

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1179
(10/1995)

**Procédures pour la détermination des
mécanismes de brouillage par couplage et
possibilités d'atténuation des brouillages
pour les systèmes fonctionnant dans des
bandes adjacentes ou en relation
harmonique avec celles des stations
radar du service de radiorepérage**

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: <http://www.itu.int/publ/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 radiorepérage 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, 2010

© UIT 2010

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.1179*, **

**PROCÉDURES POUR LA DÉTERMINATION DES MÉCANISMES DE BROUILLAGE
PAR COUPLAGE ET POSSIBILITÉS D'ATTÉNUATION DES BROUILLAGES POUR
LES SYSTÈMES FONCTIONNANT DANS DES BANDES ADJACENTES
OU EN RELATION HARMONIQUE AVEC CELLES DES STATIONS
RADAR DU SERVICE DE RADIOREPÉRAGE**

(1995)

Champ d'application

Cette Recommandation indique aux administrations des procédures de mesure pour identifier le(s) mécanisme(s) de brouillage par couplage, la surcharge de l'étage d'entrée des récepteurs ou les rayonnements non essentiels de systèmes radar ainsi que des méthodes permettant d'atténuer les brouillages causés par les stations radar du service de radiorepérage aux stations de faisceaux hertziens fixes et aux stations terriennes du service fixe par satellite.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les stations radar fixes et mobiles du service de radiorepérage sont largement mises en œuvre dans des bandes voisines des 4, 5 et 6 GHz utilisées par le service fixe et le service fixe par satellite (SFS) et en relation harmonique avec elles;
- b) que les stations de faisceaux hertziens fixes et les stations terriennes du SFS sont vulnérables aux brouillages causés par les stations radar qui ont des rayonnements fondamentaux (nécessaires) et non essentiels avec des niveaux de puissance de crête élevés;
- c) que les stations de faisceaux hertziens fixes ont largement adopté la modulation numérique et que les stations terriennes du SFS évoluent rapidement vers l'utilisation de techniques de modulation numérique qui peuvent être plus vulnérables aux brouillages causés par les émissions radar du type à impulsions;
- d) que les stations de faisceaux hertziens fixes et les stations terriennes du SFS utilisent des amplificateurs à faible bruit qui ont de grandes largeurs de bande inhérentes ainsi que des gains de 10 à 20 dB pour les stations de faisceaux hertziens fixes et de 50 à 65 dB pour les stations terriennes;
- e) que, dans les conditions indiquées aux § a) à d), le brouillage des stations dans le service fixe et le SFS peut être causé par les émissions nécessaires de stations radar qui provoquent une surcharge de l'étage d'entrée des récepteurs;
- f) que des niveaux élevés de rayonnement non essentiel des systèmes radar peuvent causer des brouillages aux stations de faisceaux hertziens fixes dans les bandes des 4, 5 et 6 GHz et aux stations terriennes du SFS dans la bande des 4 GHz;
- g) que la Commission d'études 8 des radiocommunications examine actuellement la question de l'utilisation efficace du spectre radioélectrique par les systèmes radar, y compris les caractéristiques des rayonnements non essentiels inhérents de divers types de dispositifs de sortie (voir la Question UIT-R 202/8);
- h) que la Commission d'études 9 des radiocommunications examine actuellement les effets des émissions non désirées des systèmes radar sur les systèmes du service fixe (voir la Question UIT-R 159/9),

* 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) et de l'Organisation mondiale de météorologie (OMM) et des Commissions d'études 4 et 9 des radiocommunications.

** La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation en 2009 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

recommande

1 qu'en cas de brouillage radar causé aux stations terriennes fonctionnant à 4 GHz et aux stations de faisceaux hertziens fixes fonctionnant à 4, 5 et 6 GHz, la ou les mesures suivantes soient prises:

- utilisation des procédures décrites dans l'Annexe 1 pour identifier le mécanisme de brouillage par couplage (voir les Notes 1 et 2);
- après identification du mécanisme de brouillage par couplage, mise en application de l'une des solutions d'atténuation des brouillages décrites dans l'Annexe 2 pour le mécanisme de brouillage par couplage identifié.

NOTE 1 – Si le système de réception n'a pas de filtre passe-bande (présélecteur) placé *en aval* de l'amplificateur à faible bruit, il peut être plus économique d'installer ce filtre à l'endroit susmentionné avant d'effectuer les essais indiqués dans l'Annexe 1. Si le brouillage continue après l'installation du filtre, il convient d'effectuer les mesures de l'Annexe 1 pour identifier le mécanisme de brouillage par couplage.

NOTE 2 – S'il s'avère que le mécanisme de brouillage par couplage est dû à des rayonnements non essentiels d'émetteurs radar, il faudra identifier le radar si l'on désire filtrer la sortie de l'émetteur radar. L'installation de filtres dans l'émetteur radar peut ne pas être réalisable si la station de radiorepérage est mobile et si on a affaire à de multiples radars comme dans le cas de radars de radionavigation fonctionnant au titre de licences octroyées par de nombreuses administrations. En outre, l'installation d'un filtre dans un radar peut ne pas être réalisable en raison des types de compromis choisis entre dispositif de sortie, taille, poids et qualité de fonctionnement.

ANNEXE 1

Détermination du mécanisme de brouillage par couplage

1 Introduction

Les mesures d'atténuation des brouillages seront inefficaces sauf si le véritable mécanisme de brouillage par couplage (surcharge de l'étage d'entrée des récepteurs ou rayonnements non essentiels des émetteurs radar) est identifié. La présente Annexe décrit des méthodes qui permettent de déterminer le mécanisme de brouillage afin que des mesures d'atténuation appropriées puissent être mises en œuvre d'une manière aussi fiable que possible. Il convient de noter que les essais et les mesures nécessaires pour déterminer le mécanisme de brouillage ne sont pas nécessairement faciles à effectuer, même si le personnel de l'installation a accès aux équipements d'essai nécessaires (analyseur de spectre et oscilloscope numérique recommandés au minimum). (En effectuant les mesures des émissions radars, l'attention devrait être attirée sur le fait que le matériel de mesure utilisé ne doit ni perturber les mesures ni être endommagé.)

Les filtres passe-bande d'étage d'entrée RF disponibles dans le commerce sont relativement peu coûteux et peuvent être installés assez rapidement. L'installation d'un tel filtre *en aval* du premier amplificateur à faible bruit/mélangeur/abaisseur de fréquence (LNA/LNB/LNC) dans l'étage d'entrée RF des récepteurs est recommandée dans un premier temps lorsque le signal radar brouilleur se situe en dehors de la bande de réception normale attribuée à la station de faisceaux hertziens fixe ou à la station terrienne. Si le seul mécanisme de brouillage est la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur et si le signal radar se situe en dehors de la bande de réception, le filtre devrait pouvoir régler le problème.

Il est également possible qu'un brouillage dû à une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur et un brouillage dû à des rayonnements non essentiels de systèmes radar se produisent simultanément. Dans ce cas, l'installation d'un filtre passe-bande dans la station de réception n'éliminera que la composante de brouillage de surcharge de l'étage d'entrée; la station continuera à subir les effets du brouillage dû aux rayonnements non essentiels des systèmes radar. Compte tenu de cette possibilité, il est recommandé d'installer un filtre passe-bande dans la station de réception *en aval* du LNA/LNB/LNC avant d'entreprendre des essais pour le brouillage dû aux rayonnements non essentiels des systèmes radar. Si ce filtre n'est pas installé, l'absence de surcharge de l'étage d'entrée du récepteur doit être vérifiée par les essais décrits ci-après.

Enfin, il convient de noter qu'un amplificateur au niveau de l'étage d'entrée du récepteur qui incorpore également un mélangeur/abaisseur de fréquence (LNB ou LNC) peut engendrer des produits brouilleurs dans la bande de réception désirée lorsqu'il se trouve en état de surcharge, comme indiqué dans l'Annexe 2. Ces produits peuvent être aisément confondus avec des rayonnements non essentiels de systèmes radar dans la bande de la station terrienne. Il est donc indispensable d'éliminer la possibilité de surcharge de l'étage d'entrée du récepteur par l'installation d'un filtre passe-bande au niveau de l'étage d'entrée avant d'effectuer des essais pour les rayonnements non essentiels.

2 Procédures de mesure

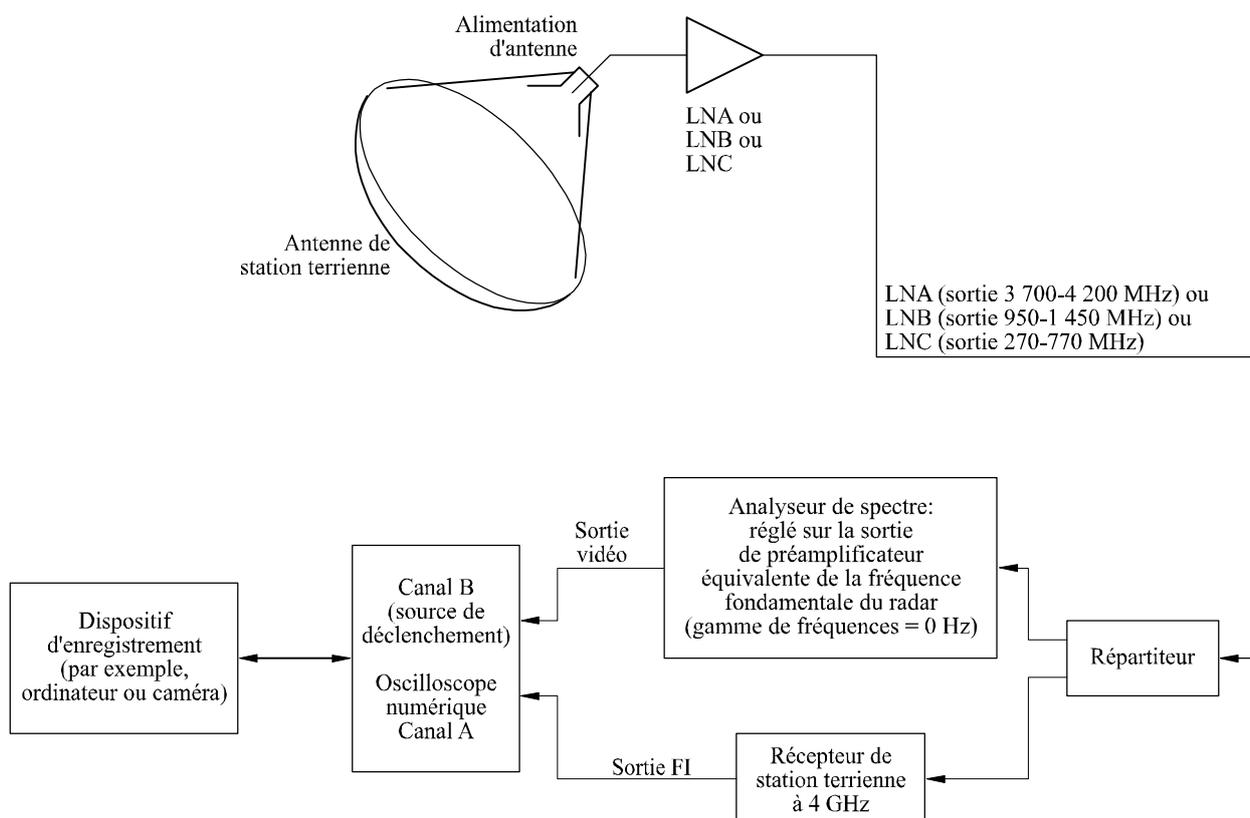
2.1 Détermination de la surcharge d'étage d'entrée du récepteur

Le processus qui permet de déterminer s'il y a une surcharge de l'étage d'entrée ou non dans un récepteur comprend plusieurs étapes. La première et la plus évidente consiste à examiner physiquement l'étage d'entrée RF du système, généralement au niveau de l'antenne, et à déterminer s'il existe déjà une quelconque présélection. Il est important de ne pas se laisser abuser par les schémas qui peuvent indiquer la présence de filtres qui n'ont pas été effectivement installés ou par les gammes de fréquences étroites spécifiées sur les boîtiers d'amplificateur (par exemple, «3,7 à 4,2 GHz»); la réponse réelle de l'amplificateur peut être plus large que celle indiquée par l'étiquette. Si l'on constate la présence d'un filtre passe-bande RF *en aval* du premier amplificateur, il est très peu probable que le mécanisme de couplage soit une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur. En cas d'absence de filtre, il convient d'en installer un. Si l'installation a pour effet d'éliminer le problème, le mécanisme est probablement une surcharge de l'étage d'entrée.

Si un filtre passe-bande n'est pas disponible pour la station terrienne ou si, pour toute autre raison, la présence d'une surcharge de l'étage d'entrée doit être indépendamment vérifiée, on peut appliquer la procédure de mesure suivante à l'étage d'entrée de la station de réception lors d'un événement de brouillage. Le but de cette mesure est de déterminer éventuellement dans quelle mesure l'amplificateur subit une compression de gain lorsque l'énergie est reçue du radar. Pour documenter clairement cet effet, il est nécessaire de contrôler simultanément l'énergie du radar à la fréquence fondamentale du radar ainsi que la réponse de la station terrienne à cette énergie. Un schéma du dispositif matériel à utiliser pour cet essai est représenté sur la Fig. 1.

FIGURE 1

Schéma pour la détermination du mécanisme de brouillage par couplage. Caractéristiques de surcharge d'étage d'entrée ou de rayonnements non essentiels de systèmes radar, observées simultanément avec les impulsions radar



M.1179-01

En ce qui concerne la Fig. 1, cet essai est effectué avec le cornet d'alimentation d'antenne relié directement à l'amplificateur (LNA/LNB/LNC) de l'étage d'entrée de la station terrienne. IL NE DOIT Y AVOIR AUCUN FILTRE PASSE-BANDE EN AVANT DU LNA/LNB/LNC PENDANT CET ESSAI SAUF S'IL FAIT NORMALEMENT PARTIE DU SYSTÈME. Le signal est alors divisé en deux trajets à la sortie de l'amplificateur. Une partie du signal est envoyée à un analyseur de spectre et la sortie vidéo de l'analyseur est elle-même reliée au canal d'un oscilloscope (voir

la Note 1). L'analyseur doit être réglé sur la sortie de préamplificateur équivalente de la fréquence fondamentale du radar et la gamme de fréquences de l'analyseur doit être réglée à 0 Hz (si deux fréquences fondamentales de radar ou plus sont produites, l'une quelconque d'entre elles suffira). La largeur de bande FI de l'analyseur doit être réglée à 1 MHz et le balayage de trace de l'analyseur doit être suspendu.

NOTE 1 – Il est important de documenter ces mesures. Un oscilloscope numérique capable de transférer les données sur un support magnétique ou un oscilloscope analogique avec une caméra peuvent être utilisés à cet effet.

L'autre partie du signal est envoyée au récepteur de la station terrienne et la sortie FI du récepteur est reliée à un deuxième canal de l'oscilloscope. L'oscilloscope doit être déclenché par le train d'impulsions radar provenant de l'analyseur de spectre. Ainsi le train d'impulsions radar et la réponse du récepteur à ce train d'impulsions peut être observé simultanément sur l'oscilloscope. Si le radar surcharge l'étage d'entrée de la station terrienne, une compression du gain sur la trace FI pourrait être observée lorsque les impulsions provenant du radar apparaissent sur l'autre trace de l'oscilloscope. Des exemples de ces réponses sont donnés, pour un LNA et un LNB, sur les Fig. 2 à 5.

On peut mettre en œuvre une variante de cette technique sur une antenne qui incorpore deux alimentations contrapolaires en installant un filtre passe-bande *en aval* du préamplificateur sur l'une des alimentations. Si un brouillage apparaît ultérieurement sur l'alimentation non filtrée mais non sur l'alimentation filtrée, le problème est une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur. Il convient cependant de noter, à titre de réserve, que le brouillage peut dépendre de la polarisation et que la polarisation croisée entre les alimentations peut exercer involontairement un effet de filtrage propre. Il est donc indispensable, si cette technique est appliquée, de savoir que les deux alimentations ont été précédemment affectées d'une manière simultanée par le brouillage.

2.2 Apparition simultanée d'une surcharge de l'étage d'entrée et d'un brouillage dû à des rayonnements non essentiels

Comme il a été indiqué au début de ce paragraphe, il est tout à fait possible qu'une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur et un brouillage dû à des rayonnements non essentiels de systèmes radar se produisent simultanément. Ce serait le cas si un radar produisait des rayonnements non essentiels intenses à la fréquence centrale de la station de réception, celle-ci fonctionnant avec un étage d'entrée non présélectionné. Cependant, avant de pouvoir traiter le problème du brouillage dû à des rayonnements non essentiels, il convient d'abord d'éliminer la possibilité de surcharge de l'étage d'entrée en installant un filtre RF sur la station terrienne.

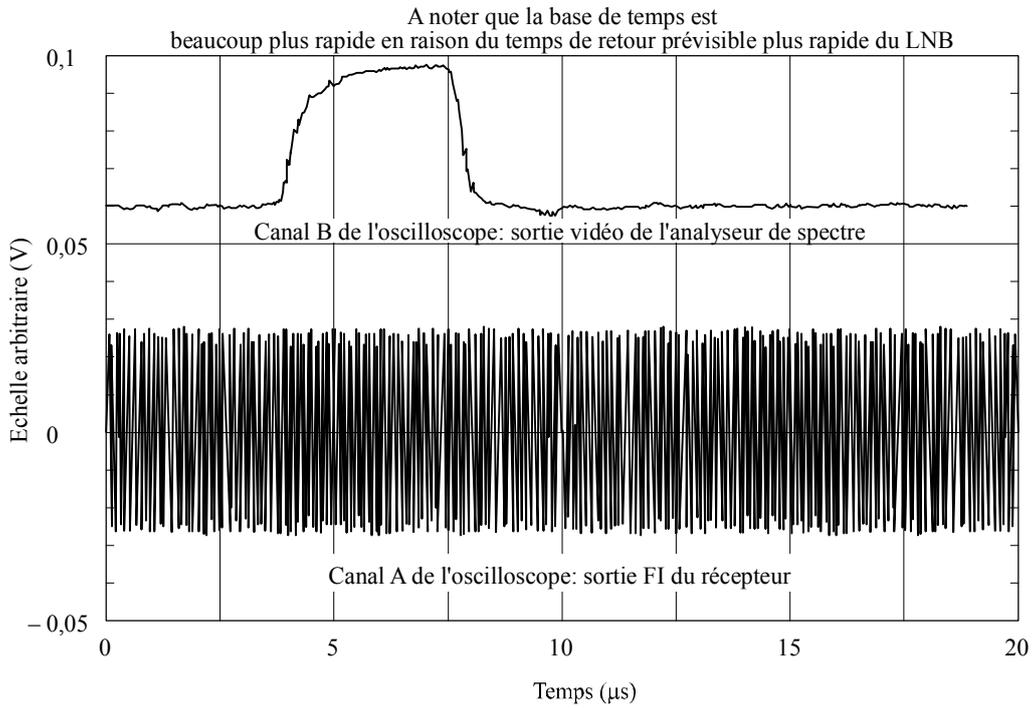
2.3 Détermination des rayonnements non essentiels de systèmes radar

Si les essais concernant la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur sont négatifs ou si le brouillage persiste lorsqu'un filtre passe-bande a été installé en aval du premier amplificateur RF dans la station de réception, le brouillage résulte probablement de rayonnements non essentiels émanant de systèmes radar dans la bande de réception de la station.

Il convient de souligner le fait que si, pour les essais concernant le brouillage dû à des rayonnements non essentiels de systèmes radar, il y a lieu d'utiliser des étages d'entrée RF non présélectionnés de station terrienne, comme le montre la Fig. 1, il faut éliminer la possibilité que le brouillage soit causé par une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur avant d'effectuer ces essais. L'utilisation d'un filtre passe-bande au niveau de l'étage d'entrée de la station terrienne n'est pas absolument nécessaire dans ces conditions, mais la présence d'un tel filtre pendant les essais permet de réduire les risques de surcharge de l'étage d'entrée du récepteur.

FIGURE 2

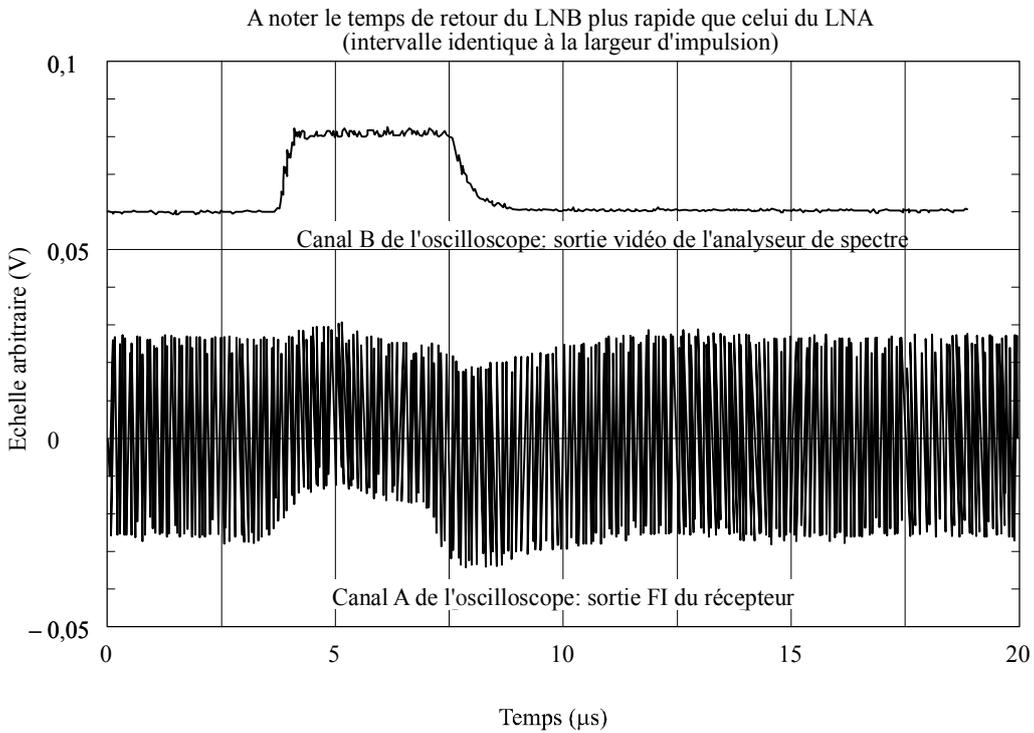
Canaux A et B de l'oscilloscope lors de l'utilisation du dispositif d'essai de la Fig. 1 et lorsque l'étage d'entrée du LNB n'est pas en état de surcharge



M.1179-02

FIGURE 3

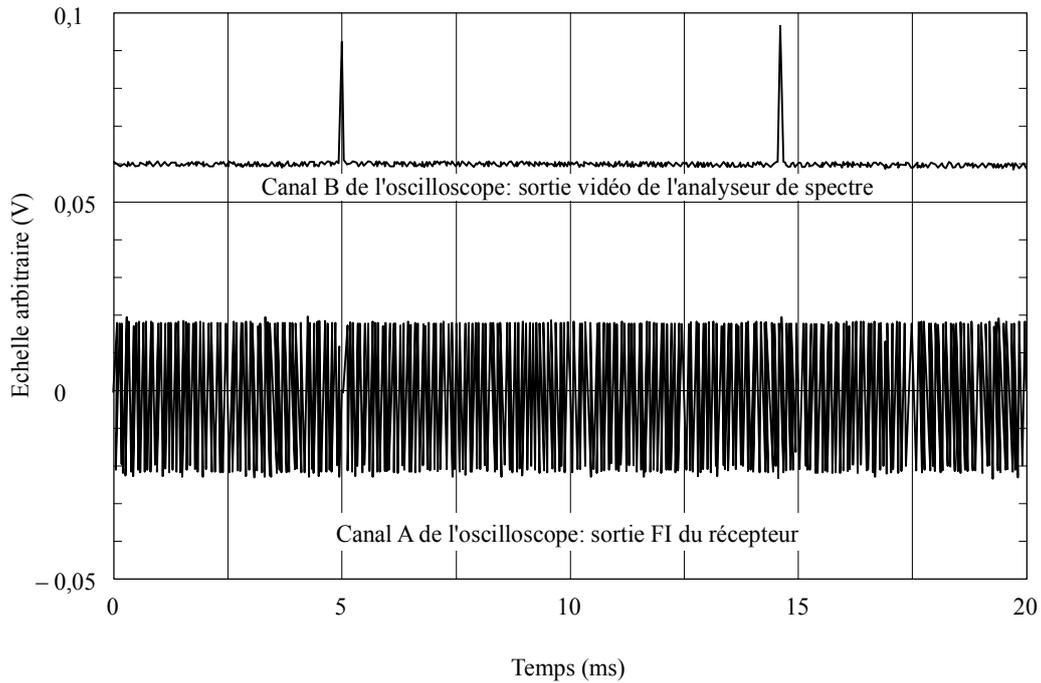
Canaux A et B de l'oscilloscope lors de l'utilisation du dispositif d'essai de la Fig. 1 et lorsque l'étage d'entrée du LNB est en état de surcharge



M.1179-03

FIGURE 4

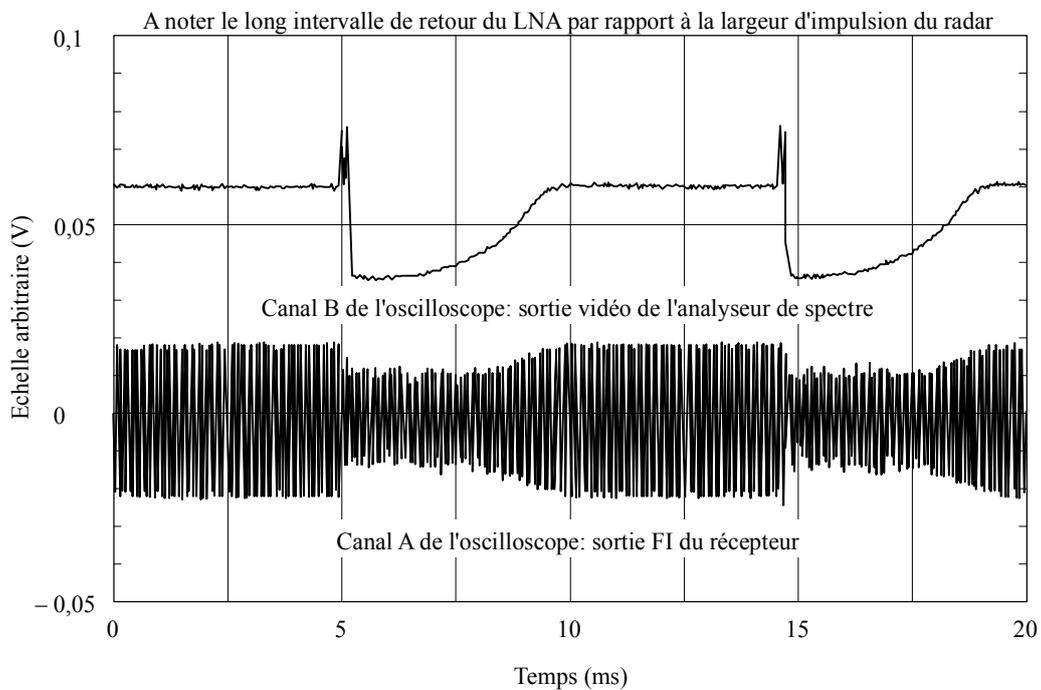
Canaux A et B de l'oscilloscope lors de l'utilisation du dispositif d'essai de la Fig. 1 et lorsque les impulsions radar ne surchargent pas l'étage d'entrée du LNA



M.1179-04

FIGURE 5

Canaux A et B de l'oscilloscope lors de l'utilisation du dispositif d'essai de la Fig. 1 et lorsque l'étage d'entrée du LNA est en état de surcharge



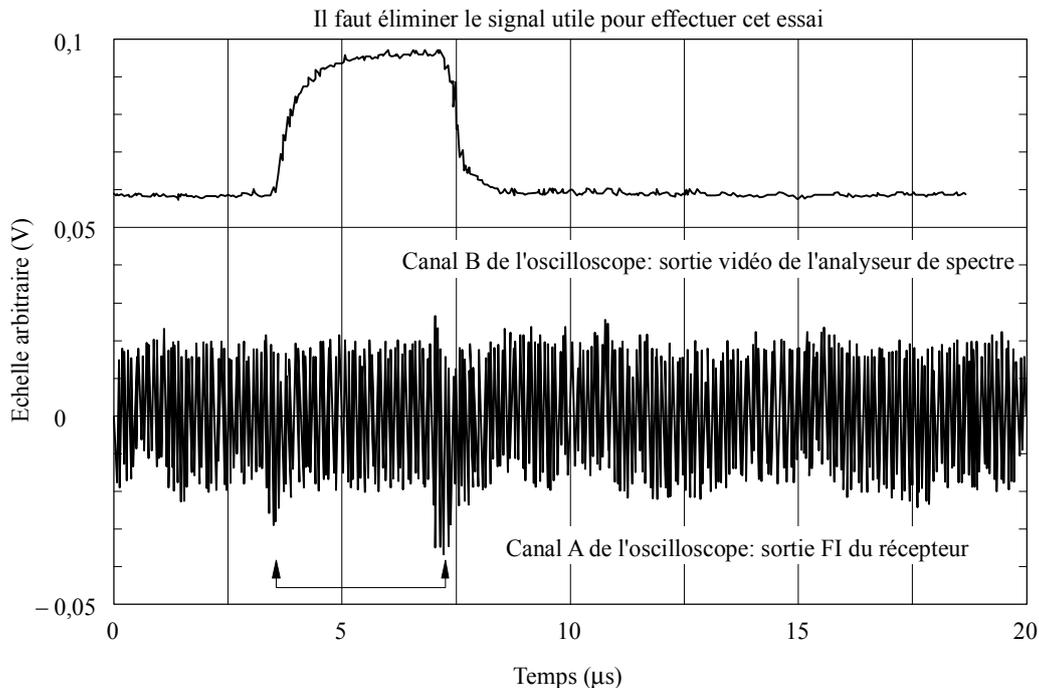
M.1179-05

Les observations peuvent être effectuées de deux manières. L'une des méthodes consiste à utiliser le même dispositif que celui de la Fig. 1 (mais de préférence avec un filtre passe-bande inséré *en aval* du LNA/LNB/LNC). On observera en conséquence les impulsions des rayonnements non essentiels des systèmes radar superposées au signal utile, comme

le montre la Fig. 6. Les impulsions de rayonnements non essentiels de systèmes radar seront généralement observées sous la forme de paires de bords avant et arrière élevés (oreilles de lapin); l'espacement dans le domaine temporel sera identique à la largeur d'impulsion nominale. Il est également possible que des rayonnements non essentiels apparaissent sous la forme d'impulsions à caractère de bruit. Cette méthode présente un inconvénient, à savoir que la présence du signal utile de la station terrienne a pour effet de masquer les rayonnements non essentiels de systèmes radar.

FIGURE 6

Canaux A et B de l'oscilloscope lors de l'utilisation du dispositif d'essai de la Fig. 1 et lorsque des rayonnements non essentiels se produisent à la fréquence reçue



M.1179-06

La seconde méthode d'observation consiste à éliminer le signal utile, ce qui permet de réduire le masquage possible des impulsions des rayonnements non essentiels des systèmes radar. En ce qui concerne la Fig. 1, ce résultat est obtenu en supprimant le signal utile pour les stations de faisceaux hertziens fixes et en substituant une antenne équidirective à l'antenne parabolique du récepteur pour les stations terriennes (et, là encore, de préférence avec un filtre passe-bande inséré *en aval* du LNA/LNB/LNC). L'antenne équidirective utilisée pour les stations terriennes doit avoir une réponse en fréquence d'au moins 2 700 à 4 400 MHz. Cette méthode peut être extrêmement pratique si la station terrienne dispose déjà d'un système de réception de réserve auquel l'antenne équidirective peut être raccordée.

S'il est établi que des rayonnements non essentiels de systèmes radar causent des brouillages à une station terrienne, il faut identifier le radar en cause et quantifier les niveaux de rayonnement afin de pouvoir prendre des mesures pour résoudre le problème.

2.4 Autres méthodes de mesure possibles

Bien que les mesures décrites ci-après ne soient pas aussi concluantes que les mesures susmentionnées pour déterminer le mécanisme de brouillage par couplage, elles peuvent être utilisées pour obtenir une indication du mécanisme de brouillage par couplage éventuel.

La gravité du brouillage sur chacun des canaux peut être une indication du mécanisme de couplage. Si le brouillage affecte la totalité (ou la plupart) des canaux, il pourra s'agir d'une surcharge d'étage d'entrée. Si certains canaux seulement sont affectés, il pourra s'agir de rayonnements non essentiels.

Une autre méthode d'identification du mécanisme de brouillage consisterait à mesurer l'intensité de champ rayonnée des émissions radar dans la bande de réception à l'emplacement approximatif du cornet d'alimentation de la station terrienne. Il est possible à cet effet d'utiliser une antenne équidirective ou une antenne directive portable, un filtre coaxial et un LNA. Les filtres utilisés sur les stations de faisceaux hertziens fixes et les stations terriennes sont des

filtres à guide d'ondes qui peuvent ne pas être immédiatement disponibles. Il est possible de disposer déjà de filtres passe-bande et de filtres éliminateurs de bande réglables à utiliser avec des LNA et des récepteurs coaxiaux pour obtenir un système de mesure sensible. L'antenne de mesure n'aurait pas le même gain que la station de réception, mais le choix d'une antenne équidirective ou directive correctement orientée pourrait stimuler le gain d'antenne de la station de réception dans la direction du radar. Le gain de l'antenne d'essai serait donc voisin de celui de la station de réception dans la direction du radar et l'aptitude des deux systèmes à détecter les rayonnements non essentiels des systèmes radar serait alors à peu près équivalente.

ANNEXE 2

Mécanismes de brouillage par couplage et possibilités d'atténuation des brouillages

1 Introduction

La présente Annexe indique comment l'énergie rayonnée par les stations radar peut causer une dégradation de la qualité de fonctionnement des récepteurs de station de faisceaux hertziens fixe et de station terrienne (mécanismes de brouillage par couplage) et propose des méthodes pour améliorer la compatibilité entre les stations (possibilités d'atténuation des brouillages). Les études de plusieurs cas de brouillage ont permis d'identifier deux mécanismes de brouillage par couplage qui se sont manifestés entre des stations radar fonctionnant au voisinage de 3 et 5 GHz et de stations terriennes du service fixe par satellite (SFS) fonctionnant à 4 GHz et de stations de faisceaux hertziens fixes fonctionnant à 4 et 6 GHz. Ces mécanismes de brouillage par couplage sont la surcharge de l'étage d'entrée des récepteurs et les rayonnements non essentiels d'émetteurs radar.

2 Surcharge de l'étage d'entrée du récepteur

Le couplage de surcharge d'étage d'entrée de récepteur se produit lorsque l'énergie émanant de la fréquence fondamentale d'un signal brouilleur sature l'étage d'entrée du récepteur (par exemple, LNA), ce qui entraîne une compression du gain (réduction du niveau du signal de sortie) du signal utile suffisante pour causer une dégradation de la qualité de fonctionnement. La surcharge de l'étage d'entrée du récepteur résulte généralement de signaux à grande puissance dans les bandes adjacentes.

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 du LNA à l'étage d'entrée:

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

où:

T : seuil d'entrée auquel la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur se produit (dBm)

C : niveau de compression de gain de 1 dB du LNA (dBm)

G : gain du LNA et fréquence fondamentale du radar (dB).

Une valeur de +10 dBm est un niveau de compression de gain à la sortie de 1 dB typique pour un LNA. Les systèmes de réception des stations terriennes utilisent généralement des LNA ayant un gain de 50 à 65 dB dans la bande des 4 GHz. Les systèmes de réception hertziens à 4 et 6 GHz utilisent généralement des LNA ayant un gain de 10 à 15 dB. Le seuil d'entrée auquel une surcharge de l'étage d'entrée du récepteur est susceptible de se produire est approximativement compris entre -55 et -40 dBm pour les stations terriennes du SFS et entre 0 et -5 dBm pour les stations de faisceaux hertziens fixes.

2.1 Réponse de gain du préamplificateur

Les systèmes de réception des stations terriennes du SFS et des stations de faisceaux hertziens fixes utilisent généralement un préamplificateur à faible bruit et à gain élevé au niveau de l'alimentation d'antenne. Le préamplificateur peut produire une sortie aux mêmes fréquences, auquel cas il s'agit d'un LNA, ou il peut incorporer un mélangeur qui abaisse le signal à une bande de fréquences inférieure voisine de 1 000 MHz (par exemple,

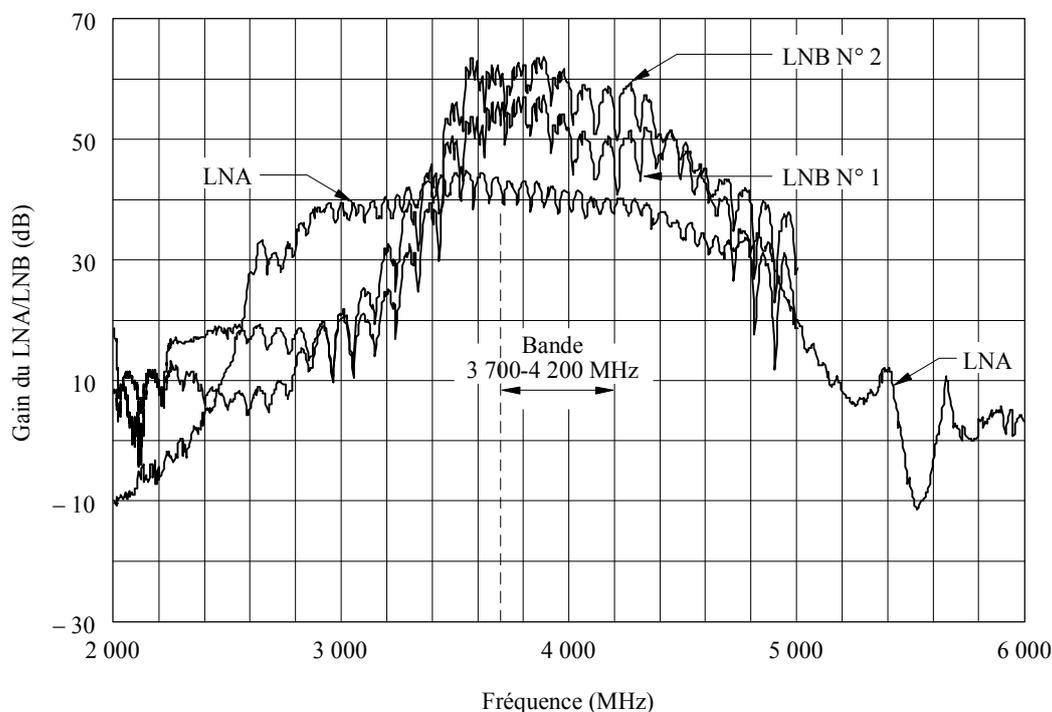
950-1 450 MHz), auquel cas il s'agit d'un LNB ou d'un LNC qui abaisse les fréquences de la bande des 4 GHz à quelques centaines de MHz (par exemple, 270-770 MHz) à la sortie.

Le but du préamplificateur d'étage d'entrée est d'assurer une sensibilité à un signal d'entrée faible (ce qui nécessite que le facteur de bruit du préamplificateur soit faible) et de produire un signal de sortie avec un gain suffisant pour compenser l'affaiblissement de ligne entre l'antenne et le récepteur ainsi que le facteur de bruit du récepteur. En principe, la gamme de réponse en fréquence d'un tel préamplificateur serait identique à la bande de fonctionnement assignée du récepteur (c'est-à-dire 3 700-4 200 MHz). Si la réponse en fréquence d'un préamplificateur est plus large que la bande attribuée du récepteur, cela accroît la probabilité de surcharge du préamplificateur par des émissions se situant en dehors de la bande attribuée.

Les mesures de la réponse en fréquence d'un LNA et de deux LNB (LNB N° 1 et LNB N° 2) sont indiquées sur la Fig. 7. Les trois préamplificateurs sont tous disponibles dans le commerce et sont utilisés dans des stations terriennes à 4 GHz. Le LNA indique un gain important sur 40% de la largeur du spectre au-dessous de 5 GHz (2,8-4,8 GHz). Pour le LNB qui incorpore un dispositif de filtrage, on n'observe pas de gain important au-dessous de 3 400 MHz. Un filtre passe-bande est intégré au stade de la conception dans le LNB N° 2.

FIGURE 7

Gain du LNA, du LNB N° 1 et du LNB N° 2



M.1179-07

Les gammes de réponse des trois dispositifs d'amplification incluent une partie ou la totalité de chaque bande de radiolocalisation de 2 700 à 3 700 MHz ainsi que la bande de radionavigation aérienne de 4 200 à 4 400 MHz. Cette réponse en fréquence à large bande des LNA utilisés dans les stations terriennes à 4 GHz rend ces systèmes vulnérables à la surcharge d'étage d'entrée causée par les radars fonctionnant en dehors de la bande des 4 GHz.

2.2 Compression du gain

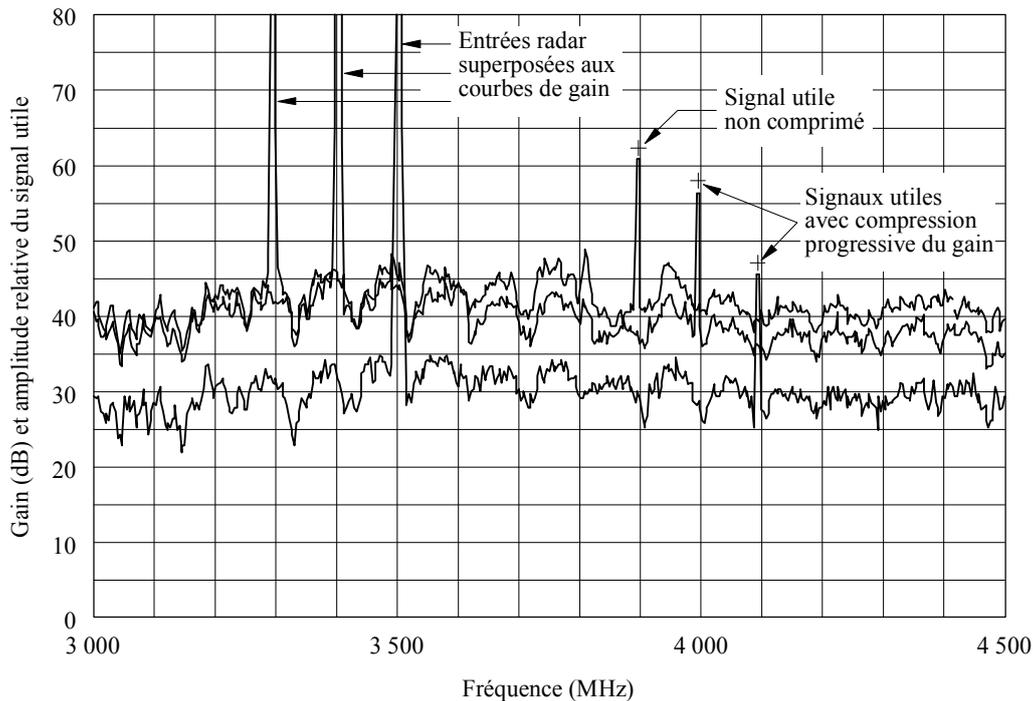
Si le niveau du signal d'entrée au préamplificateur ne dépasse pas la valeur de seuil (voir l'équation (1)), le gain à la sortie du préamplificateur d'étage d'entrée reste à sa valeur nominale. Cependant, si le niveau du signal d'entrée au dispositif dépasse un seuil critique, la caractéristique de gain de l'amplificateur sera réduite. Un élément important de cette dégradation est que le gain sera réduit dans toute la gamme de réponse en fréquence de l'amplificateur (par exemple, 2 800-4 800 MHz), même si la surcharge se produit à une seule fréquence (par exemple, 3 300 MHz).

Les Fig. 8 et 9 montrent les caractéristiques de gain mesurées dans des conditions de surcharge respectivement pour le LNA et le LNB N° 1 précédemment décrits. Les deux préamplificateurs ont été testés pour des caractéristiques de

surcharge à trois niveaux de puissance d'entrée d'un signal radar simulé (impulsions de $1 \mu\text{s}$ à un taux de 1 000 impulsions par seconde). Pour rendre les graphiques plus clairs, les fréquences d'entrée aux trois niveaux de puissance ont été réglées successivement à 3 300, 3 400 et 3 500 MHz. Les signaux (utiles) dans la bande ont de même été réglés à 3 900, 4 000 et 4 100 MHz. Le niveau d'entrée désiré sur chaque figure est celui du signal utile à 3 900 MHz; la diminution des niveaux du signal utile à 4 000 et 4 100 MHz est due à la compression du gain causée par la surcharge de l'étage d'entrée. Au niveau d'entrée radar le plus faible (puissance de crête de -50 dBm) sur chacune des Fig. 8 et 9, les amplificateurs ne sont pas surchargés et le gain d'amplificateur ainsi que le niveau de puissance des signaux (utiles) dans la bande sont normaux. Pour un signal radar de -30 dBm à 3 500 MHz, le signal utile à 4 100 MHz a été réduit de 15 dB pour le LNA et de plus de 25 dB pour le LNB N° 1.

FIGURE 8

Réponse du LNA en fonction d'entrées radar simulées à 3 300 MHz (-50 dBm , sans compression de gain), 3 400 MHz (-40 dBm) et 3 500 MHz (-30 dBm). Les signaux utiles (dans la bande) sont marqués à 3 900, 4 000 et 4 100 MHz



M.1179-08

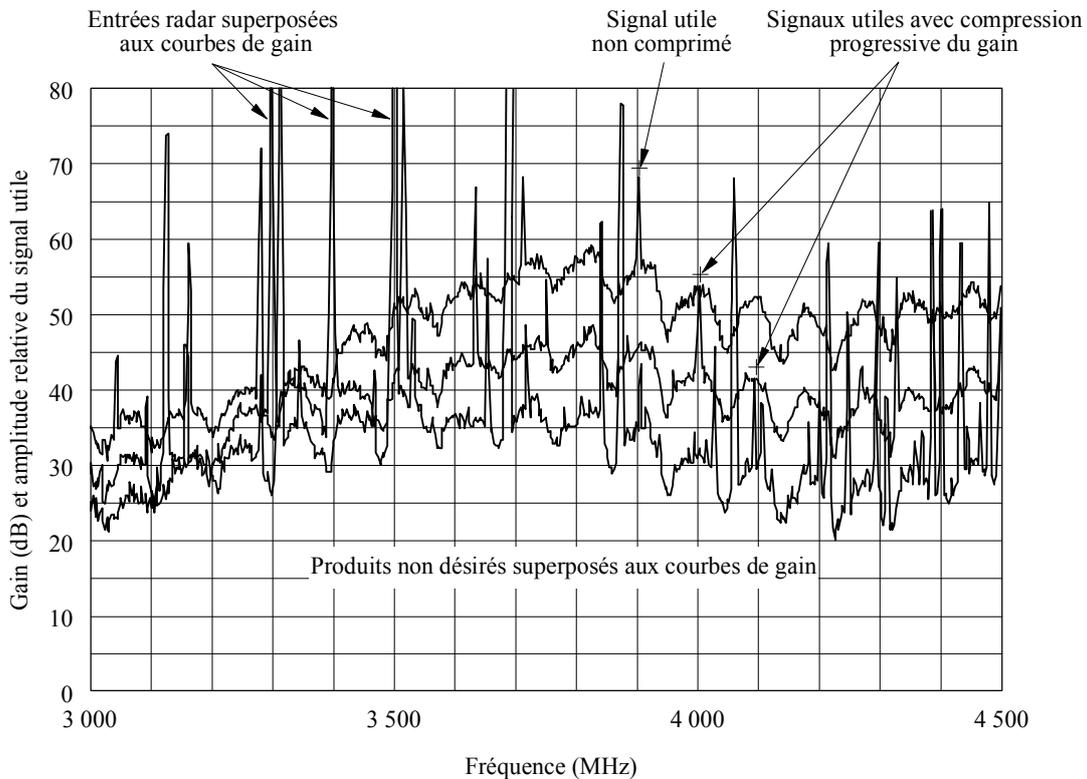
2.3 Autres réponses à la surcharge

Il se peut que la compression du gain ne soit pas le seul résultat de la surcharge de l'étage d'entrée du récepteur; des produits de mélange avec le signal d'entrée peuvent être engendrés dans le cadre du dispositif de sortie. De tels produits sont notamment susceptibles d'apparaître si le dispositif incorpore un étage mélangeur (abaissement de fréquence) comme dans le cas d'un LNB ou d'un LNC. Il est probable qu'un dispositif dépourvu d'un étage de ce type, tel qu'un LNA, serait moins sensible à ce phénomène.

Des mesures ont montré que ces produits de mélange n'avaient pas été observés pour le LNA mais avaient été observés dans le LNB (voir la Fig. 9) à des niveaux de puissance d'entrée de crête de -40 dBm et -30 dBm . Il est important de noter que certains des produits brouilleurs dans les dispositifs de LNB sont apparus à des fréquences comprises dans la bande de réception des 4 GHz. De telles réponses pourraient entraîner des brouillages dans un système de réception si elles devaient coïncider avec les fréquences de signaux utiles dans la bande. En outre, le personnel chargé des mesures peut aisément confondre ces réponses avec des signaux parasites émis par le radar au lieu de les identifier correctement comme une réponse engendrée dans le LNB.

FIGURE 9

Réponse du LNB N° 1 en fonction d'entrées radar simulées à 3 300 MHz (-50 dBm, sans compression de gain), 3 400 MHz (-40 dBm) et 3 500 MHz (-30 dBm). Les signaux utiles (dans la bande) sont marqués à 3 900, 4 000 et 4 100 MHz



M.1179-09

2.4 Intervalle de compression du gain

L'intervalle de compression du gain en cas de surcharge d'un amplificateur est une valeur finie. La longueur de l'intervalle de compression est l'un des facteurs qui déterminent le volume de données qu'un système de réception peut perdre à la suite d'une surcharge. Le Tableau 1 montre des mesures effectuées sur trois dispositifs pour déterminer leurs intervalles de compression en cas de surcharge. Pour chaque dispositif, le signal de surcharge a été appliqué à quatre niveaux de puissance de crête différents qui ont été réglés de manière à produire des compressions de gain de 10, 20, 30 et 40 dB dans un signal (utile) simulé dans la bande à 4 000 MHz. Le signal de surcharge d'entrée était émis par impulsions afin de simuler un radar hors bande, comme on l'avait fait lors de tests de compression de gain précédents, avec une largeur d'impulsion de 1 μ s, une fréquence de répétition des impulsions de 1 000/s et une fréquence fondamentale du radar de 3 500 MHz.

Il a été constaté que les intervalles de compression pour le LNA étaient de l'ordre de plusieurs centaines de microsecondes, alors que les intervalles de compression pour les dispositifs de LNB étaient plus courts d'environ deux ordres de grandeur (c'est-à-dire de l'ordre de quelques microsecondes). Pour le LNA, l'intervalle résultant d'une compression de 40 dB était de 900 μ s, c'est-à-dire voisin de l'intervalle de 1 000 μ s entre les impulsions de radar simulées. La raison de cette différence des intervalles de compression de gain entre le LNA et les deux dispositifs de LNB n'est pas connue et n'a pas été examinée dans le cadre de l'étude.

TABLEAU 1

Intervalle de compression de gain des dispositifs de LNA et de LNB

	Intervalle de compression de 10 dB (µs)	Intervalle de compression de 20 dB (µs)	Intervalle de compression de 30 dB (µs)	Intervalle de compression de 40 dB (µs)
LNA	150	200	650	900
LNB N° 1	1 ⁽¹⁾	1,5	2,5	3
LNB N° 2	1,5	2,5	3	3,5

⁽¹⁾ L'intervalle de compression était égal à la durée de l'impulsion d'entrée, à savoir 1 µs.

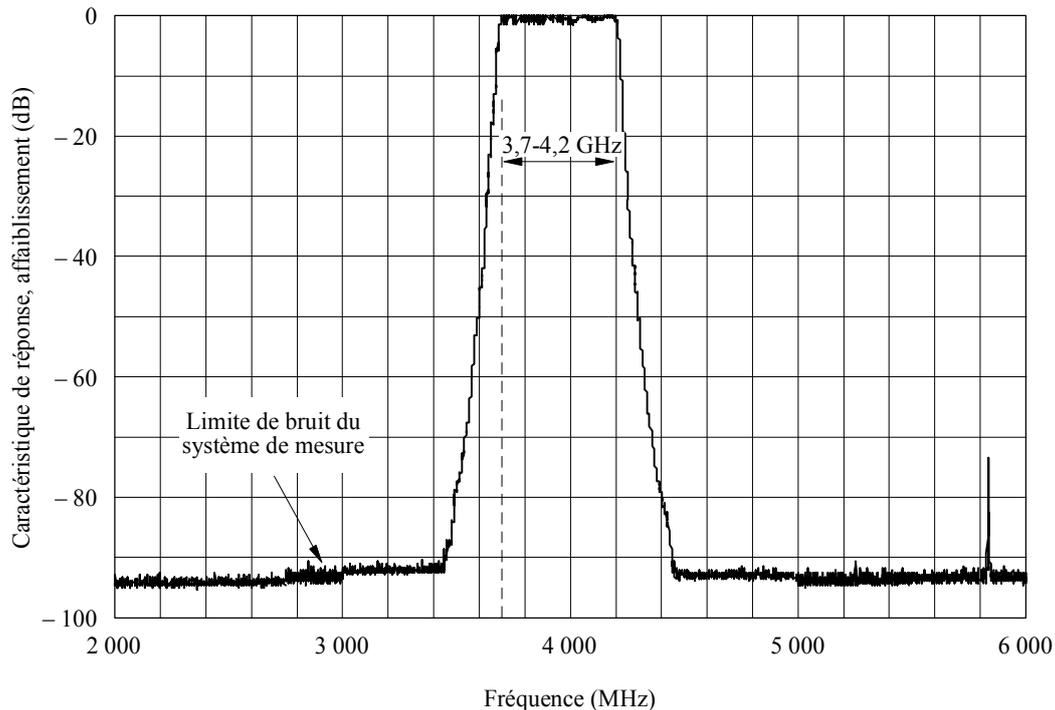
2.5 Possibilités d'atténuation du brouillage dû à la surcharge d'étage d'entrée

La solution la plus valable et la plus économique pour atténuer la surcharge de l'étage d'entrée des récepteurs dans les stations terriennes et les stations de faisceaux hertziens fixes est l'installation d'un filtre à l'étage d'entrée du récepteur. Le filtre doit être installé *en aval* du LNA (LNA/LNB/LNC); un filtre FI *ne* résoudra *pas* le problème. Le filtre doit atténuer le moins possible l'énergie à la fréquence du récepteur mais l'atténuer considérablement à la fréquence fondamentale du radar; en principe, le filtre doit avoir une caractéristique de bande passante pour toute la partie du spectre attribuée au récepteur et une caractéristique d'affaiblissement élevée en dehors de la bande attribuée au récepteur.

La courbe de réponse en fréquence présentée sur la Fig. 10 est celle d'un filtre disponible dans le commerce utilisé pour atténuer la surcharge d'étage d'entrée dans les stations terriennes et les stations de faisceaux hertziens fixes à 4 GHz. L'affaiblissement d'insertion dans la bande (3 700-4 200 MHz) est compris entre 0 et 1 dB et se situe généralement aux environs de 0,5 dB. L'affaiblissement hors bande est d'environ 25 dB à 50 MHz des limites de la bande et dépasse 45 dB à 100 MHz des limites de la bande.

FIGURE 10

Courbe de réponse en fréquence d'un filtre passe-bande de 3 700 à 4 200 MHz disponible dans le commerce



M.1179-10

3 Rayonnements non essentiels des émetteurs radar

Le couplage des rayonnements non essentiels des émetteurs radar se produit lorsque l'énergie provenant de ces rayonnements dans la bande des stations terriennes ou des stations de faisceaux hertziens fixes cause une dégradation de la qualité de fonctionnement des systèmes de réception. Le facteur prédominant qui détermine le niveau des rayonnements non essentiels provenant des radars est le dispositif de sortie de l'émetteur (également appelé tube de sortie).

Il est important de connaître les niveaux et les variances des rayonnements non essentiels inhérents pour les différents types de dispositifs de sortie d'émetteur afin d'évaluer le potentiel de brouillage des radars qui utilisent ces dispositifs de sortie. Les dispositifs de sortie de radar à hyperfréquences engendrent, d'une manière inhérente, un bruit de rayonnement non essentiel qui domine généralement les émissions spectrales à des espacements de fréquence supérieurs à 50 MHz par rapport à la fréquence fondamentale du radar (ces rayonnements sont souvent appelés bruit d'émetteur). Ainsi, à des espacements de fréquence supérieurs à 50 MHz, le spectre des émissions radar est indépendant des caractéristiques des systèmes radar telles que les paramètres de modulation d'impulsion (par exemple, largeur d'impulsion, modulation d'impulsion et temps de montée/descente d'impulsion). La Commission d'études 8 des radiocommunications a examiné les caractéristiques des rayonnements non essentiels des dispositifs de sortie de radar pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre ainsi que la compatibilité avec les services fonctionnant dans les bandes adjacentes.

3.1 Possibilités d'atténuation des brouillages dus aux rayonnements non essentiels des systèmes radar

Les possibilités d'atténuation des brouillages dus aux rayonnements non essentiels des émetteurs de stations radar sont examinées ci-après.

3.1.1 Possibilités d'atténuation des brouillages causés par les stations radar

Des filtres à guide d'ondes RF peuvent être utilisés dans certaines stations de radiorepérage pour réduire à des niveaux acceptables le brouillage des récepteurs de station de faisceaux hertziens fixe et de station terrienne. Des mesures ont montré (voir les Fig. 11 et 12) que les filtres à guide d'ondes RF réduisent d'au moins 40 à 50 dB les rayonnements non

essentiels des systèmes radar dans la bande des 4 GHz. Il convient de noter que, sur la Fig. 11, le filtre se caractérise par un affaiblissement dépassant 80 dB aux fréquences immédiatement supérieures à la fréquence de coupure à 3 700 MHz mais que cet affaiblissement diminue jusqu'à un minimum de 15 dB aux fréquences supérieures à 4 300 MHz. Cela démontre que, si l'installation d'un filtre sur une station radar permet de réduire le potentiel de brouillage dans une bande, elle ne peut cependant constituer une solution pour d'autres bandes même encore plus éloignées dans le spectre.

Lorsque le brouillage est causé par les rayonnements non essentiels d'un émetteur radar, l'installation, au niveau de cet émetteur, d'un filtre RF pour la bande appropriée est considérée comme une solution possible, sous réserve qu'elle soit réalisable du point de vue technique, opérationnel et économique. Bien que la plupart des systèmes radar puissent accepter l'installation d'un filtre de sortie pour réduire les rayonnements non essentiels, certains systèmes utilisent des émetteurs à commande de phase répartis et ne peuvent donc être filtrés efficacement à la sortie.

D'autres solutions pour atténuer les brouillages dus aux rayonnements non essentiels d'émetteurs radar sont le remplacement du dispositif de sortie de l'émetteur radar et la sélection ou le réglage de la fréquence de l'émetteur radar. Les niveaux de rayonnement non essentiel de mêmes types de dispositifs de sortie varient selon le dispositif et la fréquence de fonctionnement. Dans certains cas, le remplacement du dispositif de sortie ou une modification de la fréquence de fonctionnement ont permis d'atténuer le brouillage. Ces possibilités d'atténuation des brouillages sont examinées dans la Recommandation UIT-R F.1097 – Possibilités d'atténuation des brouillages pour améliorer la compatibilité entre les systèmes radar et les faisceaux hertziens numériques.

3.1.2 Possibilités d'atténuation des brouillages causés aux stations de faisceaux hertziens fixes

Les possibilités d'atténuation des brouillages pour améliorer la compatibilité entre les stations de faisceaux hertziens fixes et les radars fonctionnant dans les bandes adjacentes lorsque le brouillage est dû à des rayonnements non essentiels d'émetteurs radar dans la bande du service fixe sont examinées dans la Recommandation UIT-R F.1097. Ces possibilités incluent: la diversité d'espace, la diversité angulaire, le codage avec correction d'erreur directe, l'utilisation de canaux de remplacement, l'utilisation de bandes de remplacement, le choix du trajet, l'accroissement de la puissance d'émission et le choix (les caractéristiques) de l'antenne.

FIGURE 11

Courbe de réponse en fréquence mesurée d'un filtre passe-bande installé sur un radar

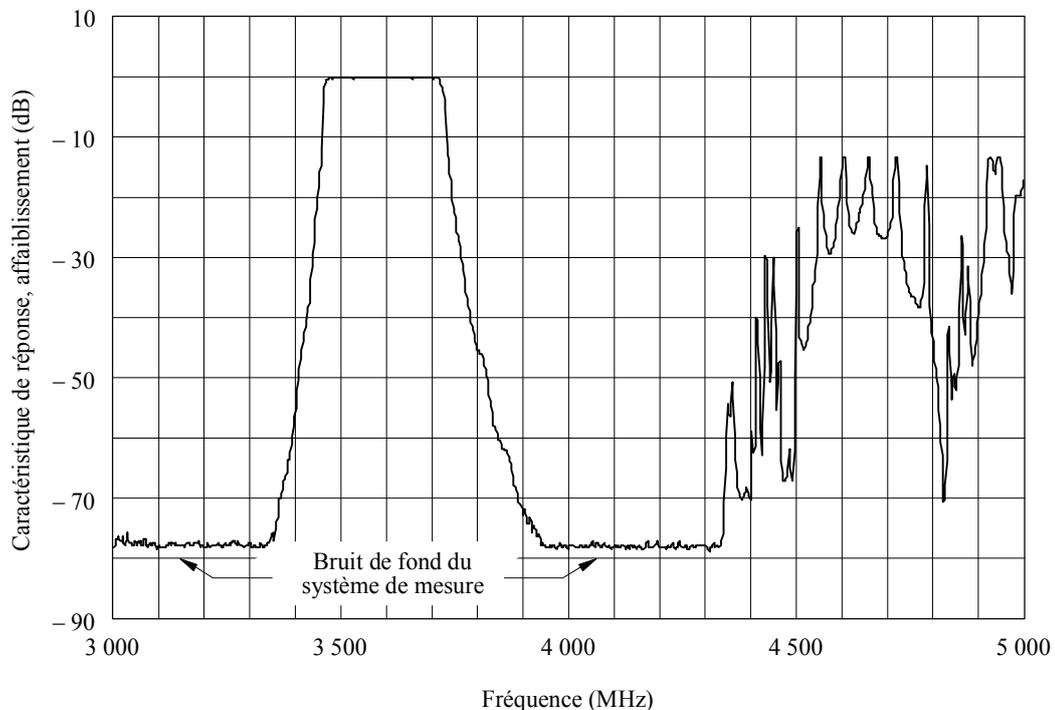
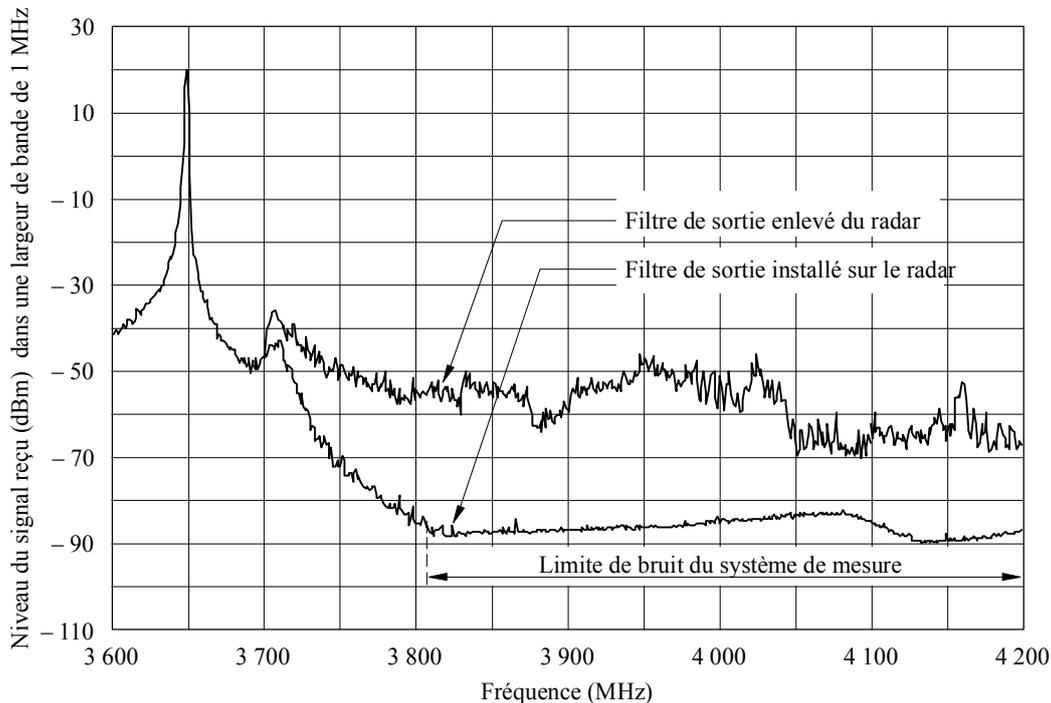


FIGURE 12

Spectre d'un radar montrant l'effet de l'installation d'un filtre passe-bande à la sortie du radar



M.1179-12

3.1.3 Possibilités d'atténuation des brouillages causés aux stations terriennes du service fixe par satellite

Les possibilités d'améliorer la compatibilité pour les stations terriennes du SFS lorsque le brouillage est dû aux rayonnements non essentiels d'émetteurs radar dans la bande du SFS sont examinées ci-après.

3.1.3.1 Choix de l'antenne

La discrimination de l'antenne (réponse de l'antenne aux signaux provenant de différents azimuts) varie largement d'un type d'antenne à l'autre. Dans certains cas, il est possible de tirer parti de cette caractéristique pour réduire la réponse d'un système aux brouillages provenant d'une direction particulière. Actuellement, la plupart des stations terriennes utilisent des antennes paraboliques normalisées à alimentation au foyer principal. Parmi les autres types d'antenne utilisés qui ont des niveaux de lobe latéral inférieurs, il faut citer ceux qui incorporent des antennes à réflecteur Cassegrain, à réflecteur grégorien, à réflecteur décalé et à cornet. Les fabricants d'antennes ont indiqué que les antennes paraboliques à enveloppe de protection utilisées pour les faisceaux hertziens peuvent être également utilisées dans les stations terriennes fonctionnant à 4 GHz. Chaque type a une réponse différente aux signaux hors axe. A des angles hors axe dépassant 10°, les antennes à réflecteur parabolique à enveloppe de protection et à réflecteur à cornet conique peuvent produire un affaiblissement supplémentaire de 10 à 20 dB d'un signal brouilleur et de 20 à 50 dB pour des angles hors axe supérieurs à 50°.

3.1.3.2 Choix de l'emplacement

Pendant la phase de conception de nouvelles stations terriennes, le choix de l'emplacement peut être utilisé pour éviter l'exposition éventuelle aux brouillages causés par des stations radar en service. De nombreux facteurs déterminent le choix de l'emplacement des stations terriennes. Lorsque cela est possible, l'un de ces facteurs doit être l'environnement électromagnétique. Pour que le choix de l'emplacement soit un succès, comme possibilité d'atténuation des brouillages, il faut connaître l'emplacement des stations radar. Il convient de reconnaître cependant que des contraintes supplémentaires en matière de choix d'emplacement peuvent avoir une incidence importante sur les conditions économiques de la construction des stations terriennes. La clé de l'atténuation des brouillages radar en ce qui concerne le choix d'un emplacement est la protection électromagnétique par le terrain environnant.