

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1461-2
(01/2018)

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

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <https://www.itu.int/pub/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiopérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2018

© UIT 2018

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.1461-2*

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 226/5)

(2000-2003-2018)

Domaine d'application

La présente Recommandation propose des orientations et des procédures pour déterminer les risques de brouillage entre des radars fonctionnant dans le service de radiorepérage et des systèmes d'autres services.

Mots clés

Radar, procédure, brouillage, critère de protection

Abréviations/Glossaire

AFB	amplificateur à faible bruit
CW	onde entretenue (<i>continuous-wave</i>)
FDR	rejet dépendant de la fréquence (<i>frequency dependent rejection</i>)
MDP-2	modulation par déplacement de phase bivalente (<i>binary phase shift keying</i>)
MDP-4:	modulation par déplacement de phase quadrivalente (<i>quadrature phase shift keying</i>)
OFR	rejet hors fréquence (<i>off-frequency rejection</i>)
OTR	rejet à la fréquence d'accord (<i>on-tune rejection</i>)

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 de fréquences;
- c) que le service de radionavigation est un service de sécurité au sens du numéro 4.10 du Règlement des radiocommunications (RR) et qu'aucun brouillage préjudiciable à son encontre ne peut être toléré;
- d) 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

* 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).

densité) ou de services dans des bandes de fréquences entre 420 MHz et 34 GHz utilisées par des radars du service de radiorepérage;

e) que des caractéristiques techniques et d'exploitation représentatives des systèmes fonctionnant dans les bandes de fréquences attribuées au service de radiorepérage sont nécessaires pour déterminer la possibilité d'introduire de nouveaux types de systèmes;

f) 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.

Annexe 1

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 (3) sert à déterminer le risque d'une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur lorsque des radars fonctionnent à une distance donnée 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):

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

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 prédécteur (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 2) (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).

NOTE 2 – Des cas de brouillage par des émissions radar causant une dégradation à la réception par couplage des lobes principaux ont été signalés. 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 FI du récepteur.

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.

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

Introduction

Il existe deux principales situations de brouillage électromagnétique d'un système radar par des signaux brouilleurs provenant de systèmes d'autres services. La première est causée par une surcharge de l'étage d'entrée entraînant une saturation et la production de produits d'intermodulation. La seconde résulte des émissions brouilleuses dans la bande FI du récepteur qui causent une désensibilisation et une dégradation des performances se traduisant par une baisse générale des performances du radar.

3.1 Surcharge de l'étage d'entrée du récepteur

3.1.1 Saturation de l'étage d'entrée

Cette situation de brouillage se produit lorsque de l'énergie d'un signal non souhaité sature l'AFB de l'étage d'entrée du récepteur radar, se traduisant par une compression du gain sur le signal utile suffisante pour dégrader les performances du récepteur. Le seuil auquel survient la surcharge de l'étage d'entrée est fonction du point de compression à 1 dB (saturation) et du gain de l'étage d'entrée du récepteur. Pour un récepteur radar ayant une largeur de bande RF d'entrée B_{RF} et un point de compression à 1 dB d'entrée $P_{1\text{ dB}}$ (dBm), la puissance brouilleuse totale dans la largeur de bande B_{RF} entrant dans le récepteur du radar ne doit pas dépasser:

$$P_{I, RF\ max} = P_{1\text{ dB}} + k_{sat} = C - G + k_{sat} \quad \text{dBm} \quad (12)$$

où:

$P_{I, RF\ max}$: puissance de brouillage maximale admissible dans la bande RF (dBm)

k_{sat} : marge de saturation (dB) qui doit être déterminée individuellement pour chaque radar et chaque type de brouillage (k_{sat} est généralement négative)

- $P_{1\text{ dB}}$: défini comme étant le point de compression à 1 dB (dBm) à l'entrée de l'étage d'entrée du récepteur, autrement dit le point où le gain de l'ensemble de la chaîne de réception a diminué de 1 dB
- C : point de compression à 1 dB (saturation) en sortie de l'étage d'entrée du récepteur ou de l'AFB (dBm)
- G : gain de l'étage d'entrée du récepteur à la fréquence fondamentale de la source de brouillage potentiel (dB).

A titre d'exemple, si les récepteurs utilisent des AFB avec un gain de 60 dB et un point de compression à 1 dB en sortie d'une valeur de +10 dBm, la valeur de $P_{1\text{ dB}}$ est de $10 - 60 = -50$ dBm.

Le respect de la valeur de l'équation (12) est indispensable pour éviter que le récepteur n'approche ou n'atteigne l'état de saturation et donc pour conserver une dynamique suffisante pour le signal de l'écho radar proprement dit. De plus, la fraction de puissance brouilleuse qui se trouve dans la largeur de bande FI du récepteur du radar doit aussi satisfaire aux exigences indiquées dans les Recommandations pertinentes de l'UIT.

Il y a risque de surcharge de l'étage d'entrée du récepteur par brouillage lorsque:

$$I_T > P_{I, RF\ max} - FDR_{RF} \quad (13)$$

où:

- I_T : niveau du signal brouilleur à l'entrée du récepteur qui produit une surcharge de l'étage d'entrée (dBm)
- FDR_{RF} : rejet, dépendant de la fréquence, de la source de brouillage dû à tout phénomène sélectif RF en amont de l'amplificateur (AFB) RF du récepteur ou propre à cet amplificateur.

La puissance de brouillage reçue, totalisée sur l'ensemble de la largeur de bande RF, ne doit pas dépasser le niveau auquel la puissance de sortie de l'élément particulier de la chaîne de récepteur qui est le premier à saturer maintient une marge suffisante au-dessous du point de compression à 1 dB. Ceci a pour objet de limiter la réduction de la dynamique et d'empêcher que les produits d'intermodulation du troisième ordre ne dépassent le rapport I/N acceptable dans la largeur de bande FI du récepteur.

On peut utiliser l'équation (13) pour déterminer le niveau du signal brouilleur à l'entrée du premier étage de l'amplificateur de la chaîne de réception lorsque les sources de brouillage agissent à une distance donnée d'autres stations et qu'elles sont séparées par des valeurs de fréquence données tout en restant dans la largeur de bande RF du récepteur:

$$I = P_T + G_T + G_R - L_t - L_R - L_P \quad (14)$$

où:

- I : puissance crête du signal brouilleur à l'entrée du récepteur (dBm)
- P_T : puissance crête de l'émetteur de la source de brouillage (dBm)
- G_T : gain de l'antenne de la source de brouillage dans la direction du radar analysé (dBi)
- G_R : gain de l'antenne du radar dans la direction de la source de brouillage (dBi)
- L_t : perte d'insertion dans l'émetteur (dB)
- L_R : perte d'insertion dans le récepteur du radar (dB)
- L_P : perte de propagation entre les antennes d'émission et de réception (dB).

Pour déterminer la perte de propagation, il convient d'utiliser les modèles de propagation appropriés et l'éventuel couplage indirect en tenant compte, au besoin, des hauteurs d'antenne et du terrain (voir le § 3.3). Si la puissance calculée de l'ensemble des sources de brouillage dépasse le seuil I_T auquel survient la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur, il faut prendre les mesures nécessaires pour obtenir la compatibilité.

3.1.2 Intermodulation

Dans le cas d'un récepteur radar équipé d'un étage d'entrée à large bande RF, B_{RF} , (tel que défini au § 3.1.1) et dont la largeur de bande FI est, comme cela est habituellement le cas, beaucoup plus étroite, il faut tenir compte des effets de l'intermodulation du 3ème ordre qui a pour effet de transférer dans la largeur de bande FI de l'énergie du signal extérieure à la largeur de bande FI (mais dans la largeur de bande RF).

Toute paire de porteuses de fréquences («sons») f_1 et f_2 peut engendrer des produits du 3ème ordre de $f_3 = 2*f_1 - f_2$ ou $f_3 = 2*f_2 - f_1$. Si la fréquence f_3 se trouve dans la largeur de bande FI, il se produit une puissance de brouillage à la fréquence d'accord qui est ensuite amplifiée et traitée par les sections de FI et de bande de base des récepteurs radar.

Les effets de l'intermodulation augmentent considérablement avec le niveau de puissance d'une fréquence donnée. Une augmentation de 10 dB de la puissance sur une fréquence produit une augmentation de 30 dB de la puissance du produit d'intermodulation. Le point (théorique) où la puissance des produits d'intermodulation du 3ème ordre dépasse la puissance amplifiée d'une seule fréquence est appelé le point d'interception de sortie du 3ème ordre ($IP3_{out}$). Dans le cas des AFB RF comme ceux utilisés dans l'étage d'entrée des radars, $IP3_{out}$ se situe entre 10 et 15 dB au-dessus du point de compression de 1 dB à la sortie $P_{1\text{ dB},out}$.

En cas de signaux multiporteuses, les phénomènes d'intermodulation d'ordre inférieur ou égal à 5 pourraient représenter une source considérable de brouillages qu'il conviendrait de prendre en considération.

La puissance de brouillage transférée par l'intermodulation d'ordre supérieur ou égal à 3 de l'extérieur à l'intérieur de la largeur de bande FI doit être considérée comme un brouillage à l'accord, c'est-à-dire qu'elle doit être combinée à la puissance de brouillage entrant directement dans la largeur de bande FI et elle doit satisfaire à la condition fixée pour le rapport I/N dans la Recommandation UIT-R pertinente.

3.2 Dégradation de la sensibilité

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 .

$$I_T = I/N + N \quad (15)$$

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 (MHz)

NF : valeur du bruit du récepteur (dB).

L'équation (15) sert à déterminer si les systèmes d'autres services peuvent fonctionner à des distances données des radars et à diverses fréquences.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF} \quad (16)$$

où:

I : puissance de crête du signal brouilleur à l'étage d'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 3) (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).

NOTE 3 – La plupart des antennes de radar de radiopérage balayent sur 360° en azimut jusqu'à des angles d'élévation élevés. Certaines le font par secteurs ou de manière aléatoire, mais la plate-forme du radar est généralement orientable dans n'importe quelle direction azimutale. Le brouillage des systèmes radar se produit généralement lorsque le lobe principal de l'antenne est dirigé vers le signal non désiré, c'est pourquoi le lobe principal doit être pris en compte dans l'analyse. Dans certaines situations particulières, il se peut que le lobe principal n'illumine pas la station considérée (par inactivation sectorielle), auquel cas c'est le niveau des lobes secondaires qu'il convient d'utiliser.

La valeur FDR à utiliser dans l'équation (16) 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 fréquence du bord de la largeur de bande à 3 dB jusqu'à un seuil de sélectivité de 70 dB qui représente la valeur plancher.

3.3 Critères de protection

En général, les utilisateurs de radars acceptent un signal provenant d'un autre service à facteur de forme élevé (par exemple de type onde entretenue, MDP-2, MDP-4, à caractère de bruit, etc.) se traduisant par un rapport I/N inférieur à -6 dB. Un rapport de -6 dB entraîne une augmentation de $(I + N)/N$ de 1,26, correspondant à une augmentation de la puissance de bruit dans le récepteur radars de 1 dB environ. Dans certains cas cette valeur de -6 dB peut ne pas être acceptable, et il faudra de nouvelles études ou de mesures de compatibilité pour évaluer le brouillage en termes d'impact

opérationnel sur les performances du radar. Dans le cas des systèmes radar fonctionnant dans une bande de fréquences pour laquelle il existe une Recommandation UIT-R traitant des caractéristiques des radars et des critères de protection, il convient de consulter la Recommandation¹ concernée qui contient des indications spécifiques.

L'effet d'un brouillage pulsé est relativement difficile à quantifier et dépend fortement de la conception du récepteur/processeur et du mode de fonctionnement du système. En particulier, les gains différentiels résultant du traitement de l'écho de cible, qui est pulsé de façon synchrone, et des impulsions de brouillage, qui sont généralement asynchrones, ont souvent des effets importants sur les niveaux donnés de brouillage impulsif. Cette désensibilisation peut être à l'origine de différents types de dégradation de performance. L'évaluation de la désensibilisation constituera un objectif d'analyse des interactions entre certains types de radar. On s'attend, en général, à ce que les nombreuses fonctions des radars de radiorepérage contribuent à supprimer le brouillage par impulsions à faible facteur de forme lorsque, en particulier, il provient de quelques sources isolées. La Recommandation UIT-R M.1372 – Utilisation efficace du spectre radioélectrique par les stations radar du service de radiorepérage, traite de plusieurs techniques de suppression du brouillage pulsé émanant de sources à faible facteur de forme.

En présence de plusieurs brouilleurs, le critère de protection I/N est inchangé (car il dépend du type de récepteur du radar et des caractéristiques de son traitement du signal). Toutefois, le niveau de brouillage total parvenant au récepteur du radar (qu'il convient de vérifier au plan des critères de protection I/N) dépend du nombre de brouilleurs, de leur distribution spatiale et de leur structure de signal, et il convient de le déterminer au moyen d'une analyse globale d'un scénario donné. Le facteur de regroupement peut être considérable dans le cas de certains systèmes de communication à haute densité. Si les brouillages proviennent de plusieurs directions en azimut, une analyse globale doit accumuler les contributions simultanées captées par le lobe principal et/ou les lobes latéraux de l'antenne pour déterminer le rapport de protection I/N réel.

4 Choix du modèle de propagation

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. En général, il ne faudrait pas tenir compte de l'effet d'écran des obstacles naturels ou artificiels. Dans les cas de partage spécifiques dans lesquels il existe des données précises, on peut faire une analyse détaillée du trajet et un calcul précis de l'affaiblissement; si l'affaiblissement de propagation entre les sites du radar brouilleur et du radar brouillé est déterminé expérimentalement pour toutes les fréquences présentant de l'intérêt, ceci peut être accepté. Si la puissance crête calculée de l'ensemble des sources de brouillage 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.

Dans le cas des radars ayant des fonctions de sécurité, la surveillance du trafic aérien, par exemple, le modèle de propagation doit tenir compte de tous les phénomènes d'accentuation qui, même pendant de brefs instants, peuvent causer un dépassement de la limite acceptable. En raison de leurs conditions d'exploitation, les radars utilisés pour la sécurité de la vie humaine, tels que les radars de surveillance aéroportuaire, doivent être protégés tant contre les brouillages de brève que de longue durée. Le cas d'un signal brouilleur d'origine inconnue et de courte durée mérite une attention particulière.

¹ Parmi les Recommandations UIT-R donnant les caractéristiques techniques et les critères de protection pour des bandes de fréquences spécifiques on peut citer les suivantes: Recommandations UIT-R M.1460, UIT-R M.1462, UIT-R M.1463, UIT-R M.1464, UIT-R M.1465 et UIT-R M.1466.