

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R RS.1858
(01/2010)

**Caractérisation et évaluation du brouillage
cumulatif causé aux détecteurs exploités
dans le SETS (passive) par de multiples
sources artificielles de rayonnement**

Série RS
Systemes de télédétection



Union
internationale des
télécommunications

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	Systemes 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, 2011

© UIT 2011

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 RS.1858

Caractérisation et évaluation du brouillage cumulatif causé aux détecteurs exploités dans le SETS (passive) par de multiples sources artificielles de rayonnement

(Question UIT-R 243/7)

(2010)

Domaine d'application

La présente Recommandation fournit des informations sur la caractérisation et l'évaluation du brouillage cumulatif causé au fonctionnement de détecteurs passifs par de multiples sources artificielles de rayonnement. Après avoir énumérer diverses sources de brouillage, on détermine, dans un deuxième temps, les moments statistiques du brouillage cumulatif. Pour terminer, on étudie les résultats d'une simulation dynamique, qui valide la méthode d'évaluation du brouillage cumulatif.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que des satellites d'exploration de la Terre et des satellites de météorologie fonctionnant dans certaines bandes de fréquences attribuées au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passive) utilisent des détecteurs passifs pour la télédétection de la Terre et de son atmosphère;
- b) que les informations fournies par ces détecteurs passifs sont essentielles à la météorologie, à la climatologie et à d'autres disciplines à des fins opérationnelles et scientifiques, pour lesquelles elles sont largement utilisées;
- c) que les détecteurs passifs fonctionnant dans le SETS (passive) sont sensibles à toutes les émissions susceptibles de se produire dans la bande qui leur a été attribuée;
- d) que toutes les émissions artificielles dans les bandes attribuées au SETS (passive) peuvent constituer une source de brouillage pour les détecteurs passifs fonctionnant dans ces bandes et risquent, par conséquent, de perturber leur fonctionnement tel qu'il a été prévu;
- e) que les détecteurs passifs ne sont pas toujours capables de distinguer les émissions naturelles des émissions artificielles et qu'il n'est peut-être pas possible d'identifier la puissance des émissions artificielles dans les informations obtenues à l'aide de ces détecteurs;
- f) qu'il est nécessaire de caractériser les sources de brouillages causés aux détecteurs passifs;
- g) qu'il est nécessaire de développer des méthodes appropriées pour évaluer les effets cumulés du brouillage sur le fonctionnement des détecteurs passifs,

notant

- a) que les Recommandations UIT-R RS.515, UIT-R RS.1028 et UIT-R RS.1029 définissent des critères généraux d'exploitation, de qualité de fonctionnement et de protection applicables au SETS (passive);
- b) que la Recommandation UIT-R SM.1633 traite des effets des émissions artificielles provenant de certains services actifs fonctionnant dans des bandes spécifiques, adjacentes ou voisines, sur le SETS (passive) exploité dans certaines bandes comprises entre 1,4 et 60 GHz;

c) que la Recommandation UIT-R SM.1542 donne des informations concernant des techniques qui pourraient être utilisées par les détecteurs fonctionnant dans le SETS (passive) pour limiter les effets des rayonnements non désirés,

recommande

1 d'utiliser la méthode décrite à l'Annexe 1 pour évaluer le brouillage cumulatif causé aux détecteurs passifs par de multiples sources de rayonnement artificiel.

Annexe 1

Caractérisation du brouillage causé aux détecteurs exploités dans le SETS (passive) par de multiples sources artificielles de rayonnement et méthode d'évaluation de ce brouillage

1 Introduction

Un détecteur exploité dans le SETS (passive) est en substance un radiomètre conçu pour mesurer des rayonnements naturels dans une gamme de fréquences donnée. Ces détecteurs sont vulnérables à la puissance rayonnée par les émetteurs de Terre, notamment au rayonnement émis par un seul émetteur de forte puissance, mais aussi au rayonnement cumulatif produit par de fortes densités d'émetteurs à faible puissance. Les émetteurs spatioportés peuvent aussi contribuer à l'énergie reçue par les détecteurs: indirectement via des réflexions par la Terre dans l'antenne du détecteur, ou directement par le faisceau principal ou les lobes latéraux de l'antenne. Les émissions artificielles possèdent diverses caractéristiques qui les différencient des émissions hyperfréquences naturelles. Cela étant, si ces caractéristiques se retrouvent à divers degrés dans des sources isolées, l'accumulation d'une grande quantité de sources peut ne pas présenter les caractéristiques qui permettraient de les distinguer des rayonnements planétaires naturels.

Parmi les paramètres requis pour caractériser les brouillages causés aux détecteurs du SETS (passive), on peut citer:

- la gamme des fréquences d'exploitation des détecteurs utilisés par le SETS (passive);
- la puissance produite par toutes les sources artificielles de rayonnement en direction des détecteurs;
- la réceptivité des détecteurs en fonctionnement exploités dans le SETS (passive) à l'énergie des émissions artificielles présentes;
- la diffusion par la surface de la Terre, par des constituants atmosphériques et par d'autres objets; l'absorption atmosphérique et l'affaiblissement dans l'espace.

Pour caractériser le brouillage causé aux détecteurs en fonctionnement exploités dans le SETS (passive) par toutes les sources artificielles de rayonnement, il est nécessaire:

- de définir une référence pour la mesure du brouillage causé aux détecteurs du SETS (passive) en fonctionnement;
- de caractériser les sources artificielles de rayonnement selon leur classification et leurs caractéristiques d'émission;
- d'évaluer les classes de sources de rayonnement artificiel en fonction de l'importance de leurs effets sur le fonctionnement des détecteurs exploités dans le SETS (passive);

- d'évaluer les brouillages causés par chaque classe de rayonnement dont les effets sont significatifs ainsi que les effets cumulatifs de ces brouillages sur le fonctionnement des détecteurs passifs.

2 Caractérisation des sources de brouillage

La quantité et la variabilité de la puissance émise dans la bande passante des détecteurs exploités dans le SETS (passive) par les sources artificielles de rayonnement sont des caractéristiques importantes de ces sources au regard de la dégradation des informations fournies par ces détecteurs. La dégradation du fonctionnement de ces détecteurs causée par des signaux artificiels peut être caractérisée par la relation entre l'accumulation des sources artificielles de rayonnement et la réceptivité des détecteurs en question aux caractéristiques de la puissance rayonnée en présence. Cette réceptivité dépend elle-même de la relation entre les paramètres d'exploitation des détecteurs et les caractéristiques spécifiques de l'énergie artificielle rayonnée. La puissance rayonnée totale *admissible* au niveau d'un détecteur indiquée dans la Recommandation UIT-R RS.1029 peut servir de référence à l'évaluation des brouillages.

Les sources élémentaires sont caractérisées par deux facteurs: classification des services d'une part et types des émissions d'autre part. S'agissant de la classification des services, les sources de toutes les émissions artificielles sont subdivisées en deux groupes définis séparément:

- services de radiocommunication et de radiopérage;
- autres sources.

Les services de radiocommunication et de radiopérage sont les services énumérés à l'Article 1 du Règlement des radiocommunications (RR). Pour simplifier l'analyse, les services de radiocommunication sont regroupés sous les deux titres suivants:

- 1) de Terre;
- 2) spatiaux.

Les autres sources de rayonnement artificiel sont regroupées sous les trois titres suivants:

- 1) dispositif de radiocommunication à courte portée¹;
- 2) équipements ISM²;
- 3) appareils et installations électriques³.

En ce qui concerne les types des émissions, les services de radiocommunication et les autres sources sont classés conformément à la définition donnée par le RR:

- 1) énergie résultant des rayonnements dans la largeur de bande nécessaire⁴;
- 2) énergie résultant des rayonnements dans le domaine des émissions hors bande⁵;
- 3) énergie résultant des rayonnements dans le domaine des émissions non essentielles⁵.

Il convient d'examiner le fonctionnement des détecteurs dans une bande purement passive et dans une bande mixte passive-active, et d'étudier l'application de techniques de limitation des brouillages

¹ Recommandation UIT-R SM.1538-2.

² Numéro 1.15 du RR.

³ Numéro 15.12 du RR.

⁴ Numéro 1.152 du RR.

⁵ Tel que défini dans la Recommandation UIT-R SM.1541-1.

ainsi que d'autres éléments pertinents au regard de l'évaluation des effets des rayonnements artificiels sur le fonctionnement des détecteurs. Les bandes purement passives sont celles énumérées dans le numéro 5.340 du RR. A noter cependant que certaines bandes figurant dans ce numéro autorisent des signalisations de service actif, comme indiqué dans le renvoi. C'est pourquoi il importe de prendre en compte précisément les conditions d'exploitation spécifiques au détecteur à l'étude.

3 Méthode d'évaluation du brouillage cumulatif

Dans les études de l'UIT-R portant sur les brouillages causés par de multiples services de radiocommunication au service d'exploration de la Terre par satellite (passive), les principes généraux suivants s'appliquent:

- Toutes les dispositions du RR et toutes les Recommandations UIT-R pertinentes doivent être prises en compte:
 - a) tous les critères de brouillage qui s'appliquent doivent être examinés. Il convient notamment de distinguer les rayonnements dans la bande et les rayonnements non désirés qui perturbent les services de radiocommunication;
 - b) il convient d'examiner bande par bande les effets relatifs, sur le service passif, de chaque service de radiocommunication brouillé par rapport aux autres services.
- S'agissant des bandes passives énumérées dans le numéro 5.340 du RR, la disposition énonce que «toutes les émissions sont interdites».

Les critères de brouillage indiqués dans la Recommandation UIT-R RS.1029 fournissent un seuil de brouillage et un pourcentage de la zone ou du temps pendant lequel ce seuil ne doit pas être dépassé. Ce pourcentage est appelé critère de disponibilité des données. En règle générale, la première étape de l'évaluation des brouillages consiste à calculer le brouillage cumulatif à l'intérieur de l'empreinte de l'antenne du détecteur dont on pense qu'elle produit la plus grande quantité de brouillage. Pour cela, il est fréquent d'effectuer un calcul statique dans le cas le plus défavorable. Si ce calcul fournit un niveau de brouillage qui dépasse la valeur admissible, des simulations dynamiques sont effectuées pour déterminer si le brouillage cumulatif respecte ou non le critère de disponibilité des données à l'échelle mondiale ou régionale. Cela étant, les statistiques mondiales ou régionales ne sont pas les seules à entrer en jeu: il convient également d'examiner les statistiques des brouillages provenant de l'empreinte de l'antenne dans le cas le plus défavorable. En effet, les émetteurs situés dans cette empreinte peuvent ne fonctionner que par intermittence et les directions de pointage de leurs antennes peuvent varier. La puissance de brouillage provenant de l'empreinte dans le cas le plus défavorable aura donc une distribution de probabilité, tout comme les brouillages à l'échelle mondiale ou régionale en raison des variations que présente le déploiement des émetteurs d'un point de vue géographique. La différence principale réside dans le fait que les brouillages à l'échelle mondiale seront analysés à l'aide d'une simulation dynamique, alors que, pour les brouillages provenant d'une empreinte dans le cas le plus défavorable, on pourra aussi utiliser des méthodes Monte-Carlo lorsqu'il est difficile d'accumuler une quantité suffisante de données sur une période de temps raisonnable à l'aide d'une simulation dynamique.

On a fréquemment recours à ces simulations, de type dynamique ou Monte-Carlo, lorsqu'un seul type de service brouilleur entre en jeu. Or, la prise en compte de l'ensemble des services brouilleurs dans une seule simulation peut se révéler difficile sur le plan pratique. Se pose alors la question de savoir comment procéder en présence de multiples services brouilleurs.

Première méthode: on pose que le brouillage cumulatif variable dans le temps provenant de tout service de radiocommunication se décompose en un facteur à long terme et un facteur à court terme. Les événements de brouillage à court terme causés par différents services ne sont généralement pas corrélés et ne se produisent pas au même moment. Le brouillage à court terme ne se cumule donc

pas en puissance mais en temps. Inversement, le brouillage à long terme ne se cumule pas en temps mais en puissance. L'inconvénient de cette démarche est qu'il n'existe pas de critère de brouillage à long terme pour la détection passive et qu'il n'est donc pas possible de vérifier si la composante à long terme du brouillage cumulatif est ou non trop importante. De plus, on le verra, tout scénario de brouillage donné présente généralement *à la fois* une composante à court terme et une composante à long terme. Autrement dit, le brouillage se cumule à la fois en puissance et en temps.

On peut aussi procéder autrement: en utilisant la méthode des moments statistiques, qui ne nécessite pas de faire la différence entre brouillage à court terme et brouillage à long terme. Cette procédure fait l'objet du reste de la présente annexe. Pour déterminer le niveau de brouillage cumulatif dans la bande d'un détecteur, on peut commencer par décrire, d'un point de vue statistique, le brouillage causé par chacun des services. L'objectif final est de déterminer le niveau de brouillage cumulatif qui est dépassé pendant un faible pourcentage du temps.

Soit μ_k et σ_k^2 la moyenne (W) et la variance (W^2) du niveau de brouillage causé par le k -ième service dans le détecteur passif. Dans une simulation dynamique ou Monte-Carlo, μ_k serait la somme des niveaux de brouillage à l'entrée du détecteur passif, obtenue à partir d'un grand nombre d'échantillons de puissance de brouillage divisée par le nombre d'échantillons pour le k -ième service. σ_k^2 serait la somme des carrés des écarts, par rapport à la moyenne μ_k , des échantillons de puissance de brouillage à l'entrée du détecteur passif, divisée par le nombre d'échantillons. Il n'est pas nécessaire de connaître la distribution de probabilité du brouillage causé par chacun des services.

Si l'on considère par hypothèse que les contributions des différents services actifs au brouillage sont indépendantes les unes des autres, les moments de la distribution cumulative peuvent s'exprimer comme suit:

$$\mu = \sum_{k=1}^K \mu_k \quad \text{et} \quad \sigma^2 = \sum_{k=1}^K \sigma_k^2 \quad (1)$$

où K est le nombre de services brouilleurs. Ces relations sont valables indépendamment de la distribution de probabilité du brouillage causé par chacun des services. En fait, si les services brouilleurs sont statistiquement indépendants, les moyennes et les variances des niveaux de brouillage sont les seules quantités additives existantes d'un point de vue statistique. Le but ultime n'est pas de trouver les moments eux-mêmes, mais de déterminer *in fine* quel est le niveau cumulatif P dépassé pendant un faible pourcentage de temps, par exemple 0,1 ou 0,01%. Ce niveau est égal au niveau moyen plus un certain nombre d'écarts types par rapport à la moyenne.

On peut donc écrire P sous la forme $\mu + c\sigma$ où c est une constante déterminée à partir de toutes les données statistiques issues de la simulation dynamique de chaque service. Pour le k -ième service, il faut déterminer les moments et la distribution cumulative de brouillage, puis calculer:

$$c_k = \frac{P_k - \mu_k}{\sigma_k} \quad (2)$$

où P_k est le niveau de brouillage causé par le k -ième service dépassé pendant un faible pourcentage de temps. On calcule ensuite c_k de cette façon pour chaque service. Une moyenne pondérée de chaque c_k fournit une estimation acceptable de c pour la distribution cumulative:

$$c = \frac{\sum_k P_k c_k}{\sum_k P_k} \quad (3)$$

Le service brouilleur dominant, défini comme étant le service présentant la plus grande valeur de P_k , contribue donc au calcul de c avec une pondération maximale. La valeur de c tirée de

l'équation (3) peut ensuite être utilisée pour estimer le niveau de brouillage cumulatif dépassé pendant un faible pourcentage de temps.

Lorsque les services brouilleurs hors bande sont intégrés à la valeur cumulée, il est très commode de calculer la marge à partir des niveaux de brouillage dans le même canal et de considérer que la suppression hors bande déjà existante fait partie d'une procédure éventuelle de limitation des brouillages mise en œuvre par ces services.

Pour que cette méthode soit applicable dans la pratique, il convient de modifier les programmes de simulation dynamique ou de simulation Monte-Carlo actuellement utilisés, de sorte qu'ils ne calculent pas seulement les distributions cumulatives des brouillages mais aussi les moments décrits ci-dessus, faute de quoi le calcul des moments peut devenir laborieux. Il va de soi que s'il existe des simulations qui intègrent déjà tous les services brouilleurs potentiels, le niveau de brouillage cumulatif dépassé pendant un faible pourcentage de temps peut être déterminé directement sans calculer les moments statistiques, et ce, que les services brouilleurs soient indépendants les uns des autres ou non.

4 Exemple prenant pour hypothèse des statistiques composites suivant une loi normale

Dans le cas le plus simple, la distribution de probabilité du niveau de brouillage cumulatif causé par l'ensemble des services tend vers une distribution normale à mesure que le nombre de services brouilleurs augmente. Si l'on se place dans cette hypothèse et si l'on désigne par P le niveau cumulatif dépassé pendant moins de 1% du temps, les tables de l'intégrale de la distribution de probabilité normale nous donnent $P = \mu + 2,33\sigma$. Si, au lieu de cela, le critère de disponibilité des données est de 0,1% ou 0,01%, ces mêmes tables donnent pour c les valeurs 3,09 et 3,72 respectivement.

Supposons que le service passif ait un critère de brouillage de -160 dB(W/100 MHz) (ou 10^{-16} (W/100 MHz)), le critère de disponibilité des données étant égal à 0,1%. On considère, dans un premier temps, deux services brouilleurs. Les simulations dynamiques ont indiqué que les moyennes et les écarts types des niveaux de brouillage causés par ces deux services (supposés dans le même canal que le détecteur) sont respectivement $\mu_1 = \sigma_1 = 10^{-17}$ (W/100 MHz) et $\mu_2 = \sigma_2 = 2 \times 10^{-17}$ (W/100 MHz). On détermine, à partir de l'équation (1), les moments cumulatifs, à savoir $\mu = 3 \times 10^{-17}$ (W/100 MHz) et $\sigma = 2,24 \times 10^{-17}$ (W/100 MHz). En prenant l'hypothèse que les statistiques du brouillage cumulatif suivent une loi normale, le niveau cumulatif dépassé pendant moins de 0,1% du temps est:

$$P = \mu + 3,09\sigma = 9,91 \times 10^{-17} \text{ W/100 MHz} \quad (4)$$

ce qui est tout juste inférieur au critère de brouillage du détecteur pris comme hypothèse. On suppose maintenant qu'un troisième service intervient. Une simulation dynamique indique que la moyenne et l'écart type du niveau de brouillage causé par ce troisième service à l'entrée du détecteur sont: $\mu_3 = \sigma_3 = 3 \times 10^{-17}$ (W/100 MHz). Dans l'hypothèse où les statistiques du brouillage cumulatif suivent une loi normale, la nouvelle valeur cumulative dépassée pendant moins de 0,1% du temps est $1,76 \times 10^{-16}$ (W/100 MHz), ce qui est supérieur de 2,5 dB au critère de brouillage du détecteur pris comme hypothèse.

Il importe de souligner que, par souci de simplicité, cet exemple utilise des statistiques qui suivent une loi normale, hypothèse qui n'est généralement pas valide.

5 Résultats de la simulation dynamique

Une simulation dynamique de la méthode d'évaluation du brouillage cumulatif a été réalisée. Le brouillage cumulatif causé dans la bande du SETS (passive) 1 400-1 427 MHz par des émissions non désirées provenant de stations fixes, de stations de radiolocalisation et de stations spatiales a été calculé. On a pour cela considéré trois scénarios, depuis le cas où l'un des trois services brouilleurs est dominant, au cas où les brouillages produits par chaque service de radiocommunication sont comparables en termes statistiques. Les simulations dynamiques ont produit une base de données contenant les niveaux de brouillage pour 52 000 incréments de temps. Pour chacun de ces incréments, on a déterminé: le brouillage produit par chaque service, le brouillage cumulatif produit par les trois services, le service responsable du niveau de brouillage maximal ainsi que la contribution (en pourcentage) du service brouilleur dominant au niveau de brouillage cumulatif.

L'un des objectifs était de déterminer si les brouillages causés par différents services de radiocommunication se cumulent dans le domaine des puissances ou en termes de pourcentage du temps. L'analyse des résultats de la simulation dynamique pour chaque incrément de temps fait apparaître des étapes temporelles pour lesquelles un seul service de radiocommunication brouilleur dominant est présent, ce qui est caractéristique des situations où les brouillages provenant de différentes sources se cumulent en termes de pourcentage du temps ou de la zone. Par ailleurs, le même scénario fait apparaître d'autres étapes temporelles où le brouillage cumulatif est, de toute évidence, le résultat de l'accumulation simultanée, dans le domaine des puissances, de brouillages provenant de différents services de radiocommunication. Les simulations montrent donc que, dans un scénario donné, les brouillages ne se cumulent pas exclusivement dans le domaine des puissances ni exclusivement en termes de pourcentage du temps. Etant donné que les brouillages cumulatifs en puissance sont généralement associés à des brouillages à long terme et les brouillages cumulatifs en temps à des brouillages à court terme, ces résultats montrent que la distinction, souvent faite, entre brouillages à long terme et brouillages à court terme n'est, dans la plupart des cas, pas d'une grande utilité pour déterminer les brouillages cumulatifs, ce qui justifie de proposer l'utilisation de la méthode des moments statistiques pour calculer les brouillages cumulatifs provenant de multiples services.

Pour chaque scénario, la moyenne et la variance des brouillages cumulatifs ont été calculées à partir des moyennes et des variances des données de simulation pour chacun des services de radiocommunication. On a constaté que la moyenne et la variance des brouillages cumulatifs ainsi calculées étaient égales à la somme des moyennes et des variances des services pris isolément, obtenues à partir des données de simulation, ce qui est en conformité avec l'équation (1). De plus, les simulations ont fait apparaître que l'hypothèse selon laquelle les statistiques suivent une loi normale n'est généralement pas valable. Il s'est avéré que si c est calculé à l'aide de l'équation (3), les trois scénarios de simulation présentent une bonne adéquation. Au vu de ce qui précède, la méthode des moments statistiques semble donc être un moyen acceptable pour déterminer les niveaux de brouillage cumulatif, même lorsque la distribution de probabilité du niveau cumulé n'est pas connue.
