RECOMMANDATION UIT-R M.1461*

**PROCÉDURES D'ÉVALUATION DES RISQUES DE BROUILLAGE ENTRE DES RADARS
FONCTIONNANT DANS LE SERVICE DE RADIOREPÉRAGE
ET LES SYSTÈMES D'AUTRES SERVICES**

(Question UIT-R 226/8)

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les caractéristiques d'antenne, de propagation du signal, de détection des cibles et de grande largeur de bande nécessaire propres aux radars pour remplir leur fonction sont optimales dans certaines bandes de fréquences;
- b) que les caractéristiques techniques des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage sont déterminées par les objectifs du système et varient grandement, même à l'intérieur d'une bande;
- c) que le service de radionavigation est un service de sécurité au sens du numéro S4.10 du RR et qu'aucun brouillage préjudiciable à son encontre ne peut être toléré;
- d) qu'une partie considérable du spectre attribué aux services de radiolocalisation et de radionavigation (s'élevant à environ 1 GHz) a été retirée à ces services ou reléguée à un statut inférieur depuis la CAMR-79;
- e) que certains groupes techniques de l'UIT-R envisagent la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes (par exemple, systèmes d'accès hertzien fixe ou systèmes fixes ou mobiles à haute densité) ou de services dans des bandes entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par des radars du service de radiorepérage;
- f) que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des systèmes fonctionnant dans les bandes attribuées au service de radiorepérage sont nécessaires pour déterminer la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes;
- g) que des procédures et des méthodologies sont nécessaires pour analyser la compatibilité des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage avec les systèmes d'autres services,

recommande

- 1 que les procédures figurant à l'Annexe 1 soient utilisées pour calculer les risques de brouillage entre les radars fonctionnant dans le service de radiorepérage et dans les systèmes d'autres services;
- 2 que les caractéristiques des radars contenues dans les Recommandations UIT-R appropriées soient utilisées pour la bande de fréquences considérée.

NOTE 1 – La présente Recommandation sera révisée dès que plus d'informations seront disponibles. Il est à noter que le travail est toujours à l'étude à l'UIT-R en ce qui concerne la compatibilité entre les radars dans la bande 2 700-2 900 MHz et les systèmes IMT-2000.

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de l'Organisation maritime internationale (OMI), de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), du Comité international radiomaritime (CIRM) et de l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

Procédures d'évaluation des risques de brouillage entre des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage et les systèmes d'autres services

1 Introduction

Des procédures d'analyse ont été mises au point. Etant donné la forte puissance de sortie de l'émetteur (de 50 kW à plusieurs MW) et du gain d'antenne (de 30 à 45 dBi) des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage (simplement dénommés radars ci-après), la compatibilité entre les radars et les systèmes d'autres services est en grande partie évaluée grâce à l'analyse des effets des émissions radar sur les systèmes de réception d'autres services. Cette procédure d'analyse porte donc essentiellement sur les méthodes suivies pour évaluer les risques de brouillage à partir de radars. On traitera d'autre part brièvement de la question de la désensibilisation potentielle des récepteurs radars par des émissions provenant de systèmes modulés en ondes entretenues d'autres services.

Du fait même des missions qui leur sont confiées, bon nombre de radars sont mobiles et ne peuvent être maintenus dans des zones d'exploitation préétablies. Par ailleurs, ces missions exigent souvent souplesse de fréquence et utilisation intégrale de la bande allouée. Mais lorsque l'on prévoit d'exploiter des radars dans certaines zones proches d'autres systèmes, on peut évaluer les risques de brouillage en suivant les procédures indiquées dans la présente Recommandation.

2 Brouillage causé par les radars aux systèmes d'autres services

Des enquêtes sur plusieurs cas de brouillage ont permis de repérer deux mécanismes de couplage de brouillage électromagnétique primaire entre des systèmes radars à grande puissance et d'autres services: la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur et les émissions radar couplées au niveau de la bande passante FI du récepteur. Les mécanismes de brouillage sont étudiés ci-dessous.

2.1 Surcharge de l'étage d'entrée des récepteurs

Ce mécanisme de brouillage intervient lorsque l'énergie émanant de la fréquence fondamentale (émissions nécessaires) d'un signal brouilleur sature l'étage d'entrée du récepteur victime (amplificateur à faible bruit (AFB) dans certains systèmes) ce qui entraîne une compression de gain du signal utile suffisante pour nuire à la performance du récepteur. La surcharge de l'étage d'entrée des récepteurs est normalement due à une mauvaise sélectivité RF dans l'étage d'entrée du récepteur victime.

2.1.1 Evaluation des risques de surcharge de l'étage d'entrée d'un récepteur

Le seuil d'entrée auquel la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur se produit est fonction du niveau de compression de gain à la sortie (niveau de saturation) de 1 dB et du gain de l'étage d'entrée du récepteur ou de l'amplificateur AFB à l'étage d'entrée, à savoir:

$$T = C - G \quad (1)$$

où:

T : seuil d'entrée à partir duquel il y a surcharge de l'étage d'entrée du récepteur (dBm)

C : niveau de compression (saturation) de gain à la sortie de 1 dB de l'étage d'entrée du récepteur ou de l'AFB (dBm)

G : gain de l'étage d'entrée du récepteur ou de l'AFB et fréquence fondamentale du radar (dB).

Par exemple, si les récepteurs utilisent des AFB ayant un gain de 50 à 65 dB et qu'ils ont un niveau de compression de gain à la sortie de 1 dB d'une valeur de +10 dBm, la gamme des valeurs de T va de -55 dBm à -40 dBm selon le gain de l'AFB.

Il y a donc risque de brouillage par suite d'une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur chaque fois que:

$$I_T = T - FDR_{RF} \quad (2)$$

où:

- I_T : niveau de crête du signal radar à la sortie de l'antenne ou à l'entrée du récepteur qui provoque une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur (dBm)
- T : seuil d'entrée à partir duquel il y a surcharge de l'étage d'entrée du récepteur (dBm)
- FDR_{RF} : rejet de la fréquence fondamentale du radar dépendant de la fréquence par la sélectivité RF pouvant se situer avant l'amplificateur (AFB) RF du récepteur ou être intégrée à l'amplificateur (AFB) proprement dit.

L'équation suivante sert à déterminer le risque d'une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur lorsque des radars fonctionnent à des distances données d'autres stations et à diverses fréquences.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P \quad (3)$$

où:

- I : puissance de crête des impulsions radar, à la fréquence fondamentale du radar, à la sortie de l'antenne de réception ou à l'entrée du récepteur (dBm)
- P_T : puissance de crête de l'émetteur radar (dBm)
- G_T : gain d'antenne dans le faisceau principal du radar (voir la Note 1) (dBi)
- G_R : gain de l'antenne de réception dans la direction de la station radar analysée (dBi)
- L_T : affaiblissement dans l'émetteur de la station radar (dB) (estimé à 2 dB)
- L_R : affaiblissement d'insertion dans le récepteur victime (dB)
- L_P : affaiblissement de propagation entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception (dB).

Pour calculer l'affaiblissement de propagation, il convient d'utiliser des modèles de propagation appropriés et éventuellement un couplage indirect en tenant compte des hauteurs d'antenne et du terrain lorsqu'on le juge utile. Si la puissance de crête calculée des impulsions radar, à la fréquence fondamentale, I , dépasse le seuil à partir duquel la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur se produit, I_T , il faudra faire le nécessaire pour assurer la compatibilité.

NOTE 1 – On a relevé des cas d'émissions radar entraînant une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur en ce qui concerne le couplage dans le faisceau principal. Il est donc recommandé d'utiliser le gain dans le faisceau principal du radar pour évaluer le risque maximum de brouillage provoqué par la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur.

2.2 Couplage d'émissions radar

Ce mécanisme de brouillage se produit lorsque l'énergie émise tombe dans la bande passante du récepteur FI. Cette énergie passe ensuite par la chaîne de réception avec un affaiblissement nul ou très faible. Lorsque les niveaux d'émissions radar dans la bande passante du récepteur sont élevés par rapport au niveau de signal utile, la performance du récepteur peut en souffrir.

2.2.1 Evaluation des risques de brouillage causé par les émissions radar

La première chose à faire pour évaluer la compatibilité est de calculer le niveau du signal auquel la performance du récepteur commence à baisser, I_T .

$$I_T = I/N + N \quad (4)$$

où:

- I/N : rapport brouillage sur bruit à l'entrée du détecteur (sortie FI) nécessaire au maintien de critères de performance acceptables (dB)
- N : niveau de bruit intrinsèque du récepteur (dBm)
 $(N = -144 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (kHz)} + NF$
 ou
 $N = -168,6 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (kHz)} + 10 \log T$
- où:
- B_{IF} : largeur de bande FI du récepteur (kHz)
- NF : facteur de bruit (dB)
- T : température de bruit du système (K).

D'autre part, le niveau du signal auquel la performance d'un récepteur commence à baisser, I_T , peut se calculer selon l'équation (5).

$$I_T = C - (C/I) \quad (5)$$

où:

C : niveau de signal de la porteuse utile à la sortie d'antenne (entrée du récepteur) (dBm)

C/I : rapport porteuse sur brouillage à l'entrée du prédétecteur (sortie FI) nécessaire au maintien de critères de performance acceptables (dB).

L'équation (6) sert à déterminer si les émissions radar risquent de créer un brouillage lorsque les radars fonctionnent à des distances données d'autres stations et à diverses fréquences.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (6)$$

où:

I : puissance de crête des impulsions radar à l'entrée du récepteur (dBm)

P_T : puissance de crête de l'émetteur radar analysé (dBm)

G_T : gain d'antenne dans le faisceau principal du radar (voir la Note 1) (dBi)

G_R : gain de l'antenne de réception dans la direction de la station radar analysée (dBi)

L_T : affaiblissement d'insertion dans l'émetteur de la station radar (dB)

L_R : affaiblissement d'insertion dans le récepteur victime (dB)

L_P : affaiblissement de propagation entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception (dB)

FDR_{IF} : rejet dépendant de la fréquence provoqué par la courbe de sélectivité FI du récepteur sur le spectre d'émission brouilleur (dB).

La valeur FDR à utiliser dans l'équation (6) peut être calculée grâce à la Recommandation UIT-R SM.337. La caractéristique FDR peut être divisée en deux termes, le rejet à la fréquence d'accord (OTR, *on-tune rejection*) et le rejet hors fréquence (OFR, *off-frequency rejection*) qui est le rejet supplémentaire résultant du désaccord entre le radar et le récepteur.

$$FDR_{IF}(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f) \quad (7)$$

En cas de signaux à impulsions en ondes entretenues et de signaux à impulsions codées en phase, le facteur de rejet à la fréquence d'accord est donné par la formule:

$$OTR = 0 \quad \text{pour } B_R \geq B_T \quad (8)$$

$$OTR = 20 \log (B_T / B_R) \quad \text{pour } B_R < B_T \quad (9)$$

où:

B_R : largeur de bande du récepteur à 3 dB (Hz)

B_T : largeur de bande de l'émetteur à 3 dB (Hz).

Dans le cas de signaux à impulsions modulées en fréquence, le facteur de rejet à la fréquence d'accord est donné par la formule:

$$OTR = 0 \quad \text{pour } B_C / (B_R^2 T) \leq 1 \quad (10)$$

$$OTR = 10 \log (B_C / (B_R^2 T)) \quad \text{pour } B_C / (B_R^2 T) > 1 \quad (11)$$

où:

T : largeur d'impulsion modulée en fréquence (s)

B_C : largeur de bande modulée de l'émetteur pendant la largeur d'impulsion, T , (Hz).

Pour calculer le rejet hors fréquence, OFR, il faut connaître la réponse du récepteur en FI et les caractéristiques du spectre d'émission des radars. L'UIT-R a indiqué des méthodes pour calculer les caractéristiques du spectre des émissions des radars modulés en ondes entretenues et en fréquence. Si l'on ne dispose pas d'informations sur les caractéristiques de l'émetteur radar en termes de temps de montée et de descente, il faut calculer les enveloppes des émissions radar pour un

temps nominal de montée et de descente de 0,1 μ s. Les niveaux de rayonnements non essentiels émis par les émetteurs radar sont fonction du dispositif de sortie de l'émetteur. Les niveaux de rayonnements non essentiels représentatifs sont indiqués dans la Recommandation UIT-R M.1314 pour divers dispositifs de sortie radar. Etant donné la forte puissance d'émission et les forts gains d'antenne propres à de nombreux radars, il peut être nécessaire, pour assurer la compatibilité, de prévoir de grandes séparations en fréquence et des bandes de garde.

Pour calculer l'affaiblissement de propagation, il convient d'utiliser des modèles de propagation appropriés et éventuellement un couplage indirect en tenant compte des hauteurs d'antennes et du terrain, lorsqu'on le juge utile. Si la puissance de crête calculée des impulsions radar, à l'entrée du récepteur, I , dépasse le seuil de dégradation de la qualité de fonctionnement du récepteur, I_T , il y a lieu de prendre les mesures nécessaires pour assurer la compatibilité.

NOTE 1 – Les cas de brouillages (émissions radar causant une dégradation au récepteur par couplage des lobes principaux) ont fait l'objet de plusieurs documents. Il est donc recommandé d'utiliser le gain de lobes principaux du radar pour évaluer le risque maximum de brouillage causé par les émissions radar dans la bande passante FI du récepteur.

3 Brouillage causé aux radars par des systèmes d'autres services

L'effet de désensibilisation sur les radars de radiorepérage due à une modulation assimilable à une onde entretenue ou à du bruit, causé par d'autres services, est probablement lié à l'intensité de cette modulation. Dans n'importe quel secteur d'azimut où ce type de brouillage se produit, il suffit simplement d'ajouter la densité spectrale de puissance de ce brouillage à la densité spectrale de puissance du bruit thermique du récepteur du radar pour obtenir un résultat relativement fiable.

Pour évaluer la compatibilité, il convient avant tout de calculer le niveau de signal, correspondant au seuil de dégradation de la qualité de fonctionnement du récepteur radar, I_T .

$$I_T = I/N + N \quad (12)$$

où:

I/N : rapport brouillage sur bruit à l'entrée du détecteur (sortie FI) nécessaire pour maintenir des critères de performance acceptables (dB)

N : niveau de bruit intrinsèque dû au récepteur (dBm)

$N = -114 \text{ dBm} + 10 \log B_{IF} \text{ (MHz)} + NF$

où:

B_{IF} : largeur de bande FI du récepteur (kHz)

NF : valeur du bruit du récepteur.

Si le rapport brouillage sur bruit n'est pas précisé pour le radar analysé (voir les Recommandations UIT-R pertinentes), il faut retenir un rapport I/N de -6 dB. Lorsque plusieurs sources de brouillage interviennent, le rapport I/N tolérable dépend du nombre de ces sources et de leur géométrie et doit être estimé lors de l'analyse d'un scénario donné. Le facteur de regroupement peut être très important dans le cas de certains systèmes de communication à forte densité. Si le brouillage par ondes entretenues provient de la plupart des azimuts, il est alors nécessaire de maintenir un rapport I/N inférieur. Au lieu de corriger le rapport I/N en fonction des effets de regroupement, on peut appliquer un modèle global automatisé tiré de la Recommandation UIT-R M.1316.

L'équation (13) sert à déterminer si les systèmes d'autres services peuvent fonctionner à des distances données des radars et à diverses fréquences.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (13)$$

où:

I : puissance de crête du signal brouilleur à l'entrée du récepteur radar (dBm)

P_T : puissance de crête de l'émetteur brouilleur analysé (dBm)

G_T : gain d'antenne du système brouilleur dans la direction du radar analysé (dBi)

G_R : gain d'antenne de la station radar dans la direction du système analysé (voir la Note 1) (dBi)

L_T : affaiblissement d'insertion dans l'émetteur (dB)

L_R : affaiblissement d'insertion dans le récepteur radar (dB)

L_P : affaiblissement de propagation entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception (dB)

FDR_{IF} : rejet dépendant de la fréquence provoqué par la courbe de sélectivité FI du récepteur sur le spectre de l'émetteur brouilleur (dB).

La valeur FDR à utiliser dans l'équation (13) peut se calculer grâce à la Recommandation UIT-R SM.337. Pour calculer cette valeur, on doit avoir la réponse de sélectivité de FI du récepteur radar et les caractéristiques du spectre de l'émetteur radar. Si la réponse de sélectivité FI du récepteur radar n'est pas fournie, il convient d'utiliser une sélectivité avec décroissance de 80 dB par décade à partir de la largeur de bande à 3 dB.

Pour calculer l'affaiblissement de propagation, il faut utiliser des modèles de propagation appropriés et éventuellement un couplage indirect en tenant compte des hauteurs d'antenne et du terrain lorsqu'on le juge utile. Si la puissance de crête calculée de la station brouilleuse à l'entrée du récepteur du radar, I dépasse le seuil de dégradation de la qualité de fonctionnement du récepteur, I_T , il convient de prendre les mesures nécessaires pour assurer la compatibilité.

NOTE 1 – La plupart des antennes de radar de radiorepérage balayent à 360° en azimut avec des angles d'élévation élevés. Toutefois, certaines antennes de système radar balayent par secteur mais la plate-forme peut être d'ordinaire orientée dans n'importe quelle direction azimutale. Il y a généralement brouillage des systèmes radar lorsque le faisceau principal de l'antenne radar est dirigé sur le signal brouilleur. Le faisceau principal du radar devrait donc d'ordinaire servir à l'analyse. Dans certains cas particuliers, il est possible que le faisceau principal du radar n'illumine pas la station interagissante (par suppression de secteur), auquel cas il convient d'utiliser le niveau des lobes secondaires appropriés de l'antenne.