

RECOMMANDATION UIT-R F.1097*

**POSSIBILITÉS D'ATTÉNUATION DES BROUILLAGES POUR AMÉLIORER
LA COMPATIBILITÉ ENTRE LES SYSTÈMES RADAR ET
LES FAISCEAUX HERTZIENS NUMÉRIQUES**

(Question UIT-R 159/9)

(1994)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les systèmes radar peuvent occasionner des brouillages aux faisceaux hertziens numériques dans certaines situations;
- b) qu'il existe deux phénomènes de couplage dans les faisceaux hertziens, de l'énergie rayonnée par les stations radar, à savoir: surcharge des étages d'entrée du faisceau hertzien (désensibilisation du récepteur) provoquée par la fréquence fondamentale du radar, et rayonnements non essentiels du radar dans les bandes du faisceau hertzien;
- c) qu'un grand nombre des techniques utilisées par les concepteurs de faisceaux hertziens pour améliorer la qualité de fonctionnement permettront vraisemblablement de diminuer la vulnérabilité des faisceaux hertziens aux brouillages occasionnés par les radars;
- d) que, dans les autres cas, la méthode la plus souhaitable pour atténuer les brouillages peut consister à réduire les rayonnements non essentiels au niveau du radar,

recommande

1. de prendre en considération les possibilités ci-après d'atténuation des brouillages pour la conception et la mise en œuvre des faisceaux hertziens numériques, afin d'améliorer leur compatibilité avec les systèmes radar:
 - filtres hyperfréquences,
 - diversité d'espace,
 - diversité angulaire,
 - codage avec correction d'erreur directe,
 - utilisation de canaux de remplacement,
 - utilisation de bandes de remplacement,
 - choix du trajet,
 - augmentation de la puissance d'émission,
 - choix (des caractéristiques) de l'antenne,
 - toute autre technique possible;
2. de prendre en considération les possibilités ci-après d'atténuation des brouillages pour la configuration des systèmes radar, afin d'améliorer leur compatibilité avec les faisceaux hertziens numériques:
 - filtres RF,
 - remplacement de l'émetteur,
 - choix ou ajustement de la fréquence d'émission,
 - toute autre technique possible;
3. de se référer à l'Annexe 1 à la présente Recommandation pour obtenir des directives supplémentaires.

* Cette 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) ainsi que des Commissions d'études 1 (Groupe de travail 1A) et 8 (Groupe de travail 8C) des radiocommunications.

ANNEXE 1

**Possibilités d'atténuation des brouillages pour améliorer
la compatibilité entre les systèmes radar et
les faisceaux hertziens numériques**

1. Options relatives aux faisceaux hertziens**1.1 Filtres hyperfréquences**

Lorsqu'un système radar occasionne des brouillages à un faisceau hertzien, l'une des premières tentatives visant à réduire ces brouillages consiste à déterminer si le phénomène de couplage est une surcharge des étages d'entrée provoquée par la fréquence fondamentale du radar. S'il s'agit bien d'une telle surcharge affectant le préamplificateur à faible bruit, sous l'effet du signal radar, on peut utiliser un filtre RF de blocage en aval du guide d'ondes pour protéger le préamplificateur à faible bruit contre les brouillages radar.

La surcharge en question, occasionnée par des radars au sol fonctionnant à 5 GHz, a été observée par certaines administrations dans des faisceaux hertziens numériques exploités dans la bande des 6 GHz ou dans la partie supérieure de la bande des 4 GHz. Les filtres RF des récepteurs n'offrent pas une protection efficace contre les brouillages qui se trouvent directement sur les ou au voisinage des fréquences du récepteur d'un faisceau hertzien.

1.2 Diversité d'espace

La diversité d'espace, utilisée dans la plupart des faisceaux hertziens, tend à réduire la vulnérabilité du système aux brouillages et est efficace lorsque le radar occasionne des brouillages pendant la période où le signal sur le trajet radioélectrique subit des évanouissements par trajets multiples. En effet, la diversité d'espace réduit la durée totale d'évanouissement en donnant la possibilité d'utiliser un trajet de réception secondaire dont la corrélation avec le trajet de réception primaire est seulement partielle. Si le signal brouilleur entraîne en permanence une dégradation de la qualité de fonctionnement, les faisceaux hertziens à diversité d'espace sont avantagés par rapport aux faisceaux hertziens sans diversité d'espace en ce qui concerne la réduction de la marge de protection contre les évanouissements due aux brouillages.

En outre, s'agissant des brouillages occasionnés par un radar mobile maritime, la diversité d'espace peut apporter certaines améliorations de la qualité de fonctionnement compte tenu des différences de trajet entre les signaux utiles et les signaux brouilleurs reçus par les deux antennes.

1.3 Diversité angulaire

Cette technique, analogue à celle de la diversité d'espace (possibilité d'utiliser les signaux d'un trajet de réception secondaire en cas d'évanouissement du signal primaire), repose sur l'utilisation d'une antenne unique présentant une sortie pour deux diagrammes de réception séparés. Le guide d'ondes dispose d'accès distincts pour les différents diagrammes correspondant à chaque polarisation. Il s'ensuit une comparaison des signaux «à diversité angulaire» permettant de choisir le meilleur signal de la même manière que pour les signaux reçus sur deux antennes différentes en diversité d'espace. Grâce à la diversité angulaire, il est possible de réduire le temps total pendant lequel le niveau du signal utile reçu est inférieur au niveau des brouillages radar et, partant, de diminuer l'impact de ces brouillages et des évanouissements par trajets multiples. Les concepteurs de faisceaux hertziens préfèrent parfois la diversité angulaire à la diversité d'espace.

1.4 Correction d'erreur directe

On utilise le codage avec correction d'erreur directe (CED) dans la plupart des faisceaux hertziens numériques pour réduire le taux d'erreur binaire (TEB), notamment en cas de limitation de la puissance. Cette technique de codage permet de réduire le nombre des erreurs à corriger à l'extrémité de réception grâce à un type spécial de codage et de logiciel (ou de matériel) aux deux extrémités du circuit. Des mesures ont montré que, dans le cas d'un code avec correction d'erreur double, le seuil d'apparition d'erreur à la réception était amélioré d'environ 10 dB pour une impulsion brouilleuse équivalant à un intervalle de 1 Bd (c'est-à-dire lorsque le brouillage provoque une réponse impulsionnelle du récepteur).

Il serait particulièrement utile de recourir à une CED efficace contre les erreurs par paquets et les erreurs aléatoires. Cette méthode avec brassage binaire est actuellement à l'étude.

1.5 *Utilisation de canaux de remplacement*

Le niveau des rayonnements non essentiels de systèmes radar dans les bandes attribuées aux faisceaux hertziens connaît des variations interbandes relativement moins prévisibles. Des mesures (effectuées avec une largeur de bande FI de 30 MHz) ont fait apparaître une variation de 15-20 dB selon la fréquence du canal. En conséquence, lorsqu'un système radar occasionne des brouillages à un faisceau hertzien numérique, l'utilisation de canaux de remplacement permet de réduire provisoirement ces brouillages.

Une telle solution peut être viable uniquement si des canaux non utilisés sont disponibles. En tout état de cause, il devrait s'agir uniquement d'une solution temporaire étant donné que le niveau des rayonnements non essentiels de systèmes radar à différentes fréquences dépend de l'adaptation de l'impédance à la sortie du tube et de la ligne de l'émetteur radar, ainsi que de l'âge du tube à la sortie du radar et du réseau de mise en forme (filtrage) des impulsions.

1.6 *Utilisation de bandes de remplacement*

Pour concevoir une nouvelle liaison hertzienne ou modifier une liaison existante (par exemple, en cas de numérisation), il faut prendre en considération divers facteurs au moment du choix d'une bande de fréquences appropriée. L'environnement électromagnétique dans la zone de mise en service doit être un de ces facteurs. Si un radar au sol est exploité au voisinage de la liaison, le choix d'une bande pour l'exploitation du faisceau hertzien influera vraisemblablement sur les brouillages occasionnés par ce radar. Le choix d'une telle bande dépend du type de dispositif de sortie du radar, dont dépend à son tour le niveau des rayonnements non essentiels.

Quoi qu'il en soit, l'utilisation de bandes de remplacement doit être associée à une analyse minutieuse des environnements de brouillage dans les faisceaux hertziens.

1.7 *Choix du trajet*

Dans la mesure du possible, il est possible de planifier le choix du trajet pendant la phase de conception des nouvelles liaisons afin d'éviter les risques de brouillages occasionnés par les stations radar au sol, en exploitation ou en projet. De nombreux facteurs entrent en considération pour le choix de l'implantation des stations dans une liaison hertzienne. L'environnement électromagnétique doit être un de ces facteurs. Pour que le choix du trajet permette d'atténuer les brouillages de manière satisfaisante, il est nécessaire de connaître les emplacements des stations radar, mais on doit reconnaître que, en l'occurrence, des contraintes additionnelles ou des impératifs liés au choix des stations hertziennes peuvent influencer largement sur le coût des liaisons.

Toutefois, la sélection du trajet est une solution provisoire du problème global des brouillages: elle n'est pas considérée comme une option préférée du point de vue de l'utilisation efficace des fréquences.

1.8 *Puissance d'émission*

L'augmentation de la puissance d'émission est efficace lorsqu'il est possible de coordonner l'étude des problèmes de brouillages mutuels dans un réseau hertzien. Néanmoins, cette technique ne semble pas toujours être la meilleure solution du point de vue du partage des fréquences avec d'autres services.

1.9 *Caractéristiques de l'antenne*

1.9.1 *Choix de l'antenne*

La discrimination de l'antenne (réponse de l'antenne aux signaux provenant de différents azimuts) varie largement d'une antenne à l'autre. Dans certains cas, on peut éventuellement tirer parti de cette caractéristique pour réduire la réponse d'un système aux brouillages provenant d'une direction particulière.

Lorsque le niveau estimé des signaux brouilleurs d'un système radar est connu et lorsque la géométrie du trajet entre ce système et le faisceau hertzien numérique est établie, il est possible de calculer le gain maximum admissible de l'antenne du faisceau hertzien permettant de maintenir le rapport brouillage/bruit thermique en deçà d'un niveau qui est toujours à l'étude. Ensuite, on peut utiliser la Recommandation UIT-R F.699 (ou le diagramme de rayonnement réel requis pour l'antenne du faisceau hertzien) afin de déterminer l'angle hors axe nécessaire. Si cette valeur angulaire est supérieure à l'angle hors axe réel (ou prévu), il convient de choisir une antenne ayant de meilleures caractéristiques de rayonnement capables de répondre aux conditions imposées.

En fonction de la distance et de la séparation angulaire entre le faisceau hertzien et le système radar au sol, et compte tenu de la nomenclature ou du dispositif radar impliqué, on peut ne pas parvenir à obtenir l'angle hors axe requis.

1.9.2 *Protection de l'antenne*

Une méthode qui permet de diminuer la puissance de crête pulsée d'un radar occasionnant des brouillages à un faisceau hertzien consiste à protéger l'antenne du faisceau hertzien contre le faisceau émis par le radar, si les conditions pratiques le permettent. On peut obtenir la protection (le masquage) en utilisant la topographie entre les antennes du radar et du faisceau hertzien, mais on peut aussi créer cet écran artificiellement.

2. **Options relatives au système radar**

2.1 *Filtres RF*

Dans plusieurs cas, des filtres RF en guide d'ondes sont utilisés en vue de ramener à un niveau acceptable les brouillages occasionnés par le radar au faisceau hertzien. Jusqu'à présent, seuls des filtres passe-bande RF ont été employés dans les radars au sol fixes exploités à 5 GHz afin d'atténuer les brouillages occasionnés dans la bande de 6 GHz à l'intérieur de laquelle les opérateurs publics exploitent des faisceaux hertziens. Des mesures ont montré (voir la Fig. 1) que le filtre RF de guide d'ondes réduisait d'environ 40 à 50 dB les rayonnements non essentiels d'un radar.

Lorsque les rayonnements non essentiels de radars occasionnent des brouillages aux faisceaux hertziens numériques, l'installation d'un filtre RF dans l'émetteur radar est considérée comme une solution pratique à condition d'être techniquement et/ou économiquement possible.

2.2 *Remplacement de l'émetteur*

On a observé des variations du niveau des rayonnements non essentiels pour les systèmes au sol qui utilisent des magnétrons classiques et coaxiaux. Ces variations peuvent être imputables à des modifications qui affectent les réseaux de mise en forme des impulsions modulantes ou aux courant et tension de plaque et à l'amorçage d'arcs dans le tube dû au vieillissement. Les utilisateurs d'un radar au sol devront peut-être vérifier périodiquement l'émetteur radar pour déterminer si, à cause de son vieillissement, des composantes non essentielles qui étaient absentes lorsque le dispositif était neuf ne sont pas apparues. Dans certains cas, les problèmes de brouillage ont été résolus par le remplacement du dispositif de sortie.

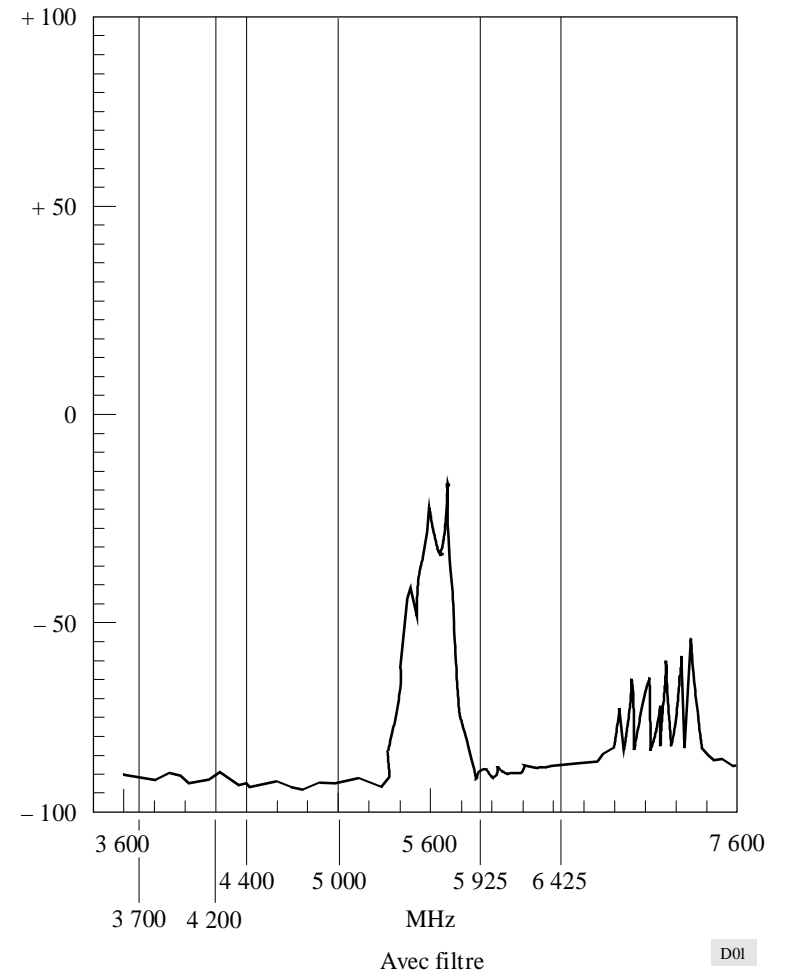
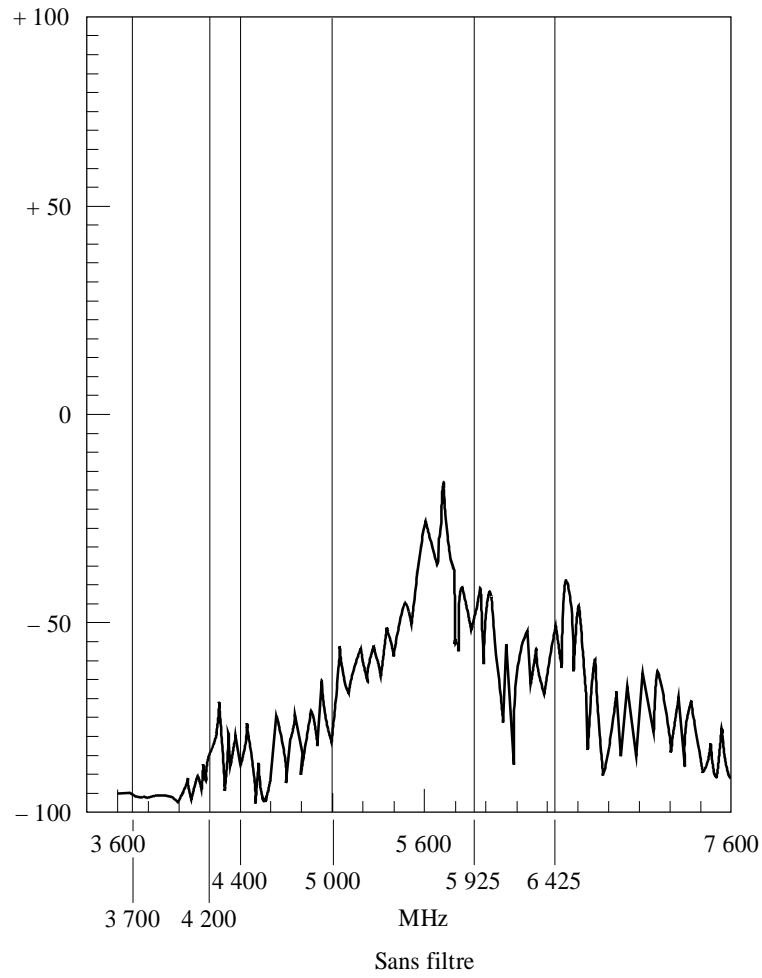
En principe, les solutions évoquées aux § 2.1 et 2.2 sont également applicables aux systèmes mobiles maritimes. Toutefois, pour le choix des modes d'atténuation du brouillage, il ne faudra pas oublier que de tels systèmes assurent la sécurité dans le cadre de la Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) de l'OMI, et l'on ne devra donc choisir aucune solution occasionnant une diminution importante de la qualité de fonctionnement.

2.3 *Choix ou ajustement de la fréquence d'émission*

Pour certains systèmes fixes, on peut éventuellement choisir ou ajuster la fréquence fondamentale de l'émetteur radar dans la gamme de fréquences autorisée pour ce radar afin que les rayonnements harmoniques non essentiels de deuxième ou troisième ordre ne brouillent pas le faisceau hertzien. Cette technique a déjà été utilisée dans certains pays et a donné lieu à une coordination satisfaisante.

FIGURE 1

Mesure du spectre des rayonnements d'un radar fonctionnant à 5 GHz avec et sans filtre RF



D01