport 929.

5.3.2 Système d'atterrissage hyperfréquences (MLS)

Le MLS, destiné à des applications internationales assurera une aide pour l'atterrissage aux instruments pour toutes les classes d'aéroport et tous les types d'aéronefs, y compris les transporteurs aériens, les avions à décollage et atterrissage verticaux et courts et les appareils d'affaires et de l'aviation légère. Ce système permettra aux grands aéroports civils d'assurer des services avec atterrissages tous temps et trajectoire d'approche courbe ou segmentée. Dès lors, le nombre d'atterrissages d'aéronefs en période de trafic intense s'en trouvera accru. Des équipements simplifiés pourront être installés à peu de frais sur les petits aérodromes affectés à l'aviation privée et aux compagnies qui desservent des lignes d'appoint. Avec cette version simplifiée, on peut par exemple obtenir un plus petit angle de couverture, des approches à courbe faible ou nulle et aucun guidage d'arrondi.

Le MLS se compose d'un équipement de guidage angulaire qui fonctionne dans la bande 5,0 - 5,25 GHz. L'équipement de guidage en azimut assure le guidage latéral dans le prolongement de l'axe de la piste de l'aéroport, l'équipement de guidage en site assure l'alignement de descente dans le plan vertical et l'équipement de mesure de distance (DME/P) dans la bande de fréquences 960 - 1 215 MHz donne la distance entre la piste de l'aéroport et l'aéronef. Chacun de ces éléments remplit une fonction différente et leur utilisation combinée fournit à l'aéronef un repère précis à trois dimensions et une information de guidage en ce qui concerne la trajectoire d'approche choisie.

Le guidage en azimut pour "l'alignement arrière" (par exemple, une approche interrompue est également possible) au moyen d'un émetteur en azimut séparé dont le faisceau est orienté vers le secteur d'alignement arrière. Le MSL peut aussi fournir des données dans le sens sol-air dans tout le volume de couverture du guidage angulaire par l'intermédiaire de faisceaux de couverture du secteur fixes. Cela permet notamment de transmettre les coordonnées d'implantation de l'antenne au sol à l'aéronef, qui s'en servira pour calculer l'algorithme de détermination de sa position.

Les signaux de guidage en azimut et en site sont émis à partir d'antennes au sol puis traités dans un récepteur MLS aéroporté. On obtient l'information d'angle en mesurant l'écart de temps entre les passages successifs de faisceaux à éventail très directs. Le DME/P fournit à l'aéronef l'information de distance en mesurant le temps total aller et retour entre les interrogations provenant d'un émetteur de bord et les réponses d'un répéteur au sol. Alors qu'un DME/N normal a une précision de base d'environ + 370 m (0,2 mille marin), le DME/P présente une courbe de spécifications de précision de + 250 m (820 pieds) à 37 km (20 milles marins), qui passe à + 30 m (100 pieds) au seuil de piste.

Les techniques de transmission MLS et le traitement des signaux permettent d'obtenir une seule norme de précision, qui est équivalente à la précision nécessaire aux procédures d'atterrissage entièrement automatique. Il est indispensable que la précision du système MLS ne soit pas réduite par la contamination des signaux par des signaux de brouillage ou par la propagation par trajets multiples. En fixant un seuil peu élevé (DME/P) et en utilisant des faisceaux en éventail étroit (faisceaux à exploration angulaire), on peut supprimer de manière efficace les effets de la propagation par trajets multiples. Il faut également assurer une disposition des canaux et un contrôle des signaux brouilleurs appropriés pour ramener le brouillage en-dessous des niveaux admissibles.

Les erreurs admissibles du système MLS sont exprimées en termes d'erreur de suivi (PFE) et de bruit sur les commandes (CMN). On entend par PFE les erreurs de guidage à basse fréquence susceptibles d'écarter l'aéronef de sa trajectoire prévue. Le CMN désigne les éléments d'erreurs à haute fréquence qui ne contribuent pas à l'erreur de suivi, mais qui peuvent provoquer des déplacements des gouvernes ou des commandes d'assiette latérale et longitudinale pendant les atterrissages automatiques. De ce fait, le CMN peut altérer la confiance du pilote dans le système de guidage.

L'Annexe 10 à la Convention de l'OACI donne des renseignements détaillés sur la conception du système et sur les facteurs de compatibilité électromagnétique avec d'autres systèmes analogues (par exemple les niveaux minimaux du signal utile, les plans de disposition des canaux, les niveaux du signal dans le canal adjacent, les rapports de puissance porteuse utile/porteuse brouilleuse, les limites des rayonnements non essentiels, etc.) [OACI]. La Radio Technical Commission for Aeronautics a défini des caractéristiques de fonctionnement minimales pour les équipements d'électronique aérospatiale MLS de mesure des angles et de la distance [RTCA, 1981, 1985 et 1988]. D'autres études sont actuellement menées aux Etats-Unis d'Amérique pour déterminer les critères de compatibilité en vue de la protection contre les brouillages causés par des systèmes hors bande et par d'autres systèmes dans la bande.

5.4 *Radiophare omnidirectif à ondes métriques (VOR)*

Le système VOR est un radiophare au sol rayonnant un signal équidirectif qui assure le guidage directionnel dans le plan horizontal de sorte que l'élément embarqué indique exactement le relèvement de l'aéronef au radiophare. Le système émet aussi des signaux d'identification et permet des communications vocales. Le radiophare émet continuellement des signaux en ondes entretenues modulés; il n'y a pas de limite au nombre des aéronefs convenablement équipés qui peuvent l'utiliser simultanément. Le volume de service de certains systèmes de communication en route peut s'étendre sur plus de 300 km.

La plupart des VOR assurent un guidage en route, souvent associé au guidage DME (voir § 5.5). En outre, certains VOR de faible puissance servent d'aides d'attente ou d'approche au voisinage des aérodromes. En ce qui concerne la fonction de relèvement, le brouillage du VOR peut se traduire par l'indication d'un relèvement erroné à l'équipage et/ou aux commandes automatiques de vol et nuire directement à la sécurité du vol. L'effet du brouillage est plus ou moins marqué selon son type, son intensité et sa durée. Dans le cas de VOR de faible puissance, même un faible niveau de brouillage pourrait exercer une influence critique sur le vol; mais heureusement le volume des services en cause est relativement faible.

La compatibilité entre le service de radiodiffusion fonctionnant dans la bande comprise entre environ 87 et 108 MHz et les services aéronautiques fonctionnant dans la bande 108 à 136 MHz est un sujet traité dans le Rapport 929.

5.5 *Équipement à ondes décimétriques de mesure de distance (DME) – (ondes décimétriques)*

Le système DME fournit aux aéronefs, sous forme numérique codée, une mesure précise de la distance oblique qui les sépare d'un radiophare installé au sol. Le radiophare émet une réponse à l'interrogation d'un aéronef; le codage de l'interrogation et de la réponse offre une certaine protection contre le brouillage, mais le système peut se saturer lorsque de nombreux aéronefs interrogent un seul et même radiophare. Le brouillage pourrait alors avoir un effet néfaste sur la sécurité.

Les DME sont le plus souvent utilisés en même temps que des VOR comme installations internationales de navigation à courte distance. Toutefois, certains DME sont associés à l'ILS, de sorte qu'il peut être nécessaire de prendre des dispositions spéciales pour assurer une protection adéquate contre le brouillage préjudiciable.

Il importe également de reconnaître que les fréquences assignées à un DME sont toujours «appariées» par accord international soit avec la fréquence d'un VOR, soit avec celle d'un ILS. Par conséquent, les impératifs de protection doivent être respectés simultanément pour les deux aides associées.

5.6 *Radars*

Les radars utilisés à des fins aéronautiques peuvent prendre de nombreuses formes aux caractéristiques et aux usages opérationnels extrêmement variés; mentionnons par exemple: la surveillance de la circulation aérienne à grande distance, les radioaltimètres, le radar secondaire de surveillance, la surveillance de la surface des aérodromes à très courte distance, les radars météorologiques de bord et l'assistance à la navigation.

Il n'est pas possible de dégager une évaluation universellement valable du brouillage qui tienne compte de toutes ces variations; chaque cas doit donc être étudié séparément. On notera toutefois qu'indépendamment des caractéristiques de transmission utilisées il est assez normal que les éléments de réception d'un système radar soient nécessairement très sensibles, donc susceptibles de déceler des signaux brouilleurs de faible niveau.

Des techniques évoluées de traitement peuvent parfois remédier partiellement à certains types de brouillage, mais elles ne sont pas d'application universelle et dans certaines conditions ne sont pas acceptables du point de vue opérationnel.

Le Rapport 914 décrit plusieurs techniques utilisées sur les radars pour réduire le brouillage; beaucoup d'entre elles ont été adoptées avec succès par les fabricants de radars aéronautiques.

5.7 *Radiophares non directionnels (NDB) – (ondes kilométriques et hectométriques)*

Bien qu'à première vue le principe du NDB paraisse semblable à celui du VOR, ces deux aides sont loin d'être utilisées de la même façon. Les NDB sont plus répandus que les VOR. Ils sont utilisés fréquemment par les petits aéronefs qui, dans certains cas, ne possèdent pas d'équipement VOR. Par ailleurs, les NDB servent souvent à guider et à placer les aéronefs sur des trajectoires de vol qui leur permettent de bénéficier d'aides à ondes métriques plus précises (VOR, ILS, etc.) pour les procédures d'approche. En outre, l'équipement embarqué associé aux NDB est de conception plus simple et moins apte qu'un équipement plus évolué à fonctionner correctement en dépit du brouillage. Sa simplicité fondamentale le rend moins apte à distinguer entre les véritables signaux NDB et des émissions non désirées situées dans la bande passante du canal ou à proximité. En particulier, dans certaines conditions, des signaux brouilleurs peuvent donner dans le poste de pilotage une fausse indication de passage à la verticale d'un radiophare.

La question du brouillage des NDB est de grande importance dans le monde aéronautique, car beaucoup de NDB fonctionnent dans des bandes partagées avec d'autres usagers dans certaines parties du monde et ces bandes sont parfois très encombrées. Les critères de protection contre le brouillage préjudiciable doivent tenir compte de ces faits.

6. Autres systèmes de radiocommunication et de radionavigation aéronautiques d'usage courant

Outre les systèmes de radiocommunication et de radionavigation qui sont spécifiquement décrits dans l'Annexe 10 à la Convention de l'OACI (Chicago, 1944), un certain nombre d'autres systèmes sont régulièrement utilisés par les opérateurs à bord des aéronefs et peuvent être gravement perturbés par des brouillages préjudiciables.

Certains de ces systèmes sont sommairement décrits dans l'Annexe III au présent Rapport.

7. Conclusions

La conception d'un système de radiocommunication aéronautique tient compte des niveaux d'intégrité et de fiabilité nécessaires à la réalisation, sur le plan statistique, des objectifs généraux du système opérationnel total. Les critères de protection des systèmes aéronautiques contre les sources de brouillage autres qu'aéronautiques doivent être à la hauteur de ces objectifs (voir également la Recommandation 441).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OACI, Annexe 10 à la Convention de l'OACI, Volume I, Quatrième édition.

RTCA, Radio Technical Commission for Aeronautics, Document N° RTCA/DO-177, [juillet 1981] - Minimum Operational Performance Standards for Microwave Landing System (MLS) Airborne Receiving Equipment, Washington D.C.

RTCA, Radio Technical Commission for Aeronautics, Document N° RTCA/DO-189, [septembre 1985] - Minimum Operational Performance Standards for Airborne Distance Measuring Equipment (DME) Operation Within the Radio Frequency Range of 960 - 1 215 MHz, Washington D.C.

RTCA, Radio Technical Commission for Aeronautics, Document N° RTCA/DO-198, [18 mars 1988] - Minimum Operational Performance Standards for Airborne MLS Area Navigation Equipment, Washington D.C.

ANNEXE I

QUELQUES MÉCANISMES DE BROUILLAGE DU SYSTÈME D'ATTERRISSAGE AUX INSTRUMENTS (ILS)

1. Introduction

Des examens détaillés de certains des mécanismes de nature à créer un brouillage nuisible des signaux d'alignement de piste ILS ont été effectués par plusieurs administrations aéronautiques; la présente Annexe résume certains aspects de ces examens. Ces derniers ont pris la forme d'études théoriques et d'essais en laboratoire, et la corrélation obtenue était très bonne.

2. Seuil de brouillage préjudiciable

Le critère qui définit le seuil de brouillage préjudiciable se déduit de l'Annexe 10 à la Convention relative à l'Aviation civile internationale (Chicago, 1944).

A bord d'un aéronef, dans le récepteur de radioalignement de piste, le brouillage d'un signal d'alignement de piste se présente sous la forme d'une aberration de «l'alignement de piste» (dans la terminologie de l'OACI, une telle aberration est un «coude»); il contribue à l'erreur totale admissible à la sortie du récepteur. L'erreur admissible à la sortie du récepteur est essentiellement fonction de l'écart latéral admissible de l'aéronef par rapport à cet alignement de piste, et cet écart dépend de la catégorie d'exploitation à laquelle l'ILS doit servir et de la vitesse d'approche de l'aéronef. L'Annexe 10 contient des normes, des pratiques recommandées et des éléments indicatifs qu'il faut respecter pour que l'ILS assure le guidage escompté; selon ces éléments, pour que les écarts latéraux de l'aéronef par rapport à l'alignement de piste restent inférieurs à 5 m dans les catégories II et III, l'aberration de l'alignement de piste ne doit pas dépasser 5 μ A. L'attention est appelée sur le fait que d'autres éléments contribuent à l'aberration de l'alignement et qu'il faut les prendre en considération pour atteindre les objectifs de l'ILS. Ces éléments ne seront pas examinés ici. Il ne faut pas moins en tenir compte afin de définir de manière satisfaisante les rapports de protection de l'ILS. Cette question est également traitée à la section 4 du Rapport 929, compte tenu de la compatibilité entre le service de radiodiffusion fonctionnant dans la bande comprise entre environ 87 et 108 MHz et les services aéronautiques fonctionnant dans la bande 108 à 136 MHz.

Aux fins de la présente Annexe, les mécanismes de brouillage qui provoquent une aberration de l'alignement de piste supérieure ou égale à 5 μ A sont définis comme constituant un brouillage préjudiciable; mais, compte tenu des facteurs susmentionnés, cette valeur pourrait être révisée.

3. Mécanismes de brouillage

L'analyse mathématique a permis de déterminer plusieurs modes de brouillage qui ont été confirmés par des essais effectués en laboratoire au moyen de plusieurs équipements de bord conformes aux normes de l'OACI.

3.1 Brouillage provoqué par un signal d'onde porteuse non modulée

Type I – Si le battement entre un signal brouilleur situé dans la bande passante radiofréquence du récepteur d'alignement de piste ILS et le signal de la porteuse d'alignement de piste produit une différence de fréquence à moins de 0,5 Hz environ des signaux de bande latérale ILS 90 Hz ou 150 Hz, le champ créé par le signal radiofréquence brouilleur doit tomber jusqu'à 46 dB au-dessous du niveau de la porteuse d'alignement de piste pour que la limite de 5 μ A ne soit pas dépassée.

Type II – Si le battement entre un signal brouilleur situé dans la bande passante radiofréquence du récepteur d'alignement de piste ILS et le signal de la porteuse d'alignement de piste produit une différence de fréquence à moins de 10 Hz environ des signaux de bande latérale ILS 90 Hz ou 150 Hz, mais pas dans les limites de tolérance de Type I ci-dessus, le champ créé par le signal radiofréquence brouilleur doit tomber jusqu'à 26 dB au-dessous du niveau de la porteuse d'alignement de piste pour que la limite de 5 μ A ne soit pas dépassée.

Type III – Si un signal brouilleur quelconque de force suffisante se trouve à l'intérieur de la bande passante radiofréquence du récepteur d'alignement de piste, il y aura accrochage progressif du récepteur. Dans ce cas, le champ créé par le signal radiofréquence brouilleur doit tomber jusqu'à 7 dB au-dessous du niveau de la porteuse d'alignement de piste pour que la limite de 5 μ A ne soit pas dépassée. Les signaux très forts, de l'ordre de 10 mV ou plus, provoqueront le blocage du récepteur et la transmodulation.

3.2 Brouillage provoqué par un signal de porteuse modulée

Type IV – Si un signal brouilleur contient une porteuse modulée en amplitude à 20% par une fréquence de 90 Hz ou 150 Hz, le champ créé par le signal radiofréquence brouilleur doit tomber jusqu'à 13 dB au-dessous du niveau de la porteuse d'alignement de piste pour que la limite de 5 μ A ne soit pas dépassée. Un tel signal brouilleur peut résulter par exemple du redressement d'un courant alternatif de 50 Hz produit par une source triphasée.

4. Conversion en valeur absolue du champ créé par le signal électromagnétique

L'Annexe 10 à la Convention relative à l'Aviation civile internationale impose plusieurs conditions au signal à l'intérieur du volume de couverture d'un ILS; l'une des conditions applicables à proximité du seuil de piste est que, pour les radiophares d'alignement de piste de catégorie de performances III, le champ minimal le long de l'alignement de piste ne doit pas être inférieur à 200 $\mu\text{V}/\text{m}$. En donnant cette valeur au champ minimal, il est possible de déterminer comme suit la valeur absolue maximale du champ créé par un signal brouilleur:

TABLEAU I

Type de brouillage	Rapport signal brouilleur/signal utile (dB)	Camp de signal brouilleur à proximité du seuil de piste ($\mu\text{V}/\text{m}$)
I	-46	1
II	-26	10
III	-7	90
IV	-13	45

5. Autres facteurs

Les paragraphes ci-dessus ont été consacrés à des considérations relatives aux rapports signal brouilleur/signal utile applicables en cas de brouillage nuisible du radiophare d'alignement de piste ILS, mais il y a lieu de noter que certains facteurs opérationnels et statistiques peuvent affecter l'application pratique de ces rapports. Par exemple, le décalage de fréquence par effet Doppler, dû à la vitesse d'un aéronef, ou la probabilité qu'un signal brouilleur présente exactement les caractéristiques nécessaires pour provoquer un brouillage particulier, n'ont pas été pris en considération, et l'attention est appelée sur le fait que ces facteurs, parmi d'autres, devront être étudiés de plus près. Il est cependant pertinent de noter que les champs de signal brouilleur indiqués au § 4 ci-dessus pourraient dans le cas le plus défavorable imposer des contraintes très rigoureuses en matière d'émission par des sources potentielles de brouillage à proximité des trajectoires d'approche d'un aéroport. Par exemple, une émission provoquant du brouillage de Type I devrait être limitée à une p.i.r.e. maximale de -95 dBW (3,3 $\mu\text{V}/\text{m}$), mesurée à 30 m de la source, afin de ne pas causer de brouillage nuisible à bord d'un aéronef volant à 100 m d'altitude au-dessus de cette source.

6. Résumé et conclusion

Le radiophare d'alignement de piste ILS est sensible à certains types de brouillage. Des études complémentaires seront nécessaires pour déterminer si les effets pratiques des mécanismes décrits sont atténués d'une manière quelconque par des facteurs opérationnels et des facteurs de probabilité.

Il est important de noter que seuls sont examinés dans ce Rapport les mécanismes de brouillage dans lesquels le signal brouilleur se trouve à l'intérieur de la bande passante radiofréquence du récepteur d'alignement de piste ILS. D'autres mécanismes connus, par exemple l'intermodulation dans ce récepteur, n'entrent cependant pas dans cette catégorie. Les études relatives à ces mécanismes se poursuivent.

ANNEXE II

CONSIDÉRATIONS RELATIVES AU PARTAGE ENTRE LA TÉLÉMESURE EFFECTUÉE
EN VOL AU COURS DE L'ESSAI DES AÉRONEFS ET LES STATIONS
SPATIALES ET TERRIENNES DANS LES BANDES DE FRÉQUENCES
1435-1535 MHz ET 2310-2390 MHz

1. Introduction

Le présent document traite du service mobile et de fréquences utilisées pour la télémessure aéronautique d'essai en vol.

La télémessure en vol est importante pour les utilisateurs d'aéronefs étant donné que:

- elle est très souvent nécessaire à la sécurité du pilote et de l'aéronef;
- elle fournit la seule indication fiable concernant la nature d'un dérangement qui pourrait causer un accident et elle contribue ainsi à la sécurité des vols futurs;
- elle permet quotidiennement d'évaluer la progression de chaque vol et la qualité du véhicule examiné. Le coût de chaque heure de vol peut représenter des dizaines de milliers de dollars, or la télémessure réduit de façon significative le nombre des heures requises pour mettre au point l'aéronef ou un sous-système de celui-ci.

Étant donné que la télémessure effectuée en vol au cours des essais est indispensable aux exploitants d'aéronefs, le système de télémessure en vol doit fonctionner sans brouillage préjudiciable. Pour ce faire, toutes les opérations de télémessure se déroulent selon des horaires déterminés. Dans un pays, les horaires varient d'une zone à une autre d'après le nombre de détenteurs de licences et celui des aéronefs exploités par chacun de ceux-ci. Il existe pour chaque zone géographique une procédure de programmation des horaires. Par exemple, dans le sud de la Californie où plusieurs systèmes de télémessure travaillent dans la même bande, dans la même voie ou dans des voies adjacentes, la réglementation des horaires est très rigoureuse et les programmes sont établis heure par heure afin d'éviter le brouillage. Dans d'autres zones, lorsqu'un détenteur de licence est isolé soit géographiquement, soit en raison de l'espacement des fréquences, il n'y a pas d'horaires strictement réglementés et l'établissement des procédures pertinentes est laissé à la discrétion de l'organisation à laquelle appartient le détenteur de licence. Quoi qu'il en soit, même dans ces conditions idéales, les appareils à tester sont plus nombreux que les fréquences disponibles et la programmation des horaires s'impose.

Du point de vue technique, les principales caractéristiques d'une station de télémessure utilisée pour les essais en vol sont les suivantes:

- les largeurs de bande nécessaires à chaque vol et chaque aéronef diffèrent très souvent les uns des autres. Les émissions types vont de 500KF9 à 3M00F9. Les émissions 10M0F9 sont occasionnellement autorisées;
- habituellement, la plupart des aéronefs ou des petits missiles ne sont équipés que d'un seul émetteur de télémessure; cependant, certains aéronefs et un certain nombre d'engins spatiaux seront équipés de plusieurs émetteurs qui fonctionneront généralement indépendamment les uns des autres;
- la puissance de sortie fournie aux systèmes d'antenne par un émetteur va de 1 à 65 W. Les systèmes d'antenne sont théoriquement omnidirectionnels mais comportent en réalité des minimums de rayonnement très marqués;
- les trajets de communication demandent souvent que des signaux fiables situés dans ces minimums du diagramme de rayonnement de l'antenne de l'aéronef soient reçus à des distances de 150 à 200 km. Fréquemment, l'antenne de bord de l'aéronef ou de l'engin spatial sera techniquement conçue de façon à garantir un diagramme de rayonnement sans minimums dans la plupart des directions optimales pour les profils de vols normaux; toutefois, il se peut que les installations prévues pour des programmes ne portant que sur un type d'essais particulier ne soient pas ainsi conçues. Dans les deux cas, les attitudes anormales rencontrées au cours des manœuvres de roulis, de tangage et de lacet peuvent entraîner pour l'antenne au sol l'apparition de minimums dans le diagramme de rayonnement de l'antenne de l'aéronef ou de l'engin spatial. En cas de dérangement de l'aéronef ou de l'engin spatial, cette condition anormale peut se produire au moment du vol le plus important pour les ingénieurs et les techniciens qui doivent analyser les données fournies par les essais.

C'est pourquoi l'analyse de la force du signal dont traite le présent document portera nécessairement sur la situation la plus défavorable. Pendant la durée de cette situation, un brouillage extérieur de toute origine peut causer la perte totale des données ou rendre celles-ci inutilisables.

Au sol, les systèmes d'antenne de télémessure sont très variés. Des systèmes simples installés dans des zones géographiques isolées peuvent utiliser des antennes omnidirectionnelles à éléments demi-onde superposés pour recevoir les signaux d'aéronefs évoluant au voisinage de l'emplacement du récepteur. Ils emploieront généralement des systèmes d'antenne omnidirectionnels qui pourront être de simples cornets avec ouverture du faisceau d'une trentaine de degrés, mais qui deviendront le plus souvent des systèmes paraboliques ou hélicoïdaux perfectionnés avec poursuite automatique. Dans une proportion substantielle des installations, on trouve des systèmes de poursuite à deux axes et de réflecteurs paraboliques de 2,5 à 10 m de diamètre. Avec de plus grands diamètres, lors des manœuvres, le poids devient excessif et empêche les systèmes de poursuite de maintenir dans le faisceau l'aéronef soumis aux essais; étant donné les forces de gravité qui s'exercent sur les antennes paraboliques, la distorsion du

faisceau devient un problème. L'emploi de récepteurs à faible niveau de bruit n'est pas rare. Les systèmes sont fréquemment situés sur des sommets montagneux et la poursuite est possible aussi bien au-dessous qu'au-dessus de l'horizon local, la poursuite pouvant au besoin atteindre le zénith. Les antennes sont normalement étalonnées en utilisant comme référence l'espace tranquille. Un seuil de bruit atmosphérique de -204 dB(W/Hz) mesuré à 290 K, une largeur de bande de 4 kHz (normalement utilisée, à cette fin, comme largeur de bande de référence du CCIR), un rapport signal/bruit de 0 dB dans la section FI du récepteur, un facteur de bruit du récepteur de 4 dB par rapport à l'entrée, un diamètre d'antenne de 9,144 m (30 pieds) donnant un gain mesuré de 38 dBi et une correction de 25 dB pour l'ouverture effective (correspondant à une fréquence d'environ 1,5 GHz) se combinent pour donner un niveau de puissance surfacique de bruit atmosphérique de $-177 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ kHz))}$. On peut attendre du système un rapport de réception MF de 16 à 19 dB. En conséquence, le système sera conçu pour fonctionner à des puissances surfaciques de $-161 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$. Les niveaux des signaux brouilleurs émis dans la même voie (signal de satellite, par exemple) doivent produire, à la surface de la Terre, une puissance surfacique inférieure à $-177 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$, en admettant que le satellite se trouve dans le champ de vision de la station réceptrice de télémétrie au sol.

Les normes de télémétrie spécifient généralement que les niveaux des rayonnements non essentiels des émetteurs de télémétrie doivent être inférieurs à -55 dB(W/3 kHz) . Il s'agit de normes par conduction ou pour des rayonnements équivalents. Si l'on convertit ces normes en fonction des critères du CCIR, on obtient approximativement $-54 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ dans le cas d'une antenne isotrope. Bien que cette valeur dépasse de 123 dB le maximum admissible de la puissance surfacique produite à la réception par les signaux brouilleurs, la séparation géographique entre l'émetteur et le récepteur suffira souvent à éviter un brouillage préjudiciable pour le récepteur. L'antenne de poursuite assurera environ 33 dB de la protection requise et, étant donné que la source de brouillage se trouvera probablement à plus de 5 km de la piste ou sur une rampe ou une aire de lancement que peut masquer une colline, on obtiendra la protection nécessaire. La norme applicable aux rayonnements non essentiels ne peut être utilisée pour servir de niveau de signal qui permettrait au système de télémétrie d'être exempt de brouillage.

Le Tableau II ci-après indique les gammes de paramètres que peut raisonnablement utiliser un émetteur pour la télémétrie lors des essais en vol:

TABLEAU II

	Gamme de valeurs à prévoir pour les systèmes de télémétrie	
	valeurs minimales	valeurs maximales
Gain, antenne d'émission (aéroportée) (dBi)	1,7	6
p.i.r.e. (dBW)	-3	18
Gain, antenne de réception (dBi)	2	41
Emetteur de l'aéronef. Ouverture du faisceau ⁽¹⁾	360° × 30°	30° × 30°
Station au sol. Ouverture du faisceau ⁽²⁾	360° × 30°	1,4° × 1,4°

⁽¹⁾ L'ouverture du faisceau de l'antenne aéroportée est mesurée en fonction de l'axe vertical de l'aéronef.

⁽²⁾ L'ouverture du faisceau de la station au sol est mesurée en fonction d'une direction d'antenne de poursuite (gain élevé) à gain maximum. Il s'agit habituellement d'une antenne de réception mais ce peut être une antenne d'émission.

Dans l'état actuel de la technique des aéronefs et des engins spatiaux, il faut toujours des fréquences pour l'essai en vol des véhicules, habités ou non. Les altitudes de vol de ces véhicules vont de quelques mètres à plusieurs centaines de kilomètres. La portée va de quelques centaines de mètres jusqu'à l'orbite terrestre. La principale distinction entre le service mobile utilisé pour les essais en vol et les autres services qui utilisent du matériel de télémétrie aéronautique ou spatiale tient à l'objet de la transmission. Le service mobile est utilisé lorsque le vol a pour principal objectif l'essai d'un véhicule. Lorsque cet objectif est la recherche (exploration terrestre, atmosphérique ou spatiale) ou le fonctionnement du véhicule, il s'agit d'autres services. Quels que soient les services, le matériel de télémétrie est souvent similaire, voire identique. Lorsque l'on veut recueillir en permanence des données pendant de longues périodes de temps, on considère généralement qu'il ne s'agit plus d'essais en vol et les fréquences assignées sont en conséquence situées dans une bande attribuée aux utilisations opérationnelles. L'utilisation de fréquences employées conformément à un programme horaire ou journalier n'est pas autorisée.

2. Brouillage causé par un satellite à des stations de télémétrie au sol

Au § 1 ci-dessus, on a considéré, à l'emplacement du récepteur, la puissance surfacique qui donnerait lieu à un brouillage préjudiciable. Pour cette valeur ($-177 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ kHz))}$), la portée du système de télémétrie diminue ainsi que la marge de réception requise quand l'aéronef se trouve à la limite de son rayon d'action, qui peut correspondre à une grande distance ou à une altitude élevée. La position de l'antenne de poursuite, pointée ou non vers le satellite, peut produire une variation du signal de 33 dB ou plus, selon que le signal provenant du satellite tombe dans le lobe principal ou dans les lobes secondaires de l'antenne.

2.1 *Satellites géostationnaires:* Les satellites géostationnaires peuvent ne pas être en visibilité d'une station de réception de télémétrie. Néanmoins, selon leur position longitudinale, les satellites peuvent apparaître sous des angles de site locaux atteignant 39° au-dessus de l'horizon à 48° de latitude ou 55° à 30° de latitude. Dans la télémétrie telle qu'elle est couramment pratiquée, de tels angles sont tout à fait possibles. On peut démontrer que même une antenne en cornet de 30° connectée à un récepteur à faible niveau de bruit peut dans l'avenir être affectée de brouillages causés par des satellites que l'on projette d'exploiter dans ces bandes. On peut donc admettre que $-177 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ est le niveau de puissance surfacique admissible dans la même voie, à l'emplacement du récepteur, pour que les émissions de satellite faites sous horaire régulier ne causent pas de brouillage. Etant donné que ce niveau correspond à celui de l'espace tranquille, il est peu probable qu'il donne satisfaction au concepteur du système spatial.

2.2 *Satellites sur orbites proches de la Terre:* Les satellites qui décrivent des orbites autres que l'orbite des satellites géostationnaires traverseront le champ de vision de chaque station de réception de télémétrie au sol. La seule manière de protéger cette station contre les opérations effectuées dans la même voie est de programmer toutes les émissions faites par les aéronefs et les satellites. Il faudra pour cela certains systèmes de mise en mémoire de données (par exemple, enregistreurs à bande et mémoires d'ordinateur) et certains systèmes de contrôle permettant d'assurer la commande de l'émetteur placé à bord du satellite. Les horaires devront être établis par les mêmes mécanismes/organisations que pour le service mobile (télémétrie aéronautique pour les essais en vol); les opérations seront alors compliquées du fait que le satellite peut être simultanément en visibilité de plusieurs zones de programmation. Cette complication peut demander de profondes et coûteuses modifications de l'organisation des horaires et de l'équipement utilisé pour les communications entre les zones actuelles. Si les satellites d'exploration de la Terre qui peuvent, aux termes du Règlement actuellement en vigueur, être exploités dans la bande 1525-1535 MHz, devenaient opérationnels, le problème de la programmation des horaires se poserait dans la Région 2, bien que le service mobile et les services d'exploration des ressources terrestres soient des services secondaires par rapport au service d'exploitation spatiale (télémétrie).

2.3 *Satellites sur orbites équatoriales proches de la Terre:* Ces satellites poseront le même problème que les satellites géostationnaires puisque la fonction du satellite sera probablement située plusieurs fois par jour dans le lobe principal de l'antenne des stations de réception de télémétrie installées au sol. Leur altitude étant moindre que celle des satellites géostationnaires, ils peuvent ne pas être en visibilité de certaines stations de réception de haute latitude, mais en revanche, l'affaiblissement des signaux sera moins prononcé qu'en espace libre. Ces satellites perturberont donc la télémétrie à basse altitude et, pour le partage des mêmes voies, il faudrait là encore un système de commande.

3. Brouillage causé aux récepteurs de satellite par des émissions de stations de télémétrie aéroportées

En règle générale, ni les caractéristiques des récepteurs installés à bord des satellites, ni les orbites des satellites ne sont suffisamment bien définies pour que l'on puisse, dans le présent document, spécifier la dégradation prévisible en présence de signaux de télémétrie. Les attitudes anormales des aéronefs pendant les manœuvres d'essai: décrochage, vrille, etc., demanderont que l'on considère, du point de vue de la réception à bord du satellite, le lobe principal du diagramme de rayonnement de l'antenne de l'aéronef. La p.i.r.e. du signal émis par la station d'aéronef peut atteindre 24 dBW et le signal peut être concentré sur une fréquence discrète pendant une courte période de temps, mais il est plus probable que le signal s'étalera en tant que signal MF, avec indice de modulation de 1 à 5 et largeur de bande de 650 kHz à 9 MHz. L'altitude de l'émetteur de télémétrie pourra aller de la surface de la Terre jusqu'aux altitudes orbitales. La combinaison émetteur, antenne et méthode de modulation peut être conçue pour une utilisation temporaire et dépendre en grande partie des équipements disponibles. Elle n'est pas forcément la conception optimale du point de vue de l'ingénieur des télécommunications. Il est clair que, faute d'une coordination et d'horaires agréés par tous les détenteurs de licence, les risques de brouillage sont très élevés dans la bande intéressée.

4. Brouillage causé à des récepteurs de satellite par des émissions de stations de télémétrie au sol

On considère habituellement que les antennes des stations de télémétrie ne sont destinées qu'à la réception. Il n'y a pas de réglementation en la matière et l'emploi des signaux de télémétrie sur la liaison montante est limité. La largeur restreinte de la partie disponible du spectre est non seulement à l'origine d'encombrement et de demandes de fréquences supplémentaires, mais aussi à l'origine de systèmes nouveaux installés à bord des aéronefs. Ces systèmes nécessitent des liaisons montantes pour données afin de commander le processus de rassemblement des données ou les liaisons montantes de télémétrie en vue de combiner les données recueillies au sol et les données obtenues à bord du véhicule aéroporté. Ces systèmes donnent à l'emplacement du satellite des champs sensiblement plus intenses que ne le font les systèmes de télémétrie aéroportés précédemment mentionnés. A l'heure actuelle, les nouveaux systèmes sont trop peu nombreux pour que l'on en connaisse les puissances de sortie représentatives, mais la force des signaux devra être plus grande pour la station de réception de l'aéronef que pour la station de réception au sol. Cela tient au fait que le récepteur aéroporté ne contiendra pas les éléments cryogéniques utilisés dans les récepteurs à faible niveau de bruit et que les variations de température, les vibrations à bord de l'aéronef, etc., rendront inapplicables de nombreuses techniques suivies pour produire des récepteurs à faible niveau de bruit.

5. Conclusions

Les services de Terre auxquels est attribuée la bande des 2,3 GHz peuvent partager cette bande moyennant le recours à diverses techniques de gestion du spectre des fréquences déjà examinées: programmation, assignation de fréquences différentes, effet d'écran du terrain, etc. En revanche, l'exploitation de satellites dans les mêmes bandes que le service mobile se heurtera à des brouillages mutuels avec les services de télémétrie fonctionnant dans la même voie, sauf si tous les détenteurs de licence admettent la nécessité d'une programmation. Dans cet environnement d'horaires programmés, l'introduction de satellites qui émettent en permanence compliquera la tâche des services de télémétrie, en raison de l'élargissement des zones de brouillage. L'organisation de l'exploitation et les systèmes de communication nécessaires pour établir une programmation commune des horaires coûteront très cher aux détenteurs de licence. Des considérations d'ordre pratique conduisent à penser qu'une telle programmation sera difficile.

Les assignations de fréquence dans la même voie aux satellites et aux services mobiles ne sont possibles que si les satellites n'émettent pas dans l'espace en visibilité des stations de réception de télémétrie ou si une organisation commune de programmation peut prévenir l'emploi simultané et préjudiciable d'une fréquence.

A la suite des attributions faites par la CAMR-79, le service mobile maritime par satellite nécessitera pour 1990 la bande 1530-1535 MHz et le service d'exploitation spatiale pourra avoir besoin de la bande 1525-1530 MHz à partir du 1^{er} janvier 1982.

ANNEXE III

QUELQUES SYSTÈMES DE RADIONAVIGATION NON MENTIONNÉS DANS L'ANNEXE 10 A LA CONVENTION DE L'OACI (CHICAGO, 1944)

1. Introduction

Un certain nombre de systèmes de radionavigation sont couramment utilisés dans le monde entier par les opérateurs de l'aviation civile.

Utilisés pour la navigation aéronautique, ces systèmes pourraient subir des brouillages préjudiciables. En conséquence et pour que le présent Rapport soit complet, ces systèmes sont répertoriés dans la présente Annexe.

2. Loran-C, Omega et Decca Navigator

Bien que les systèmes de radionavigation Loran-C, Omega et Decca Navigator soient essentiellement utilisés par les navigateurs maritimes, un grand nombre d'opérateurs à bord d'aéronefs recourent actuellement à ces systèmes.

Le Loran-C peut déterminer une position avec une précision meilleure que 500 m et une précision reproductible comprise entre 18 et 90 m, mais sa zone de couverture est géographiquement limitée. Le Decca Navigator offre des performances du même ordre.

Le système Omega peut offrir une couverture mondiale fiable avec une précision d'une dizaine de kilomètres en raison de ses caractéristiques de propagation et de sa stabilité de phase.

Ces services doivent être protégés contre les brouillages préjudiciables. Le Rapport 915 étudie les critères de protection requis dans le cas du Loran-C.

3. Systèmes de radionavigation par satellite

3.1 Un certain nombre de systèmes de radionavigation par satellite sont actuellement soit au stade des études, soit en cours d'introduction et seront à la disposition des opérateurs de services terrestres, maritimes et aéronautiques.

3.2 Les systèmes TRANSIT et GPS (système mondial de détermination de la position) sont actuellement disponibles et offrent une précision prévisible de 500 m dans le cas du TRANSIT et de 100 m ou mieux dans le cas du GPS. En raison de l'augmentation du nombre de satellites du système GPS, la continuité de sa couverture s'améliorera. Le GPS fournira également des informations sur la vitesse au sol.

3.3 Les techniques de traitement des signaux sont utilisées dans les récepteurs des satellites afin d'atténuer de nombreux types de brouillage. Cependant, il faut encore poursuivre l'étude des critères de protection du service de radionavigation par satellite contre les brouillages.

RAPPORT 929-2

**COMPATIBILITE ENTRE LE SERVICE DE RADIODIFFUSION
DANS LA BANDE D'ENVIRON 87-108 MHz ET
LES SERVICES AERONAUTIQUES DANS LA BANDE 108-137 MHz**

(Question 61/8)

(1982-1986-1990)

Le texte de ce Rapport fait l'objet d'une publication séparée.
