

RECOMMANDATION UIT-R M.1841*

Compatibilité entre les systèmes de radiodiffusion sonore en modulation de fréquence dans la bande d'environ 87-108 MHz et le système aéronautique de renforcement au sol (GBAS) dans la bande d'environ 108-117,975 MHz

(2007)

Domaine d'application

Dans sa Résolution 413, la CMR-03 a invité l'UIT-R à étudier les problèmes de compatibilité entre le service de radiodiffusion et les services aéronautiques exploités au voisinage de 108 MHz et à élaborer, le cas échéant, des Recommandations UIT-R nouvelles ou révisées. La présente Recommandation contient les spécifications techniques et opérationnelles que les administrations peuvent utiliser comme lignes directrices techniques pour établir la compatibilité entre le système de renforcement au sol (GBAS) de l'OACI au-dessus de 108 MHz et les systèmes de radiodiffusion en modulation de fréquence fonctionnant jusqu'à 108 MHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre, il est nécessaire de préciser les critères employés lors de l'évaluation de la compatibilité entre le service de radiodiffusion sonore en modulation de fréquence et les services aéronautiques dans la bande voisine;
- b) qu'il faut une méthode d'analyse de la compatibilité pour détecter les éventuelles incompatibilités associées à un vaste plan d'assignation de fréquences de radiodiffusion;
- c) qu'il faut une méthode d'analyse détaillée de la compatibilité au cas par cas afin d'étudier plus en profondeur les cas d'incompatibilité détectés par l'analyse à grande échelle ou afin d'effectuer les évaluations individuelles relatives aux propositions d'assignations pour les services de radiodiffusion ou aéronautiques;
- d) qu'il faut poursuivre l'amélioration de la précision des critères et des méthodes d'évaluation de la compatibilité,

recommande

- 1** que les critères indiqués dans l'Annexe 1 puissent être utilisés pour les calculs de compatibilité;
- 2** que la méthode indiquée dans l'Annexe 2 puisse être utilisée pour prédire les incompatibilités pouvant être associées à vaste un plan d'assignation de fréquences de radiodiffusion;

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 6 des radiocommunications pour information et éventuelles futures observations.

3 que les techniques décrites dans l'Annexe 3 puissent être utilisées pour les calculs détaillés de compatibilité au cas par cas concernant les brouillages potentiels détectés par la méthode indiquée dans l'Annexe 2 ou concernant les évaluations individuelles relatives aux propositions d'assignation à des stations de radiodiffusion ou aéronautiques;

4 qu'en outre, les résultats des vérifications sur le terrain des situations de compatibilité prédites, ainsi que d'autres renseignements pertinents, puissent être utilisés pour la coordination et pour poursuivre l'amélioration des critères de compatibilité, de la méthode d'évaluation et des techniques figurant respectivement dans les Annexes 1, 2 et 3.

Annexe 1

Mécanismes de brouillage, paramètres des systèmes et critères d'évaluation de la compatibilité

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Généralités et introduction	2
2 Types de mécanismes de brouillage	3
3 Paramètres utilisés pour l'évaluation de la compatibilité	4
4 Critères d'évaluation de la compatibilité	8
Appendice 1 – Zone de couverture et intensités de champ minimales du système GBAS (Extrait de l'Annexe 10 de l'OACI)	12

1 Généralités et introduction

Le brouillage causé par le service de radiodiffusion en modulation de fréquence (MF) aux systèmes mobiles aéronautiques utilisés pour la navigation et la surveillance est un problème bien connu des utilisateurs d'installations aéronautiques. Dans les récepteurs GBAS embarqués, ce problème de brouillage provoque des erreurs dans les informations de correction de la navigation. Le brouillage causé à ces récepteurs est un problème grave, surtout pendant la phase critique d'approche et d'atterrissage, car il n'est pas évident pour le pilote.

Les effets du brouillage causé aux récepteurs embarqués à bord des avions varient suivant l'emplacement des avions, l'altitude et les conditions relatives à l'intermodulation et aux rayonnements non essentiels. La manière dont la présence de ce brouillage est annoncée diffère selon la constitution et le modèle du récepteur. La probabilité de brouillage préjudiciable augmente en même temps que le besoin de nouvelles assignations de fréquence pour les services aéronautiques et de radiodiffusion.

La présente Annexe décrit:

- les mécanismes de brouillage;
- les paramètres des systèmes mobiles aéronautiques affectés;

- les paramètres des stations de radiodiffusion en modulation de fréquence;
- les critères d'évaluation de la compatibilité pour récepteurs conformes à l'Annexe 10 de la Convention de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

2 Types de mécanismes de brouillage

D'une manière générale, du point de vue d'un récepteur GBAS, on peut considérer les signaux modulés en fréquence par une station de radiodiffusion comme étant du bruit.

2.1 Brouillage de type A

2.1.1 Introduction

Le brouillage de type A est provoqué par des rayonnements non désirés dans la bande des services aéronautiques, issus d'un ou de plusieurs émetteurs de radiodiffusion.

2.1.2 Brouillage de type A1

Un seul émetteur peut créer des rayonnements non essentiels ou plusieurs émetteurs de radiodiffusion peuvent intermoduler et produire des composantes à des fréquences se trouvant dans les bandes réservées aux services aéronautiques; un tel mécanisme sera appelé «brouillage de type A1».

2.1.3 Brouillage de type A2

Un signal de radiodiffusion peut comporter des composantes non négligeables à des fréquences appartenant aux bandes aéronautiques; ce mécanisme, appelé «brouillage de type A2», n'apparaîtra en pratique que lorsque l'émetteur de radiodiffusion aura une fréquence proche de 108 MHz. Celui-ci ne brouillera que les services mobiles aéronautiques utilisant des fréquences proches de 108 MHz.

2.2 Brouillage de type B

2.2.1 Introduction

Le «brouillage de type B» est celui qui est causé à un récepteur aéronautique par des émissions de radiodiffusion sur des fréquences extérieures à la bande des services aéronautiques.

2.2.2 Brouillage de type B1

On appelle «brouillage de type B1» l'intermodulation qui peut se produire au sein d'un récepteur aéronautique lorsque des signaux de radiodiffusion, extérieurs à la bande aéronautique, l'amènent à fonctionner dans sa plage de non-linéarité. Pour que ce type de brouillage se produise, il faut normalement la présence d'au moins deux signaux de radiodiffusion ayant une relation de fréquences qui, étant donné le fonctionnement non linéaire du récepteur, peuvent se combiner pour créer un produit d'intermodulation tombant dans le canal radioélectrique utilisé par le récepteur de bord. Un des signaux de radiodiffusion doit avoir une amplitude suffisante pour amener le récepteur à fonctionner dans des régions de non-linéarité; mais le brouillage peut se produire même si l'autre signal a (ou si les autres signaux ont) une amplitude beaucoup plus faible.

Seuls les produits d'intermodulation du troisième ordre sont pris en considération; ils auront la forme suivante:

$$f_{intermod} = 2f_1 - f_2 \quad \text{dans le cas de deux signaux, ou}$$

$$f_{intermod} = f_1 + f_2 - f_3 \quad \text{dans le cas de trois signaux}$$

où:

$f_{intermod}$: fréquence du produit d'intermodulation (MHz)

f_1, f_2, f_3 : fréquences de radiodiffusion (MHz) telles que $f_1 \geq f_2 > f_3$.

2.2.3 Brouillage de type B2

On appelle «brouillage de type B2» la désensibilisation qui peut se produire lorsque l'étage RF d'un récepteur aéronautique est soumis à une surcharge par une ou par plusieurs émissions de radiodiffusion.

3 Paramètres utilisés pour l'évaluation de la compatibilité

3.1 Introduction

Ce paragraphe détermine les paramètres des émetteurs et des récepteurs aéronautiques GBAS concernés par une évaluation de compatibilité.

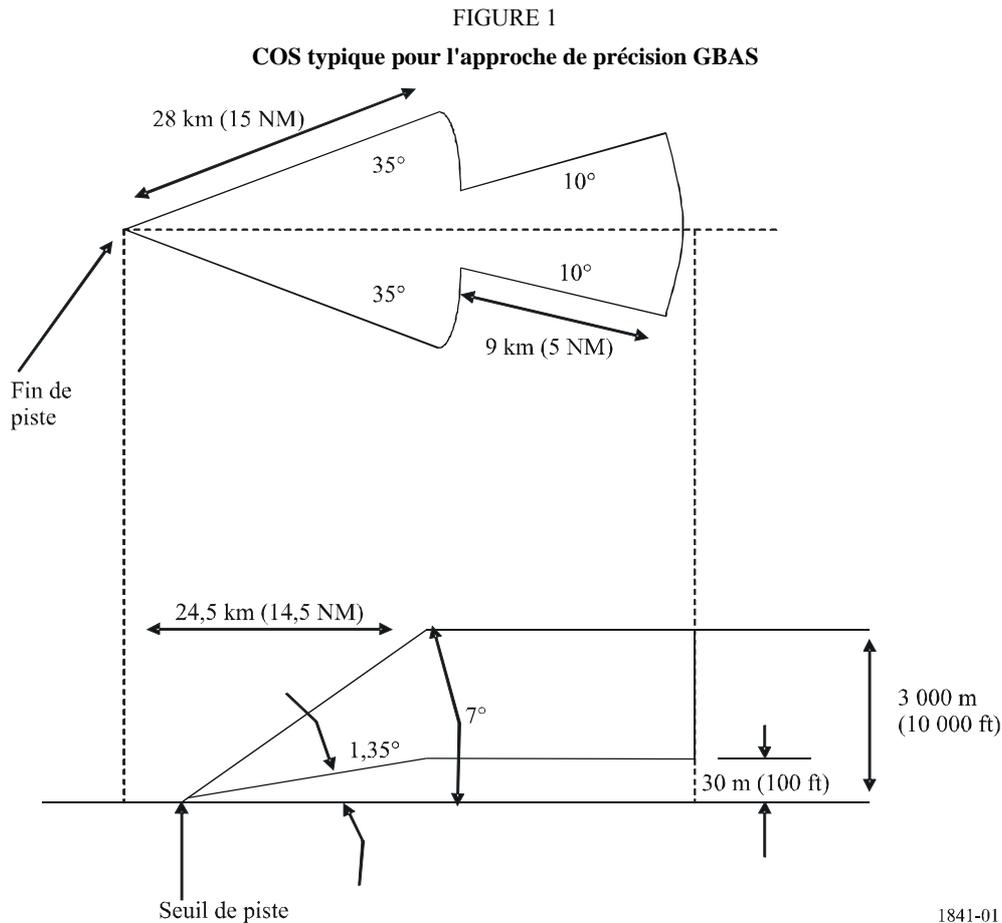
3.2 Caractéristiques des systèmes aéronautiques

3.2.1 Couverture opérationnelle spécifiée

Le système GBAS a deux modes de fonctionnement:

- a) approche de précision;
- b) localisation.

Concernant le mode d'approche de précision, la Fig. 1 illustre une couverture opérationnelle spécifiée (COS) typique pour un système GBAS de catégorie I basé sur l'Annexe 10 de l'OACI. Certaines administrations peuvent aussi utiliser le GBAS de sorte que l'axe de la COS ne soit pas toujours aligné avec une piste. Cette COS est définie pour chaque piste. Comme une même station au sol GBAS peut couvrir plusieurs directions de piste d'un aérodrome, la COS globale peut être considérée comme étant la somme de ces COS.



Note: Pas à l'échelle

Note rédactionnelle – La représentation de la COS découle des spécifications contenues dans l'Annexe 10 de l'OACI et elle est différente du diagramme d'élévation contenu dans la Recommandation UIT-R SM.1009-1.

Concernant le mode de localisation, la COS d'un GBAS peut varier d'une installation à l'autre: une COS typique peut être circulaire et avoir un rayon de 43 km (23 NM) autour de l'émetteur GBAS. Pour certaines installations, le rayon peut être plus grand, suivant les spécifications opérationnelles et les contraintes liées à la planification des fréquences. Pour plus de détails, on consultera la Publication d'information aéronautique (AIP) nationale appropriée (voir les définitions figurant dans l'Annexe 4).

3.2.2 Intensité de champ

La valeur minimale de l'intensité de champ à protéger dans toute la COS est de 215 $\mu\text{V/m}$ (46,6 dB($\mu\text{V/m}$)) (voir le § 3.5.4.4.2.2 de l'Appendice 1).

3.2.3 Fréquences

Les fréquences du GBAS sont situées dans une bande proche de la bande de radiodiffusion en modulation de fréquence, le GBAS pouvant fonctionner aux fréquences des systèmes ILS/VOR ainsi qu'aux fréquences intermédiaires. L'espacement des canaux étant de 25 kHz, les fréquences du GBAS peuvent être les suivantes: 108,025; 108,050; ... 117,950 MHz.

3.2.4 Polarisation

Le GBAS peut utiliser deux types de polarisation: une polarisation horizontale et, en option, une polarisation verticale complémentaire. Seule la polarisation horizontale est destinée à être utilisée

pour l'aviation civile internationale et seuls les aéronefs dotés d'antennes polarisées horizontalement sont prises en considération dans la présente Recommandation. La polarisation verticale optionnelle est exclusivement réservée à une utilisation nationale.

3.3 Caractéristiques des stations de radiodiffusion en MF

3.3.1 Puissance apparente rayonnée maximale

Il convient d'utiliser la valeur la plus précise possible de p.a.r. maximale pour calculer la compatibilité.

3.3.2 Diagramme de rayonnement dans le plan horizontal

Il convient d'utiliser les informations les plus précises possibles pour le diagramme de rayonnement dans le plan horizontal (DRH) pour calculer la compatibilité.

3.3.3 Diagramme de rayonnement dans le plan vertical

Il convient d'utiliser les informations les plus précises possibles pour le diagramme de rayonnement dans le plan vertical (DRV) pour calculer la compatibilité.

3.3.4 Affaiblissement du rayonnement non essentiel

L'expérience en Amérique du Nord montre qu'il n'a, en général, pas été nécessaire d'imposer un affaiblissement supérieur à 80 dB du rayonnement non essentiel. Compte tenu des circonstances spéciales qui règnent dans certaines zones de la Région 1 et dans certaines zones de la Région 3, on recommande les valeurs indiquées dans le Tableau 1 pour l'affaiblissement du rayonnement non essentiel dans la bande 108-137 MHz réservée aux services aéronautiques, en présence de produits d'intermodulation rayonnés par des émetteurs de radiodiffusion copositionnés.

TABLEAU 1

p.a.r. maximale (dBW)	Affaiblissement par rapport à la p.a.r. maximale (dB)
≥ 48	85
30	76
< 30	46 + p.a.r. maximale (dBW)

NOTE 1 – Pour les valeurs maximales de p.a.r. comprises entre 30 dBW et 48 dBW, on effectuera une interpolation linéaire.

3.3.5 Fréquences

Les bandes de fréquences en exploitation sont indiquées dans le Règlement des radiocommunications. Dans la Région 1 et dans certaines parties de la Région 3, la bande va de 87,5 MHz à 108 MHz, avec un espacement des canaux de 100 kHz (87,6; 87,7; ...; 107,9 MHz). Dans la Région 2, la bande va de 88 à 108 MHz, avec un espacement des canaux de 200 kHz (88,1; 88,3; ...; 107,9 MHz).

3.3.6 Polarisation

La polarisation d'un signal modulé en fréquence peut être horizontale, verticale ou mixte.

3.3.7 Calcul de l'intensité de champ des signaux de radiodiffusion en espace libre

Le champ en espace libre doit être calculé selon la formule suivante:

$$E = 76,9 + P - 20 \log d + H + V \quad (1)$$

où:

- E : intensité de champ (dB(μ V/m)) du signal de radiodiffusion
- P : p.a.r. maximale de la station de radiodiffusion (dBW)
- d : distance, en trajet oblique (km) (voir la définition dans l'Annexe 4)
- H : correction du diagramme DRH (dB)
- V : correction du diagramme DRV (dB).

Dans le cas d'une station de radiodiffusion en polarisation mixte, la p.a.r. maximale à utiliser sera la plus grande des deux composantes, verticale ou horizontale. Mais si ces dernières sont de valeur égale, on obtiendra la p.a.r. maximale à utiliser en ajoutant 1 dB à la valeur de la composante horizontale.

3.4 Niveau du signal à l'entrée du récepteur

Si l'on suppose un diagramme de rayonnement d'antenne d'aéronef non directif, l'intensité de champ du signal de radiodiffusion et celle du signal du service aéronautique doivent être converties en niveau de puissance à l'entrée du récepteur aéronautique, conformément aux formules suivantes:

- a) pour un signal de radiodiffusion dans la bande 87,5-108 MHz:

$$N = E - 118 - L_s - L(f) - L_a \quad (2)$$

où:

- N : niveau du signal de radiodiffusion (dBm) à l'entrée du récepteur aéronautique
- E : intensité de champ (dB(μ V/m)) du signal de radiodiffusion
- L_s : perte de 3,5 dB due au répartiteur de signaux
- $L(f)$: perte du système d'antennes en fonction de la fréquence de radiodiffusion f (MHz) soit 1,2 dB/MHz au-dessous de 108 MHz pour une antenne polarisée horizontalement
- L_a : perte fixe de 9 dB dans le système d'antennes.

- b) pour un signal aéronautique et un signal de type A1 dans la bande 108-118 MHz:

$$N_a = E_a - 118 - L_s - L_a \quad (3)$$

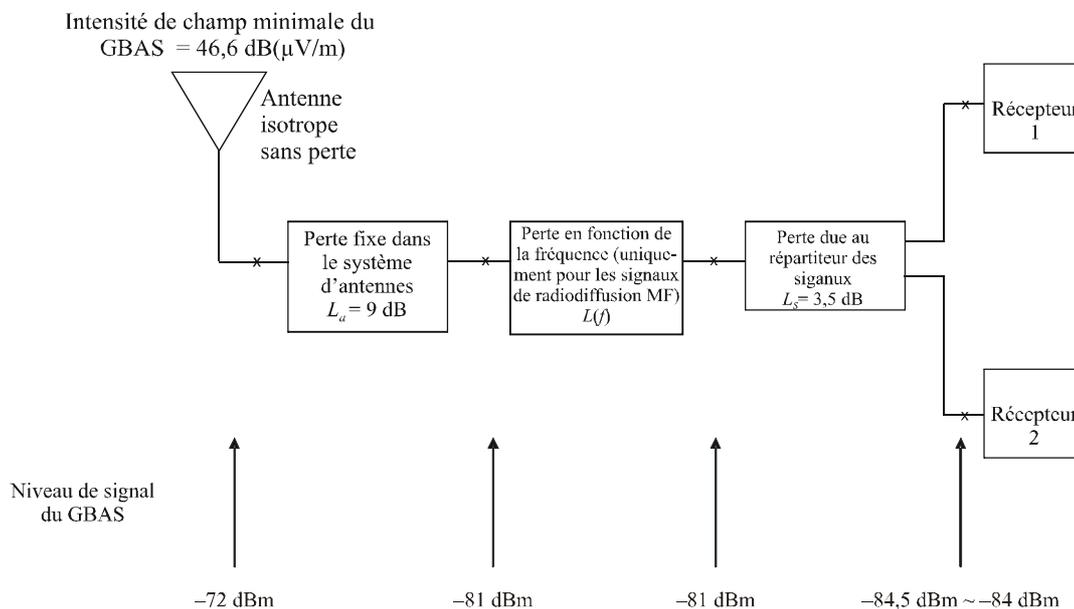
où:

- N_a : niveau du signal (dBm) à l'entrée du récepteur aéronautique
- E_a : intensité de champ (dB(μ V/m)) du signal aéronautique ou du signal de type A1.

La Fig. 2 montre comment la valeur minimale de l'intensité de champ du GBAS de 46,6 dB(μ V/m) est convertie en -84 dBm à l'entrée du récepteur d'une installation de réception d'aéronef type au moyen de la formule (3).

FIGURE 2

Conversion de l'intensité de champ minimale du GBAS en niveau de signal d'entrée d'un récepteur aéronautique



Note 1 – Une installation d'aéronef type comporte un répartiteur de signaux afin d'alimenter deux récepteurs aéronautiques.

Note 2 – La perte en fonction de la fréquence $L(f)$ est égale à 0 pour les fréquences aéronautiques et ne figure donc pas dans la formule (3).

1841-02

4 Critères d'évaluation de la compatibilité

4.1 Seuils de brouillage normalisés

4.1.1 GBAS

Le seuil de brouillage pour les récepteurs GBAS est le suivant:

- un taux de non-réception de message inférieur ou égal à un message non reçu pour 1 000 messages de données d'application complets (222 octets).

4.2 Critères d'évaluation du brouillage – Récepteurs GBAS

4.2.1 Brouillage de type A1

Le Tableau 2 indique les valeurs du rapport de protection qui peuvent être utilisées. Il n'est pas nécessaire de prendre en considération le brouillage de type A1 pour des différences de fréquences supérieures à 200 Hz.

TABLEAU 2

Différence de fréquences entre le signal utile et les rayonnements non essentiels (kHz)	Rapport de protection (dB)
0	14
50	7
100	-4
150	-19
200	-38

4.2.2 Brouillage de type A2

Le Tableau 3 indique les valeurs du rapport de protection qui peuvent être utilisées. Il n'est pas nécessaire de prendre en considération le brouillage de type A2 pour des différences de fréquences supérieures à 300 kHz.

4.2.3 Brouillage de type B1

4.2.3.1 Formules d'évaluation de la compatibilité

On peut utiliser les formules qui suivent pour évaluer les incompatibilités possibles.

a) *Cas de deux signaux*

$$2 \left\{ N_1 - 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f_1)}{0,4} \right) \right\} + N_2 - 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f_2)}{0,4} \right) + K - L_c + S > 0 \quad (4)$$

où:

N_1, N_2 : niveaux (dBm) du signal de radiodiffusion présent à l'entrée du récepteur aéronautique respectivement pour les fréquences f_1 et f_2

f_1, f_2 : fréquences de radiodiffusion (MHz) telles que $f_1 > f_2$

$K = 78$ pour le GBAS

L_c : facteur de correction (dB) pour tenir compte des variations du niveau du signal utile (voir le § 4.3.3.3)

S : marge de 3 dB pour tenir compte du fait que les équations des critères d'immunité des récepteurs selon l'Annexe 10 de l'OACI ne permettent pas d'obtenir des formules complètes d'évaluation de la compatibilité.

b) *Cas de trois signaux*

$$N_1 - 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f_1)}{0,4} \right) + N_2 - 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f_2)}{0,4} \right) + N_3 - 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f_3)}{0,4} \right) + K + 6 - L_c + S > 0 \quad (5)$$

où:

- f_1, f_2, f_3 : fréquences de radiodiffusion (MHz) telles que $f_1 \geq f_2 > f_3$
- N_1, N_2, N_3 : niveaux du signal de radiodiffusion (dBm) présent à l'entrée du récepteur aéronautique, respectivement pour les fréquences f_1, f_2 et f_3
- $K = 78$ pour le GBAS
- L_c : facteur de correction (dB) pour tenir compte des variations du niveau du signal utile (voir le § 4.3.3.3)
- S : marge de 3 dB pour tenir compte du fait que les équations des critères d'immunité des récepteurs selon l'Annexe 10 de l'OACI ne permettent pas d'obtenir des formules complètes d'évaluation de la compatibilité.

TABLEAU 3

Différence de fréquences entre le signal utile et le signal de radiodiffusion (kHz)	Rapport de protection (dB)
150	-41
200	-50
250	-59
300	-68

4.2.3.2 Correction due à l'écart en fréquence

Avant d'utiliser les formules (4) et (5), on applique comme suit à chaque niveau de signal un facteur de correction conforme au Tableau 4:

$$N(\text{corrigé}) = N - \text{facteur de correction}$$

Il n'est pas nécessaire de prendre en considération le brouillage de type B1 pour des différences de fréquences supérieures à 150 kHz; en pareils cas, les niveaux du signal seraient tellement élevés qu'il se produirait un brouillage de type B2.

TABLEAU 4

Différence de fréquences entre le signal utile et le produit d'intermodulation (kHz)	Facteur de correction (dB)
0	0
50	2
100	5
150	11

4.2.3.3 Facteur de correction pour tenir compte des variations d'immunité aux brouillages de type B1 dues à des variations du niveau du signal utile

Le facteur de correction ci-après pourra être appliqué au GBAS, dans le cas de deux ou de trois signaux:

$$L_c = N_A - N_{réf} \quad (6)$$

où:

- L_c : facteur de correction (dB) pour tenir compte des variations du niveau du signal utile
- N_A : niveau du signal utile (dBm) à l'entrée du récepteur aéronautique
- N_{ref} : niveau de référence (dBm) du signal utile à l'entrée du récepteur aéronautique pour la formule d'insensibilité au brouillage de type B1
= -72 dBm pour le GBAS.

4.2.3.4 Valeurs de déclenchement et de coupure (voir les définitions dans l'Annexe 4)

$$\text{Valeur de déclenchement (dBm)} = \frac{(L_c - K - S)}{3} + 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f)}{0,4} \right) \text{ dBm} \quad (7)$$

où:

- L_c : facteur de correction (dB) (voir le § 4.2.3.3)
- $K = 78$ pour le GBAS dans le cas de 2 signaux
- $K = 84$ pour le GBAS dans le cas de 3 signaux
- f : fréquence de radiodiffusion (MHz)
- S : marge de 3 dB pour tenir compte du fait que les équations des critères d'immunité des récepteurs selon l'Annexe 10 de l'OACI ne permettent pas d'obtenir des formules complètes d'évaluation de la compatibilité.

$$\text{Valeur de coupure (dBm)} = -66 + 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f)}{0,4} \right) \text{ dBm} \quad (8)$$

où:

- f : fréquence de radiodiffusion (MHz).

L'expérience a montré que l'utilisation de valeurs de coupure inférieures permet simplement d'associer des produits d'intermodulation supplémentaires à chaque valeur de déclenchement, mais à des niveaux de brouillage potentiel inférieurs.

4.2.4 Brouillage de type B2

S'agissant de l'évaluation d'un brouillage du type B2, on peut utiliser la formule empirique suivante afin de déterminer le niveau maximal d'un signal de radiodiffusion, présent à l'entrée du récepteur GBAS embarqué pour éviter un brouillage possible:

Pour les fréquences aéronautiques comprises entre 108,025 et 111,975 MHz:

$$N_{max} = \min \left(15; -10 + 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f)}{0,4} \right) \right) + L_c - S \quad (9)$$

Pour les fréquences aéronautiques comprises entre 112 et 117,975 MHz:

$$N_{max} = \min \left(15; 20 \log \left(\frac{\max(0,4; 108,1 - f)}{0,4} \right) \right) + L_c - S \quad (10)$$

où:

- N_{max} : niveau maximal (dBm) du signal de radiodiffusion à l'entrée du récepteur aéronautique
- f : fréquence de radiodiffusion (MHz)

S : marge de 3 dB pour tenir compte du fait que les équations des critères d'immunité des récepteurs selon l'Annexe 10 de l'OACI ne permettent pas d'obtenir des formules complètes d'évaluation de la compatibilité

L_c : facteur de correction (dB) pour tenir compte des variations du niveau du signal utile.
 $L_c = \max(0; 0,5(N_A - N_{réf}))$

N_A : niveau du signal utile (dBm) à l'entrée du récepteur aéronautique

$N_{réf}$: niveau de référence (dBm) du signal utile à l'entrée du récepteur aéronautique pour la formule d'insensibilité au brouillage de type B2
 = -72 dBm pour le GBAS.

Appendice 1 de l'Annexe 1

Zone de couverture et intensités de champ minimales du système GBAS

Extrait de: «Normes et pratiques recommandées internationales et procédures pour les services de navigation aérienne – Télécommunications aéronautiques – Annexe 10 à la Convention relative à l'aviation civile internationale – Volume I», Organisation de l'aviation civile internationale, Montréal (1985).

L'extrait suivant concerne le GBAS:

«3.7.3.5.3 Couverture

3.7.3.5.3.1 La couverture GBAS à assurer pour chaque approche de précision de catégorie I sera celle qui est indiquée ci-dessous, sauf lorsque les caractéristiques topographiques imposent d'autres conditions ou que les besoins opérationnels permettent une couverture différente:

- a) latéralement: à partir de 140 m (450 ft) de chaque côté du point de seuil à l'atterrissage/point de seuil fictif (LTP/FTP), en s'éloignant suivant un angle de ± 35 degrés de chaque côté de la trajectoire d'approche finale, jusqu'à 28 km (15 NM), puis de ± 10 degrés jusqu'à 37 km (20 NM);
- b) verticalement: à l'intérieur de la zone définie ci-dessus, jusqu'à un angle de site de 7 degrés ou 1,75 fois la valeur publiée de l'angle de site de l'alignement de descente (GPA) au-dessus de l'horizontale (la plus grande de ces deux valeurs ayant préséance), depuis le point d'interception de l'alignement de descente (GPIP) et 0,45 fois le GPA au-dessus de l'horizontale ou un angle du même ordre de grandeur (non inférieur toutefois à 0,30 GPA), selon le cas, afin de respecter la procédure officielle relative à l'interception de l'alignement de descente. Cette couverture s'applique à une hauteur au-dessus du seuil comprise entre 30 m (100 ft) et 3 000 m (10 000 ft).

NOTE – Les points LTP/FTP et GPIP sont définis à l'Appendice B, § 3.6.4.5.1.

3.7.3.5.3.2 **Recommandation** – Il est recommandé d'étendre la couverture du GBAS à 3,7 m (12 ft) au-dessus des pistes.

3.7.3.5.3.3 **Recommandation** – Il est recommandé que la diffusion des données soit omnidirectionnelle lorsqu'elle est nécessaire pour la prise en charge des applications prévues.

NOTE – Le Supplément D, § 7.3, contient des éléments indicatifs sur la couverture pour les approches de précision de catégorie I et pour le service de localisation GBAS.

3.7.3.5.4.4 Intensité et polarisation du champ RF de diffusion des données

NOTE – Le GBAS peut assurer la diffusion des données VHF avec une polarisation horizontale (GBAS/H) ou une polarisation elliptique (GBAS/E) qui utilise à la fois la composante à polarisation horizontale (HPOL) et la composante à polarisation verticale (VPOL). Les aéronefs qui emploient la composante VPOL ne pourront pas utiliser l'équipement GBAS/H pour les opérations. Le Supplément D, § 7.1, contient les éléments indicatifs à ce sujet.

3.7.3.5.4.4.1 GBAS/H

3.7.3.5.4.4.1.1 Un signal à polarisation horizontale sera diffusé.

3.7.3.5.4.4.1.2 La puissance apparente rayonnée (ERP) fournira un signal à polarisation horizontale ayant un champ minimal de $215 \mu\text{V/m}$ (-99 dBW/m^2) et un champ maximal de $0,350 \text{ V/m}$ (-35 dBW/m^2) dans le volume de couverture GBAS. L'intensité du champ sera mesurée sous forme de moyenne pendant la période du champ synchronisation et levée de l'ambiguïté de la rafale. Le déphasage RF entre les composantes HPOL et VPOL sera tel que les utilisateurs HPOL obtiendront la puissance minimale du signal définie à l'Appendice B, § 3.6.8.2.2.3, dans tout le volume de couverture.

3.7.3.5.4.4.2 GBAS/E

3.7.3.5.4.4.2.1 **Recommandation** – Il est recommandé qu'un signal à polarisation elliptique soit diffusé dans la mesure du possible.

3.7.3.5.4.4.2.2 Lorsqu'un signal à polarisation elliptique est diffusé, la composante horizontale sera conforme aux spécifications du § 3.7.3.5.4.4.1.2 et la puissance apparente rayonnée (ERP) fournira un signal à polarisation verticale ayant un champ minimal de $136 \mu\text{V/m}$ (-103 dBW/m^2) et un champ maximal de $0,221 \text{ V/m}$ (-39 dBW/m^2) dans le volume de couverture GBAS. L'intensité du champ sera mesurée sous forme de moyenne pendant la période du champ synchronisation et levée de l'ambiguïté de la rafale. Le déphasage RF entre les composantes HPOL et VPOL sera tel que les utilisateurs HPOL et VPOL obtiendront la puissance minimale du signal définie à l'Appendice B, § 3.6.8.2.2.3, dans tout le volume de couverture.

NOTE – Les intensités de champ minimales et maximales spécifiées aux § 3.7.3.5.4.4.1.2 et 3.7.3.5.4.4.2.2 correspondent à une sensibilité minimale du récepteur de -87 dBm et à une distance minimale de 200 m (660 ft) de l'antenne émettrice, la portée étant de 43 km (23 NM).»

Annexe 2

Méthode d'évaluation générale

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	14
2 Emplacement et hauteur des points de mesure GBAS pour chaque COS.....	14
3 Application de la méthode d'évaluation générale	16
4 Corrections d'antenne des stations de radiodiffusion	20
Appendice 1 – Emplacement des points de mesure à probabilité maximale de brouillage. Explication de la méthode d'évaluation générale (MEG).....	22
Appendice 2 – Considérations relatives à l'intensité de champ maximale et à la probabilité maximale de brouillage.....	24

1 Introduction

La présente Annexe a pour objet de présenter une méthode d'évaluation permettant d'analyser la compatibilité entre stations des services de radionavigation aéronautique et stations faisant partie d'un vaste plan d'assignation de fréquences de radiodiffusion. Les techniques indiquées dans l'Annexe 3 pourront être utilisées pour vérifier les résultats obtenus par une telle analyse ou pour en effectuer une plus fine.

1.1 Principes fondamentaux de la méthode d'évaluation générale

L'objectif premier de la méthode d'évaluation générale (MEG) est de calculer toutes les incompatibilités potentielles significatives pouvant se produire à l'intérieur d'un volume aéronautique, en un certain nombre de points de calcul ou de points de mesure (voir la Note 1) prédéfinis. Pour un ensemble donné de combinaisons de fréquences de radiodiffusion et de radionavigation, l'incompatibilité potentielle maximale associée à un service aéronautique particulier est représentée sous la forme d'une marge de protection.

Il y a lieu de procéder à une extension de la méthode d'évaluation de la compatibilité figurant dans l'Accord de Genève (1984) en raison de l'amélioration ultérieure de la précision des critères de compatibilité et de l'apparition du besoin d'une méthode d'évaluation plus détaillée. De plus, comme il fallait repérer et étudier les éventuelles incompatibilités associées à un vaste plan d'assignation de fréquences, on a dû mettre au point une méthode d'évaluation se prêtant de façon efficace à une mise en œuvre automatisée.

Cette MEG est fondée sur la nécessité de protéger le service de radionavigation aéronautique à des distances (voir la Note 1) spécifiées de séparation minimale par rapport aux antennes des stations de radiodiffusion, selon le service aéronautique (GBAS) (voir la Note 1) et son usage particulier.

NOTE 1 – Voir les définitions dans l'Annexe 4.

1.2 GBAS

La COS employée pour le service de localisation GBAS est circulaire. Toutefois, lorsqu'un aéronef utilise le service d'approche de précision GBAS, chaque COS protégée est la même que pour l'ILS. Par conséquent, les points de mesure nécessaires pour le service de localisation GBAS sont les mêmes que pour le VOR. Concernant le service d'approche de précision GBAS, pour chaque COS prise en charge, les points de mesure sont les mêmes que pour l'ILS.

2 Emplacement et hauteur des points de mesure GBAS pour chaque COS

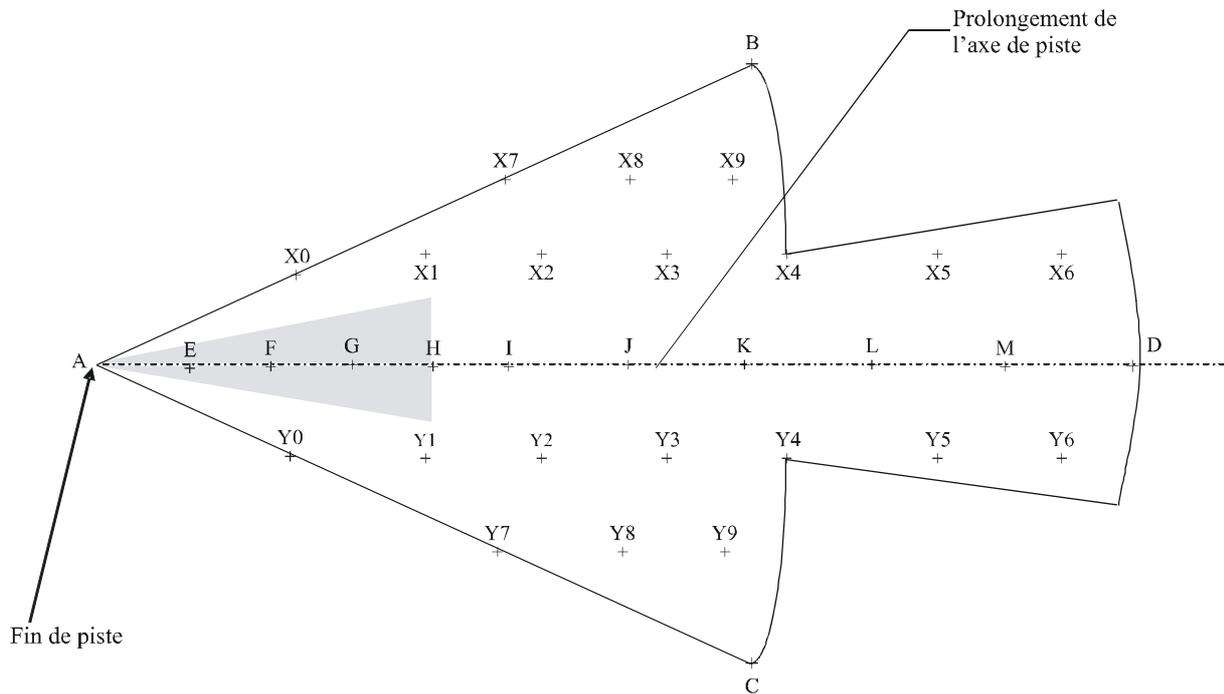
2.1 Points de mesure pour l'approche de précision GBAS

2.1.1 Points de mesure fixes

Pour chacun des points de mesure fixes représentés sur la Fig. 3, la hauteur minimale, la distance par rapport à l'emplacement du radiophare d'alignement de piste et le relèvement par rapport au prolongement de l'axe de piste sont indiqués dans le Tableau 5.

Les points de mesure fixes A, E, F, G et H ont des hauteurs minimales de 0, 0, 150, 300 et 450 m respectivement (voir aussi le § 3.2.1), au-dessus de l'élévation de la fin de piste. Ces valeurs représentent une trajectoire de descente avec une pente de 3°. Tous les autres points de mesure fixes ont des hauteurs minimales de 600 m.

FIGURE 3
Emplacement des points de mesure fixes dans chaque COS du GBAS



Note 1 – La zone ombrée se prolonge sur 12 km à partir de la fin de piste et se trouve à $\pm 7,5^\circ$ du prolongement de l'axe de piste. 1841-03

2.1.2 Points de mesure associés à des stations de radiodiffusion

Si la station de radiodiffusion se trouve à l'intérieur de la zone ombrée de la Fig. 3:

- un point de mesure supplémentaire est construit avec les coordonnées géographiques de cette station de radiodiffusion et la même hauteur que l'antenne de radiodiffusion.

Si la station de radiodiffusion se trouve à l'intérieur ou au-dessous de la COS du GBAS mais à l'extérieur de la zone ombrée de la Fig. 3 un point de mesure supplémentaire est construit avec les coordonnées géographiques de cette station de radiodiffusion. La hauteur minimale de ce point de mesure sera:

- à 600 m au-dessus de la fin de piste; ou
- à 150 m au-dessus de l'antenne de radiodiffusion, selon la valeur la plus grande.

TABLEAU 5

Points sur le prolongement de l'axe de piste ou au-dessus			Points hors du prolongement de l'axe de piste (tous à une hauteur de 600 m)		
Identification	Distance (km)	Hauteur minimale (m)	Identification	Distance (km)	Relèvement par rapport à l'axe de piste (degrés)
A	0	0	B, C	31,5	-35, 35
E	3	0	X0, Y0	7,7	-35, 35
F	6	150	X1, Y1	12,9	-25,5, 25,5
G	9	300	X2, Y2	18,8	-17,2, 17,2
H	12	450	X3, Y3	24,9	-12,9, 12,9
I	15	600	X4, Y4	31,5	-10, 10

TABLEAU 5 (fin)

Points sur le prolongement de l'axe de piste ou au-dessus			Points hors du prolongement de l'axe de piste (tous à une hauteur de 600 m)		
Identification	Distance (km)	Hauteur minimale (m)	Identification	Distance (km)	Relèvement par rapport à l'axe de piste (degrés)
J	21,25	600	X5, Y5	37,3	-8,6, 8,6
K	27,5	600	X6, Y6	43,5	-7,3, 7,3
L	33,75	600	X7, Y7	18,5	-35, 35
M	40	600	X8, Y8	24,0	-27,6, 27,6
D	46,3	600	X9, Y9	29,6	-22,1, 22,1

2.2 Points de mesure pour la localisation GBAS

2.2.1 Points de mesure associés à des stations de radiodiffusion se trouvant à l'intérieur de chaque COS

Un point de mesure est placé aux coordonnées géographiques de la station de radiodiffusion, à une hauteur minimale de:

- 600 m au-dessus du terrain local (valeur approchée à 600 m au-dessus de la cote altimétrique de la station de radiodiffusion); ou
- 300 m au-dessus de l'antenne de cette station.

2.2.2 Points de mesure associés à des stations de radiodiffusion se trouvant à l'extérieur de chaque COS

Les stations de radiodiffusion qui se trouvent à l'extérieur de la COS mais à moins de 3 km de la limite de COS sont traitées comme indiqué au § 2.2.1. Pour les stations qui se trouvent à plus de 3 km à l'extérieur de la COS mais dans les limites de distance spécifiées au § 3.1.2, on construit un point de mesure situé au plus près de la limite de COS et à une hauteur minimale de:

- 600 m au-dessus du niveau moyen de la mer; ou
- la valeur égale à la hauteur de l'antenne de radiodiffusion au-dessus du niveau moyen de la mer.

Les points de mesure situés sur la limite de COS et espacés de moins de 250 m sont considérés comme cositionnés.

2.2.3 Points de mesure supplémentaires

On pourra spécifier des points de mesure supplémentaires à l'intérieur de la COS pour tenir compte d'une utilisation particulière d'un GBAS, par exemple lorsqu'il sert d'aide d'atterrissage ou lorsqu'un service est demandé à un angle d'élévation inférieur à 0° (voir également le § 3.2.3.2).

3 Application de la méthode d'évaluation générale

3.1 Considération d'ordre général

Les critères de compatibilité sont indiqués dans l'Annexe 1.

3.1.1 Sélection des points de mesure

Les points de mesure sont sélectionnés conformément aux critères exposés au § 2.

3.1.2 Stations de radiodiffusion à inclure dans l'analyse en un point de mesure

Les stations de radiodiffusion sont incluses dans l'analyse en un point de mesure si les conditions suivantes sont satisfaites:

- d'une part, il existe un trajet en visibilité directe (voir la définition dans l'Annexe 4) entre l'antenne de radiodiffusion et le point de mesure; d'autre part, le niveau de signal calculé est supérieur à la valeur de coupure B1 (voir le § 4.2.3.4 de l'Annexe 1);
- l'intensité de champ en espace libre (voir le § 3.3.7 de l'Annexe 1) est égale au moins à la valeur qui peut provoquer une incompatibilité de type A1 ou A2 ou B2 (voir les § 4.2 et 4.3 de l'Annexe 1), sous réserve d'une distance de séparation minimale de 125 km dans les cas de types A1 et B2.

3.1.3 Calculs de compatibilité

Pour évaluer la compatibilité de l'ensemble des stations de radiodiffusion qui répondent aux conditions du § 3.1.2 à tout point de mesure sélectionné (voir le § 3.1.1), il est nécessaire:

- de calculer au point de mesure l'intensité de champ en espace libre (voir le § 3.3.7 de l'Annexe 1) en provenance de chacune des stations de radiodiffusion, compte tenu de la distance en trajet oblique (voir la définition dans l'Annexe 4), de la p.a.r. maximale et des caractéristiques d'antenne (voir le § 4);
- de calculer le niveau du signal GBAS;
- de calculer, selon le § 3.4 de l'Annexe 1, le niveau du signal à l'entrée du récepteur aéronautique.

On pourra ensuite évaluer la compatibilité pour chaque type de brouillage comme indiqué aux § 3.1.3.1 à 3.1.3.4 en fonction de la fréquence du service aéronautique.

3.1.3.1 Brouillage de type A1

On calculera les fréquences des produits d'intermodulation à deux ou trois composantes, qui peuvent être émises par un sous-ensemble quelconque de stations de radiodiffusion copositionnées. Tout produit dont la fréquence n'est pas éloignée de plus de 200 kHz de celle du service aéronautique fera l'objet, compte tenu des critères indiqués dans le § 4.2.1 de l'Annexe 1, d'un examen complémentaire afin de déterminer si l'intensité de son champ est suffisante pour provoquer un brouillage de type A1.

3.1.3.2 Brouillage de type A2

Chacune des stations de radiodiffusion (repérées conformément au § 3.1.2) sera examinée pour déterminer si sa fréquence n'est pas éloignée de plus de 300 kHz de celle du service aéronautique et si tel est le cas, si son intensité de champ est suffisante pour provoquer un brouillage de type A2, compte tenu des critères indiqués au § 4.2.2 de l'Annexe 1.

3.1.3.3 Brouillage de type B1

On calcule les fréquences des produits d'intermodulation à deux ou trois composantes que peut émettre un sous-ensemble quelconque de stations de radiodiffusion (repérées comme indiqué au § 3.1.2), dont au moins une composante atteint la valeur de déclenchement (voir le § 4.2.3.4 de l'Annexe 1) et dont toutes les composantes sont supérieures à la valeur de coupure (voir la définition dans l'Annexe 4) (voir le § 4.2.3.4 de l'Annexe 1) à l'entrée du récepteur aéronautique. Tout produit dont la fréquence n'est pas éloignée de plus de 150 kHz de la fréquence aéronautique fera l'objet, compte tenu des critères du § 4.2.3 de l'Annexe 1, d'un examen complémentaire pour déterminer si la somme (dBm) des puissances à l'entrée du récepteur aéronautique (voir le § 3.4 de l'Annexe 1) est suffisante pour provoquer un brouillage de type B1.

3.1.3.4 Brouillage de type B2

On examinera chacune des stations de radiodiffusion (repérées selon le § 3.1.2) pour déterminer – compte tenu des critères du § 4.2.4 de l'Annexe 1 – si leur puissance à l'entrée du récepteur aéronautique (voir le § 3.4 de l'Annexe 1) (voir la Note 1) est suffisante pour provoquer un brouillage de type B2.

NOTE 1 – Le terme «puissance d'entrée équivalente» désigne ici la «puissance appliquée à l'entrée d'un récepteur aéronautique compte tenu de toutes les composantes qui dépendent de la fréquence».

3.2 Considérations spéciales sur les évaluations de compatibilité

3.2.1 Hauteurs de point de mesure supérieures aux valeurs minimales

Pour faire en sorte que toutes les situations possibles de brouillage de type B1 soient prises en considération, il peut s'avérer nécessaire d'effectuer des calculs supplémentaires pour des hauteurs de point de mesure supérieures aux valeurs minimales, à condition que la hauteur du point de mesure ne dépasse pas:

- la hauteur maximale de la COS; ou
- la hauteur maximale à laquelle on peut obtenir la valeur de déclenchement.

Le § 7 de l'Appendice 1 donne des explications plus détaillées à ce sujet ainsi que les raisons de la limitation aux brouillages de type B1.

3.2.2 Points de mesure pour l'approche de précision GBAS

3.2.2.1 Points de mesure fixes

La distance en trajet oblique entre l'antenne de radiodiffusion et un point de mesure quelconque sert à calculer l'intensité de champ, mais sous réserve de la valeur minimale suivante:

- 150 m si la station de radiodiffusion se trouve dans la zone ombrée de la Fig. 3;
- 300 m dans le cas contraire.

3.2.2.2 Points de mesure associés à des stations de radiodiffusion

Si la station de radiodiffusion se trouve à l'intérieur de la zone ombrée de la Fig. 3:

- des calculs supplémentaires sont effectués pour une distance de séparation horizontale de 150 m, en utilisant la valeur maximale de p.a.r. et la hauteur spécifiées au § 2.1.2.

Si la station de radiodiffusion se trouve à l'intérieur ou au-dessous de la COS du GBAS mais à l'extérieur de la zone ombrée de la Fig. 3:

- des calculs supplémentaires sont effectués pour un point de mesure situé au-dessus de la station de radiodiffusion, à la hauteur spécifiée au § 2.1.2. On appliquera le facteur de correction maximal du diagramme de rayonnement vertical, selon le § 4.4.

3.2.3 Points de mesure pour la localisation GBAS

3.2.3.1 Points de mesure supplémentaires

La distance en trajet oblique entre l'antenne de la station de radiodiffusion et un quelconque point de mesure supplémentaire (voir le § 2.2.3) sera utilisée dans les calculs d'intensité de champ, mais avec une valeur minimale de 300 m.

3.2.4 Calcul de l'intensité de champ GBAS aux points de mesure

La formule suivante sera applicable aux points de mesure dont les angles d'élévation sont supérieurs à 0° et inférieurs à 2,5°, pour des installations dont l'antenne d'émission GBAS est située à 7 m au plus au-dessus du sol:

$$E_{GBAS} = E_{MIN} + \max(20 \log(\theta D_{MX} / D_{TP}); 0) \quad (11)$$

où:

E_{MIN} : intensité de champ minimale OACI (46 dB(μV/m))

D_{MX} : portée du GBAS spécifiée (km) dans la direction du point de mesure

D_{TP} : distance en trajet oblique (km) entre l'emplacement de l'émetteur GBAS et le point de mesure

θ : angle d'élévation (degrés) entre le point de mesure et l'antenne GBAS, calculé comme suit:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\left[H_{TP} - H_{GBAS} - (D_{TP}/4,1)^2 \right] / [1\ 000 D_{TP}] \right) \quad (12)$$

où:

H_{TP} : hauteur (m) du point de mesure au-dessus du niveau de la mer

H_{GBAS} : hauteur (m) de l'antenne GBAS au-dessus du niveau de la mer.

Pour les angles d'élévation qui dépassent la valeur de 2,5°, l'intensité de champ est calculée avec un angle de 2,5°.

Dans le cas d'installations où l'antenne d'émission GBAS est située à plus de 7 m au-dessus du sol, ou s'il est prescrit d'assurer le service à un angle d'élévation inférieur à 0°, on utilisera pour tous les points de mesure la valeur minimale d'intensité de champ GBAS (46 dB(μV/m)).

La méthode décrite ci-dessus est une méthode d'interpolation fondée sur une valeur minimale d'intensité de champ. Il n'est donc pas nécessaire de prendre en compte une marge de sécurité.

3.2.5 Calcul de la probabilité de brouillage de type A1

En dehors des produits d'intermodulation émis, il y a lieu, en règle générale, de maintenir les rayonnements non essentiels à un niveau assez faible pour qu'aucune incompatibilité ne soit plus à étudier lors de l'analyse de compatibilité. Les calculs de brouillage de type A1 ne seront donc effectués que si des stations de radiodiffusion copositionnées émettent des produits d'intermodulation.

Comme l'on ne connaît pas toujours la p.a.r. du produit d'intermodulation, on calcule indirectement la marge de brouillage de type A1 en prenant en compte l'intensité du champ brouilleur en un point où l'on mesurera les émissions de chaque station de radiodiffusion copositionnée, ainsi que la valeur de réjection A1 correspondante pour chacun de ces émetteurs.

La marge de brouillage de type A1 est calculée par la formule suivante:

$$IM = \max((E_i - S_i); \dots; (E_N - S_N)) + PR - E_w \quad (13)$$

où:

IM : marge de brouillage de type A1 (dB)

N : nombre de composantes d'intermodulation ($N = 2$ ou 3)

E_i : intensité du champ brouilleur (dB(μV/m)) de l'émission de radiodiffusion i au point de mesure

S_i : valeur de réjection A1 (dB) de l'émetteur de radiodiffusion i

- PR*: rapport de protection (dB) approprié à la différence entre la fréquence des produits d'intermodulation et celle du service aéronautique (voir le Tableau 2)
- E_w*: intensité du champ (dB(μV/m)) du signal aéronautique au point de mesure (au moins 46 dB(μV/m) pour le GBAS).

Lorsque l'on connaît la valeur de réjection A1 pour un émetteur de radiodiffusion, il convient de l'utiliser pour calculer la compatibilité.

3.2.6 Calcul de la probabilité de brouillage de type B1

De façon à obtenir les résultats du cas de brouillage B1 le moins favorable par les stations de radiodiffusion situées à proximité les unes des autres, on considérera toute station de radiodiffusion non éloignée d'un point de mesure de plus de 3 km comme étant représentée par ce point de mesure (voir également l'Appendice 1).

3.2.7 Calcul de la probabilité de brouillage de type B2

Pour le calcul de la probabilité de brouillage de type B2, aucun compte n'est tenu du niveau du signal aéronautique. On utilise donc la valeur minimale de 46 dB(μV/m) pour le GBAS.

3.2.8 Brouillage multiple

En principe, il convient de tenir compte de l'effet combiné de diverses sources de brouillage pouvant affecter un service aéronautique en un point de mesure donné. Mais dans le cadre de la MEG:

- l'utilisation d'une méthode de calcul en espace libre donne en général une surestimation de toutes les valeurs d'intensité de champ brouilleur;
- l'utilisation de la méthode de calcul indiquée au § 3.2.4 donne en général une sous-estimation de toutes les valeurs d'intensité de champ aéronautique.

Il n'est donc pas considéré comme nécessaire de tenir compte du brouillage multiple dans la MEG.

Dans le cas des calculs de compatibilité de type A1, il y a toutefois lieu d'augmenter de 3 dB le rapport de protection afin de donner une marge de sécurité lorsque la différence entre la fréquence du signal utile et celle du rayonnement non essentiel est soit nulle, soit égale à 50 kHz.

4 Corrections d'antenne des stations de radiodiffusion

4.1 Considération d'ordre général

Lors du calcul des valeurs d'intensité de champ (voir le § 3.3.7 de l'Annexe 1), on tiendra compte des caractéristiques de directivité des antennes d'émission des stations de radiodiffusion.

4.2 Découplage de polarisation

Aucun découplage de polarisation entre les émissions de radiodiffusion et les émissions aéronautiques n'est pris en compte (sauf indication contraire dans le § 3.3.7 de l'Annexe 1).

4.3 Diagramme de rayonnement horizontal

Pour une station de radiodiffusion dont l'antenne est directive, les données du diagramme de rayonnement horizontal (DRH) seront spécifiées à intervalles de 10° en partant du nord géographique. La correction *H* (dB) relative au DRH est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$H = (\text{p.a.r. dans la direction appropriée}) - (\text{p.a.r. maximale}) \quad (14)$$

4.4 Correction relative au diagramme de rayonnement vertical

Les corrections relatives au diagramme de rayonnement vertical (DRV) ne sont appliquées que pour les angles d'élévation au-dessus du plan horizontal passant par l'antenne de radiodiffusion.

Les antennes de radiodiffusion vont d'une simple antenne telle qu'un doublet (comme on en utilise souvent dans les stations de faible puissance) à la plus complexe antenne multiplan qui est normalement utilisée dans les stations de grande puissance.

Si l'on ne connaît pas l'ouverture radioélectrique de l'antenne réelle, on utilisera le Tableau 6 pour mettre en correspondance la p.a.r. maximale avec l'ouverture dans le plan vertical. Ce Tableau est fondé sur une analyse statistique des pratiques d'exploitation.

Les corrections relatives au DRV, décrites aux § 4.4.1 et 4.4.2, sont applicables aux émissions polarisées aussi bien horizontalement que verticalement. Les valeurs limites citées tiennent compte du cas de trajet oblique le moins favorable.

TABLEAU 6

p.a.r. maximale (dBW)	Ouverture verticale (longueurs d'onde)
p.a.r. ≥ 44	8
$37 \leq$ p.a.r. < 44	4
$30 \leq$ p.a.r. < 37	2
p.a.r. < 30	1

4.4.1 Corrections relatives au DRV pour des ouvertures verticales de deux longueurs d'onde ou plus

Pour représenter l'enveloppe du diagramme de rayonnement vertical d'antennes dont l'ouverture verticale est de deux longueurs d'onde ou plus, on calcule le facteur V de correction du DRV (dB) au moyen de la formule suivante:

$$V = -20 \log (\pi A \sin \theta) \quad (15)$$

où:

A : ouverture verticale (longueurs d'onde)

θ : angle d'élévation (par rapport à l'horizontale).

Il convient de remarquer que, pour de petits angles d'élévation, cette expression peut produire des valeurs positives de V . Dans de tels cas, V est mis à 0 dB (c'est-à-dire qu'aucune correction du DRV n'est appliquée).

Pour de grands angles d'élévation, V est limitée à une valeur de -14 dB, c'est-à-dire que $0 \geq V \geq -14$ dB.

Si l'on connaît la valeur maximale du facteur de correction réel du DRV, il convient de l'utiliser comme valeur limite à la place de -14 dB.

4.4.2 Corrections relatives au DRV pour des ouvertures verticales de moins de deux longueurs d'onde

Lorsque l'on utilise des antennes à faible gain (d'ouverture radioélectrique inférieure à deux longueurs d'onde), les valeurs du Tableau 7 caractérisent l'enveloppe du DRV.

On utilisera l'interpolation linéaire pour les angles intermédiaires.

TABLEAU 7

Angle d'élévation (degrés)	Correction du DRV (dB)
0	0
10	0
20	-1
30	-2
40	-4
50	-6
60	-8
70	-8
80	-8
90	-8

4.4.3 Corrections du DRV pour des rayonnements non essentiels dans la bande 108-118 MHz

Les corrections du DRV indiquées aux § 4.4.1 et 4.4.2 sont également appliquées aux rayonnements non essentiels dans la bande 108-118 MHz.

4.5 Combinaison des diagrammes de rayonnement horizontal et vertical

On ajoutera arithmétiquement les valeurs correspondantes, en décibels, des facteurs de correction DRV et DRH, sous réserve d'une correction combinée maximale de -20 dB ou de la correction de DRV maximale. On choisira la plus grande de ces deux valeurs. Aux angles d'élévation supérieurs à 45°, aucune correction de DRH n'est effectuée.

Appendice 1 de l'Annexe 2

Emplacement des points de mesure à probabilité maximale de brouillage

Explication de la méthode d'évaluation générale (MEG)

Le présent Appendice clarifie les relations entre emplacements de points de mesure et valeurs maximales de probabilité de brouillage local, dans le cadre de la méthode d'évaluation générale (MEG).

1 Aéronef à la même hauteur qu'une antenne de station de radiodiffusion

Soit un aéronef naviguant près d'une station de radiodiffusion. Si les hauteurs de l'une et de l'autre sont égales, la valeur de l'intensité de champ de radiodiffusion reçue par l'aéronef sera maximale au

point d'approche au plus près. Dans le cas d'une antenne de radiodiffusion équidirective, le lieu des points d'intensité de champ maximale est un cercle centré sur l'antenne.

2 Aéronef à une hauteur supérieure à celle de l'antenne d'une station de radiodiffusion

Si l'aéronef navigue à altitude constante sur un axe radial en direction et au-dessus de l'emplacement d'une antenne de radiodiffusion, le point d'intensité de champ maximale sera situé verticalement au-dessus de cette antenne (voir l'Appendice 2 de l'Annexe 2).

3 Relation entre distances de séparation verticale et horizontale

Si la valeur maximale de correction du DRV pour l'antenne de radiodiffusion est de -14 dB, la valeur maximale de l'intensité de champ obtenue pour une séparation verticale de y mètres sera la même que pour une séparation de $5y$ mètres dans le plan horizontal passant par cette antenne de radiodiffusion (lorsque la correction DRV est de 0 dB).

4 Emplacement du point de probabilité maximale de brouillage

Pour les calculs de compatibilité A1, A2 et B2, les concepts de séparation verticale et de séparation horizontale sont équivalents parce que la source des signaux de radiodiffusion est au même emplacement. Dans le cas B1, les sources de signaux ne sont généralement pas au même endroit: l'emplacement du point de probabilité maximale de brouillage ne sera sans doute pas immédiatement repérable si l'on utilise le concept de séparation horizontale.

Mais si l'on utilise le concept de séparation verticale, le point de probabilité maximale de brouillage sera situé au-dessus de l'une ou de l'autre antenne de radiodiffusion (voir l'Appendice 2 de l'Annexe 2).

Une paire (ou un trio) unique de points a ainsi été définie pour un calcul du cas le moins favorable sans qu'il ait été nécessaire de faire appel à un très grand nombre de points de calcul sur une sorte de réseau tridimensionnel.

5 Points de mesure pour le service de localisation GBAS

Dans la MEG, ce procédé direct sera utilisé pour les calculs de compatibilité dans le cas du service de localisation GBAS. On le complétera de points de mesure supplémentaires, situés à la limite ou à proximité de la zone de COS afin de s'assurer que l'on prend bien en compte les stations de radiodiffusion extérieures à la COS.

6 Points de mesure pour le service d'approche de précision GBAS

Contrairement au cas précédent, la COS pour l'approche de précision GBAS recouvre relativement peu de stations de radiodiffusion. Il est donc plus facile de démontrer que la compatibilité a été totalement évaluée au moyen d'un ensemble de points de mesure fixes en complément des points de mesure déterminés au-dessus ou à proximité de toutes les stations de radiodiffusion contenues dans la COS.

Les points de mesure situés à l'intérieur de la zone ombrée de la Fig. 3 ont été choisis de façon à permettre d'évaluer la compatibilité à partir du niveau du sol. Les hauteurs de ces points ont été choisies de manière à représenter une trajectoire de descente sur une pente de 3° .

7 Effet d'une augmentation de la hauteur d'un point de mesure

Les calculs de brouillage potentiels de type B1 à 2 ou à 3 composantes donnent les résultats les plus défavorables à la hauteur minimale du point de mesure pour tout sous-ensemble donné de stations de radiodiffusion qui se trouvent en visibilité directe de ce point. Cependant, pour une hauteur plus élevée du point de mesure, il est possible que d'autres stations de radiodiffusion soient aussi en visibilité directe de ce point. D'autres calculs sont alors nécessaires pour déterminer si ces stations peuvent contribuer à un éventuel brouillage de type B1. La valeur maximale de tout brouillage potentiel intervient à la hauteur minimale pour laquelle toutes les stations de radiodiffusion étudiées sont en visibilité directe du point de mesure. La hauteur maximale à prendre en compte sera la plus petite des valeurs suivantes:

- la hauteur maximale de la COS; ou
- la hauteur maximale à laquelle le niveau de signal d'une station de radiodiffusion parvient à la valeur de déclenchement.

Appendice 2 de l'Annexe 2

Considérations relatives à l'intensité de champ maximale et à la probabilité maximale de brouillage

1 Intensité de champ maximale

Soit un aéronef naviguant sur une trajectoire radiale en direction d'une station de radiodiffusion à une altitude constante et supérieure à celle de l'antenne de radiodiffusion (voir la Fig. 4).

Dans ce qui suit:

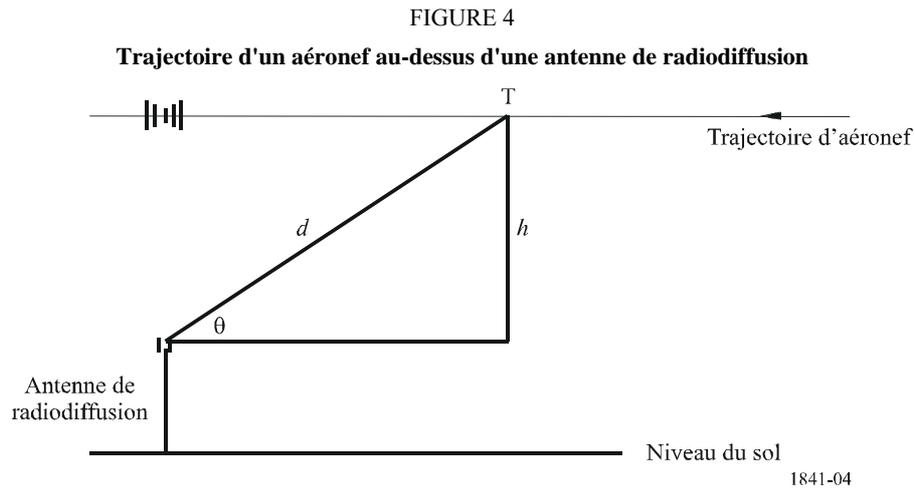
- P : p.a.r. (dBW)
- h : différence d'altitude (km)
- d : distance en trajet oblique (km)
- θ : angle d'élévation par rapport au plan horizontal à l'antenne de radiodiffusion
- V : facteur de correction de DRV (dB).

En tout point T, l'intensité de champ E (dB(μ V/m)) (voir la Note 1) est calculée à l'aide de la formule suivante (voir le § 3.3.7 de l'Annexe 1):

$$E = 76,9 + P - 20 \log d + V \quad (16)$$

NOTE 1 – Pour plus de simplicité, on suppose qu'il n'y a pas de correction de DRH.

La correction de DRV est représentée sous la forme $-20 \log (\pi A \sin \theta)$ où A est l'ouverture verticale des antennes (longueurs d'onde), sous réserve d'une valeur maximale de correction pour des valeurs élevées de θ .



1.1 Aux valeurs faibles de θ (où le facteur V est compris entre 0 et sa valeur maximale),

$$E = 76,9 + P - 20 \log d - 20 \log (\pi A \sin \theta) \quad (17)$$

mais $d = h / \sin \theta$

donc:

$$E = 76,9 + P - 20 \log \left(\frac{h \pi A \sin \theta}{\sin \theta} \right) = 76,9 + P - 20 \log (h \pi A) \quad (18)$$

La valeur d'intensité de champ est donc constante.

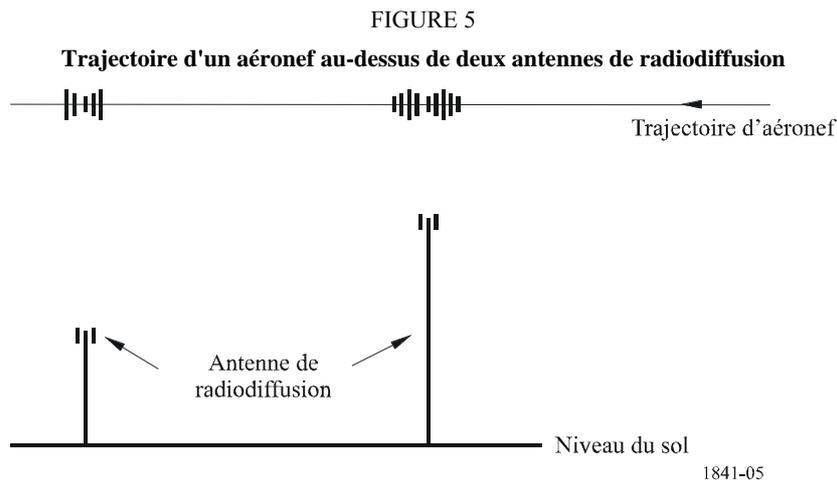
1.2 Aux valeurs plus élevées de θ (où V a atteint sa valeur maximale) qui est près de la station de radiodiffusion (zone hachurée de la Fig. 4), le facteur de correction de DRV reste constant à sa valeur maximale. Donc:

$$E = 76,9 + P - 20 \log d + \text{constante} \quad (19)$$

La valeur maximale de l'intensité de champ sera obtenue lorsque la distance d atteint sa valeur minimale (= h) directement au-dessus de l'antenne de radiodiffusion.

2 Probabilité maximale de brouillage de type B1

Soit un aéronef suivant une trajectoire à altitude constante au-dessus de la ligne reliant deux antennes de radiodiffusion (voir la Fig. 5).



A l'extérieur des zones hachurées, les valeurs d'intensité de champ sont constantes (comme décrit au § 1.1). Leur somme est constante et la probabilité de brouillage de type B1 est donc constante.

A l'intérieur de chaque zone hachurée, la valeur d'intensité de champ en provenance de l'émetteur le plus proche augmente jusqu'à une valeur locale maximale en un point situé directement au-dessus de l'antenne de cet émetteur (comme décrit au § 1.2).

Dans la MEG, on examinera les deux valeurs maximales locales, ce qui permettra de repérer le cas le moins favorable.

Un raisonnement analogue s'appliquera dans le cas de trois stations.

Annexe 3

Evaluation détaillée de la compatibilité et vérification pratique

TABLE DES MATIÈRES

		<i>Page</i>
1	Introduction	27
2	Questions nécessitant un examen spécial	27
	2.1 Prédiction des intensités de champ de radiodiffusion.....	27
	2.2 Examen des points de mesure.....	27
	2.3 Examen des stations exploitées	28
3	Brouillage multiple	28
4	Evaluation détaillée de la compatibilité.....	28
5	Processus de vérification pratique	28
6	Résumé	29

1 Introduction

La méthode d'évaluation générale (MEG) prédit un plus grand nombre d'incompatibilités potentielles avec le service de radionavigation aéronautique qu'il ne peut s'en produire en pratique. Les résultats d'essais de corrélation montrent cependant que, lorsqu'on utilise des données mesurées dans une analyse de compatibilité, les résultats calculés peuvent être en relation étroite avec l'expérience pratique. Ainsi, l'utilisation de données mesurées améliorera la précision d'une analyse de compatibilité.

En prolongement de la MEG, on pourra conduire une analyse détaillée au cas par cas, au moyen de paramètres issus de modèles possédant des degrés de précision plus élevés. On pourra utiliser ces modèles séparément ou en combinaison. Ils se rapprochent de l'expérience concrète lorsque les valeurs calculées des paramètres individuels se calquent plus étroitement sur les valeurs mesurées. L'avantage de cette méthode de modélisation est qu'elle offre d'efficaces possibilités d'analyse de compatibilité et qu'elle peut fournir des résultats précis, ce qui peut éviter la nécessité d'effectuer des mesures en vol approfondies, avec les difficultés pratiques que cela suppose.

2 Questions nécessitant un examen spécial

2.1 Prédiction des intensités de champ de radiodiffusion

Dans la MEG, la prédiction des intensités de champ de radiodiffusion est fondée sur la propagation des ondes en espace libre. Les mesures ont cependant montré que les prédictions de propagation en espace libre peuvent conduire à une surestimation notable si les antennes d'émission comme de réception sont à faible hauteur (par exemple moins de 150 m) au-dessus du sol.

En général, il n'est pas possible d'effectuer des calculs plus réalistes que ceux qui sont fondés sur la propagation en espace libre car on ne dispose pas toujours de renseignements suffisants quant au trajet radioélectrique entre l'antenne de la station de radiodiffusion et le point de mesure. Il faut en particulier connaître le profil du terrain le long de ce trajet. Mais si l'on dispose de ces informations, par exemple en provenance d'une banque de données géographiques, on peut effectuer des calculs plus réalistes d'intensité de champ. Pour les raisons évoquées plus haut, il faut s'attendre à ce que les valeurs d'intensité de champ calculées par une méthode fine (en particulier pour les trajets de propagation avec peu de dégagement) soient notablement plus faibles que les valeurs obtenues en supposant seulement une propagation en espace libre. Dans ces circonstances, des méthodes de calcul d'intensité de champ plus fines aboutiront à une réduction importante des probabilités d'incompatibilité.

2.2 Examen des points de mesure

Lorsqu'on entreprend une analyse détaillée de compatibilité pour un point de mesure quelconque sur lequel la MEG a signalé une incompatibilité potentielle, il convient de veiller à contrôler la validité de ce point de mesure par rapport au volume du service aéronautique. Comme la MEG construit automatiquement ses points de mesure, il se peut que certains de ces points coïncident avec des emplacements où, conformément aux publications d'informations aéronautiques:

- l'aéronef n'est pas en mesure de naviguer en raison d'obstacles naturels ou artificiels;
- l'aéronef n'est pas autorisé à naviguer en raison de restrictions de vol spécifiques;
- il est conseillé aux pilotes de ne pas utiliser l'équipement de navigation aéronautique parce que l'on sait qu'il donnera des résultats non fiables dans cette zone.

Il peut aussi y avoir des circonstances dans lesquelles les points de mesure déterminés par la MEG se trouvent au-dessous, donc en dehors, de la COS pour la localisation GBAS. Cela est particulièrement susceptible de se produire avec les installations GBAS de très faible puissance.

2.3 Examen des stations exploitées

Etant donné que la MEG a pour objet de calculer toutes les incompatibilités potentielles importantes à l'intérieur d'un volume de service aéronautique, on y a inclus un certain nombre d'hypothèses correspondant aux cas les plus défavorables. Il est donc probable qu'il y aura une surestimation des brouillages potentiels et l'on pourra constater que la MEG indique des brouillages potentiels dans des situations où les stations aéronautiques et de radiodiffusion en cause sont toutes en exploitation sans qu'un quelconque problème de brouillage semble exister en pratique. Il conviendra d'étudier de telles situations car elles pourront fournir des renseignements utiles, pouvant conduire à une amélioration de la méthode d'évaluation.

3 Brouillage multiple

Si l'on dispose de valeurs mesurées ou de prédictions suffisamment précises sur les intensités des champs utiles et brouilleurs, il faut prendre en compte les produits d'intermodulation multiples pour chaque type de brouillage. On pourra pour cela utiliser la méthode de la sommation en puissance de toutes les marges de brouillage (IM) en un point de mesure donné.

La marge de brouillage totale, IM (dB) est donnée par la relation suivante:

$$IM = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N 10^{(IM_i/10)} \right) \quad (20)$$

où:

- N : nombre de marges de brouillage individuelles
- IM_i : valeur de la i ème marge de brouillage.

4 Evaluation détaillée de la compatibilité

Dans une évaluation de compatibilité détaillée au cas par cas, il y a lieu d'utiliser les valeurs les plus précises dont on dispose pour les données. La précision des calculs de compatibilité sera en particulier améliorée par les opérations suivantes:

- remplacement du diagramme de rayonnement horizontal prédit pour une antenne de radiodiffusion par un diagramme mesuré pour l'antenne telle qu'elle est installée;
- remplacement du diagramme de rayonnement vertical prédit pour une antenne de radiodiffusion (voir le § 4 de l'Annexe 2) par le diagramme mesuré pour l'antenne telle qu'elle est installée.

On obtiendra comme suit d'autres améliorations de la précision des calculs de compatibilité:

- remplacement des niveaux prédits des signaux de radiodiffusion par des valeurs mesurées au cours d'essais en vol;
- remplacement des niveaux prédits des signaux aéronautiques par des valeurs obtenues au cours d'essais en vol.

5 Processus de vérification pratique

La vérification des résultats des calculs d'évaluation de compatibilité pourra prendre une des formes suivantes:

- mesure des niveaux des signaux de radiodiffusion à l'entrée d'un récepteur aéronautique;
- mesure du niveau d'un signal aéronautique à l'entrée de son récepteur;

- utilisation d'un récepteur aéronautique dont les caractéristiques ont été mesurées par essais au banc compte tenu d'une gamme adéquate de signaux, de niveaux et de fréquences radiophoniques et aéronautiques; on tiendra compte également de la différence entre ces caractéristiques mesurées et les valeurs utilisées pour les calculs théoriques;
- utilisation d'un aéronef dont l'antenne de réception a un diagramme de rayonnement et une réponse en fréquence qui ont été mesurés; on tiendra compte également de la différence entre ces caractéristiques mesurées et les valeurs utilisées pour les calculs théoriques.

Il importe particulièrement d'utiliser à bord des aéronefs des antennes de réception dont les caractéristiques ont été mesurées. Cela permettra d'effectuer une comparaison précise entre les valeurs d'intensité de champ prédites pour les stations de radiodiffusion et les niveaux des signaux correspondants qui se présentent à l'entrée des récepteurs aéronautiques.

6 Résumé

L'utilisation de données plus précises permettra d'améliorer la précision d'un calcul d'évaluation de compatibilité. Il s'agira par exemple:

- de valeurs mesurées pour les diagrammes de rayonnement horizontal des antennes de radiodiffusion;
- de valeurs mesurées pour les diagrammes de rayonnement vertical des antennes de radiodiffusion.

On pourra vérifier les calculs d'évaluation de compatibilité en utilisant:

- des niveaux mesurés des signaux de radiodiffusion;
- des niveaux mesurés des signaux aéronautiques;
- un récepteur aéronautique dont les caractéristiques ont été mesurées;
- une antenne de réception de bord dont le diagramme de rayonnement et la réponse en fréquence ont été mesurés.

Annexe 4

Définitions

Angle d'élévation

Angle par rapport au plan horizontal entre deux emplacements (valeurs positives au-dessus de ce plan) compte tenu du rayon terrestre équivalent défini ci-dessous. (Voir la Fig. 4.)

Annexe 10 de l'OACI

«Normes et pratiques recommandées internationales et procédures pour les services de navigation aérienne – Télécommunications aéronautiques – Annexe 10 à la Convention relative à l'aviation civile internationale – Volume I», Organisation de l'aviation civile internationale.

Catégorie I (CAT I)

Approche et atterrissage de précision aux instruments exécutés avec une hauteur de décision supérieure à 60 m (200 ft) et avec une visibilité supérieure à 800 m ou une portée visuelle de piste supérieure à 550 m.

Corrections d'antenne

Réductions de la puissance apparente rayonnée (p.a.r.), à des azimuts et à des angles d'élévation spécifiés, par rapport à la valeur de la p.a.r. dans la direction de rayonnement maximal. Ces facteurs de correction sont normalement spécifiés sous forme de corrections de rayonnement horizontal et de rayonnement vertical et sont exprimés en décibels.

Couverture opérationnelle spécifiée (COS)

Volume à l'intérieur duquel les conditions d'exploitation du service aéronautique sont satisfaites; c'est le volume de couverture qui est promulgué dans les publications aéronautiques.

Distance en trajet oblique

Plus courte distance entre deux points au-dessus de la surface de la Terre (par exemple entre une antenne de radiodiffusion et un point de mesure).

Distance et calcul de distance

Lorsque deux emplacements sont distants de plus de 100 km, la distance qui les sépare est calculée comme étant la plus courte longueur au sol de l'arc de grand cercle entre ces deux points. Pour les distances inférieures à 100 km, la hauteur d'antenne de l'émetteur de radiodiffusion et la hauteur du point de mesure sont prises en considération: si ces deux points sont en visibilité directe, on calcule la distance en trajet oblique.

Distances minimales de séparation

Distances minimales de séparation verticale et de séparation horizontale qui définissent autour d'une antenne de radiodiffusion une zone dans laquelle un aéronef ne naviguera normalement pas.

Drapeau

Avertisseur visuel intégré à l'indicateur de bord associé au récepteur GBAS, qui indique si le récepteur est hors de fonctionnement, si son fonctionnement n'est pas satisfaisant ou si le niveau ou la qualité du signal reçu tombe au-dessous de valeurs acceptables.

Etat fournisseur

Autorité responsable de la fourniture de services aéronautiques pour un pays ou pour une autre zone spécifiée.

Fin de piste

Point de la piste qui définit la fin de la piste utilisable pour l'atterrissage.

Point de mesure

Point pour lequel on effectue un calcul de compatibilité. Ce point est totalement décrit par les paramètres de position et de hauteur géographiques.

Point de toucher des roues

Point de la piste qui définit le début de la surface sur laquelle les roues de l'aéronef peuvent prendre contact avec le sol. Ce point fait normalement suite au seuil de piste.

Probabilité d'incompatibilité

Situation considérée comme existant lorsque les critères de protection adoptés ne sont pas satisfaits à un point de mesure.

Publication d'information aéronautique (AIP)

Document publié par un Etat fournisseur, décrivant entre autres choses les caractéristiques et la couverture opérationnelle spécifiée (COS) d'installations aéronautiques.

Radiophare omnidirectionnel à ondes métriques (VOR)

Aide de navigation à faible portée (jusqu'à environ 370 km ou 200 NM) qui présente à l'aéronef une indication permanente et automatique du relèvement par rapport à un point donné du sol.

Rayon terrestre équivalent

Pour calculer la distance, on utilise un rayon terrestre équivalant aux quatre tiers de la valeur vraie.

Seuil de piste

Début de la partie de la piste qui est utilisable pour l'atterrissage.

Système d'atterrissage aux instruments (ILS)

Système de radionavigation qui est spécifié dans l'Annexe 10 de l'OACI et qui est actuellement accepté par tous les pays comme aide normalisée d'approche de précision et d'atterrissage des aéronefs.

Système de renforcement au sol (GBAS)

Système de renforcement dans lequel un aéronef reçoit des informations complémentaires de navigation par satellite provenant directement d'un émetteur au sol.

Valeur de déclenchement

Valeur minimale d'un signal de radiodiffusion en modulation de fréquence qui, lorsqu'il est appliqué à l'entrée d'un récepteur aéronautique, est capable de provoquer l'apparition d'un produit d'intermodulation du troisième ordre ayant une puissance suffisante pour constituer une probabilité de brouillage.

Visibilité directe

Trajet sans obstacle entre deux points, compte tenu du rayon terrestre équivalent défini ci-dessus.
