

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1831-1
(09/2015)

Méthode de coordination pour l'évaluation des brouillages entre systèmes du service de radionavigation par satellite

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, 2016

© UIT 2016

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.1831-1

Méthode de coordination pour l'évaluation des brouillages entre systèmes du service de radionavigation par satellite

(Question UIT-R 217-2/4)

(2007-2015)

Domaine de compétence

La présente Recommandation expose une méthode d'estimation des brouillages entre systèmes du service de radionavigation par satellite, méthode à utiliser pour la coordination entre systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite. Du fait que la Résolution 610 (CMR-03) s'applique à tous les systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite et que cette Résolution expose un certain nombre de mesures conçues pour faciliter la détermination de la compatibilité entre systèmes du service de radionavigation par satellite, la présente Recommandation s'applique au service de radionavigation par satellite dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz.

Mots-clés

SRNS, méthode de coordination, évaluation des brouillages entre systèmes

Abréviations/glossaire

ADC convertisseur analogique-numérique (*analogue to digital converter*)

AGC commande automatique de gain (*automatic gain control*)

PRN bruit pseudo-aléatoire (*pseudo-random noise*)

SSC coefficient de séparation spectrale (*spectral separation coefficient*)

Recommandations UIT-R et Rapports UIT-R connexes

Recommandation UIT-R M.1318-1 Modèle d'évaluation des brouillages continus causés par des sources radioélectriques autres que celles du service de radionavigation par satellite aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz

Recommandation UIT-R M.1787-2 Description des systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre et espace-espace) et caractéristiques techniques des stations spatiales d'émission fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz

Recommandation UIT-R M.1901-1 Orientations générales concernant les Recommandations UIT-R relatives aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes de fréquences 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz et 5 010-5 030 MHz

Recommandation UIT-R M.1902-0 Caractéristiques et critères de protection applicables aux stations terriennes de réception du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 215-1 300 MHz

- Recommandation UIT-R M.1903-0 Caractéristiques et critères de protection applicables aux stations terriennes de réception du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre) et aux récepteurs du service de radionavigation aéronautique fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz
- Recommandation UIT-R M.1904-0 Caractéristiques, critères de qualité de fonctionnement et critères de protection applicables aux stations de réception du service de radionavigation par satellite (espace-espace) fonctionnant dans les bandes de fréquences 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz
- Recommandation UIT-R M.1905-0 Caractéristiques et critères de protection applicables aux stations terriennes de réception du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 164-1 215 MHz
- Recommandation UIT-R M.1906-1 Caractéristiques et critères de protection des stations spatiales de réception et caractéristiques des stations terriennes d'émission du service de radionavigation par satellite (Terre vers espace) fonctionnant dans la bande 5 000-5 010 MHz
- Recommandation UIT-R M.2030-0 Méthode d'évaluation du brouillage par impulsions causé par des sources radioélectriques autres que celles du service de radionavigation par satellite aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz
- Recommandation UIT-R M.2031-1 Caractéristiques et critères de protection des stations terriennes de réception et caractéristiques des stations spatiales d'émission du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 5 010-5 030 MHz

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite (SRNS) permettent de disposer dans le monde entier d'informations précises pour de nombreuses applications de détermination de la position et de l'heure, notamment des applications fondamentales concernant la sécurité de la vie;
- b) que la CMR-03 a adopté de nouvelles attributions élargies pour le SRNS;
- c) que toute station terrienne dotée des équipements adéquats peut recevoir, dans le monde entier, les informations de navigation transmises par les systèmes et réseaux du SRNS;
- d) que plusieurs systèmes et réseaux sont exploités ou en projet dans le SRNS, et qu'un nombre croissant de fiches de notification concernant le SRNS reçues par le Bureau des radiocommunications proposent d'utiliser les nouvelles attributions;
- e) que, pour les besoins des entretiens de coordination, ont été établies des méthodes qui constituent une base commune pour l'estimation des brouillages entre ces systèmes et réseaux du SRNS,

reconnaissant

- a) que les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz sont attribuées au SRNS à titre primaire (espace vers Terre, espace vers espace);
- b) que les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz sont aussi attribuées à titre primaire à d'autres services;
- c) que la Recommandation UIT-R M.1901 donne des orientations sur la présente Recommandation et d'autres Recommandations UIT-R relatives aux systèmes et réseaux du SRNS fonctionnant dans les bandes de fréquences 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz et 5 010-5 030 MHz;
- d) que les caractéristiques techniques et d'exploitation et les critères de protection des récepteurs des systèmes et réseaux du SRNS (espace vers Terre et espace vers espace) dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz et 5 010-5 030 MHz sont indiqués dans les Recommandations UIT-R M.1905, UIT-R M.1902, UIT-R M.1903, UIT-R M.1904, UIT-R M.1906 et UIT-R M.2031;
- e) que les caractéristiques techniques et d'exploitation des émetteurs des systèmes et réseaux du SRNS (Terre vers espace, espace vers Terre et espace vers espace) dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz et 5 010-5 030 MHz sont indiquées dans les Recommandations UIT-R M.1787, UIT-R M.1906 et UIT-R M.2031;
- f) que la Recommandation UIT-R M.1318 décrit un modèle d'évaluation des brouillages occasionnés aux systèmes du SRNS dans le domaine fréquentiel des bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz;
- g) que la Recommandation UIT-R M.2030 décrit une méthode d'évaluation des brouillages par impulsions que des sources radioélectriques autres que celles du SRNS sont susceptibles de causer aux systèmes et réseaux du SRNS fonctionnant les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz;
- h) qu'aux termes du numéro 4.10 du Règlement des radiocommunications (RR), les aspects «sécurité» du SRNS «appellent des dispositions spéciales pour les mettre à l'abri des brouillages préjudiciables»;
- i) qu'en vertu du numéro 5.328B du RR, les systèmes et réseaux du SRNS qu'il est prévu d'utiliser dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz et pour lesquels les renseignements complets de coordination ou de notification, selon le cas, sont reçus par le Bureau des radiocommunications après le 1er janvier 2005 sont soumis à l'application des numéros 9.12, 9.12A et 9.13 du RR, et que des études ayant pour objet de déterminer des méthodes et critères additionnels pour faciliter cette coordination sont en cours de planification;
- j) qu'en vertu du numéro 9.7 du RR, les stations des réseaux du SRNS qui utilisent l'orbite des satellites géostationnaires doivent faire l'objet d'une coordination avec les autres stations de ce type, et que des études visant à déterminer des méthodes et critères additionnels pour faciliter cette coordination sont en cours de planification,

reconnaissant en outre

que la Résolution 610 (CMR-03) s'applique à tous les systèmes et réseaux du SRNS exploités dans les bandes citées sous le point a) du *reconnaissant*, et que cette Résolution contient des mesures conçues pour faciliter les déterminations de compatibilité entre systèmes du SRNS,

recommande

1 d'utiliser la méthode exposée dans l'Annexe 1 pour la coordination entre systèmes du SRNS exploités ou qu'il est proposé d'exploiter dans une ou plusieurs des bandes de fréquences citées sous le point *a*) du *reconnaisant* (Note 1);

2 de faire en sorte que les opérateurs de systèmes du SRNS, avant et pendant la coordination, tiennent compte des orientations fournies dans les Annexes 2 et 3.

NOTE 1 – La méthode exposée dans l'Annexe 1 peut être difficile à appliquer dans le cas de systèmes SRNS AMRF multisatellites. Dans ce cas, on pourra utiliser l'Annexe 2.

Annexe 1

Méthode d'estimation des brouillages entre systèmes et réseaux du SRNS

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
1 Introduction	6
2 Méthode d'analyse des brouillages	6
3 Données utilisées dans les calculs	10
3.1 Modélisation des constellations et des émetteurs de satellite	10
3.2 Modèle de récepteur d'utilisateur	10
3.3 Modèle de brouillage et de bruit	11
4 Calcul de G^{agg} par simulation	11
5 Exemple hypothétique d'application de la méthode	16
5.1 Evaluation des niveaux de brouillage	16
5.2 Evaluation des rapports porteuse/bruit effectifs et de la dégradation correspondante	18
6 Caractéristiques et modélisation du spectre des signaux du SRNS à code court	21
6.1 Exemple de spectre d'un code PRN court d'un signal du SRNS	21
6.2 Aspects généraux de la modélisation dynamique détaillée pour les codes PRN courts de signaux du SRNS	22
7 Conclusion	23

1 Introduction

La méthode dont il est question ici a pour objet d'offrir une technique d'estimation des brouillages entre systèmes et réseaux du SRNS. A ce titre, elle est utile pour la coordination entre systèmes de ce service (pour des raisons de brièveté, le terme «système» sera utilisé en lieu et place de l'expression «système ou réseau» dans le reste du présent document). Cette méthode s'applique à des systèmes du SRNS de type AMRC ou AMRF, ce qui rend possible le partage des bandes du SRNS, et repose sur une constatation: la simple sommation des valeurs de densité de puissance d'émission ne convient pas pour déterminer l'effet qu'un système du SRNS aura sur d'autres systèmes. Contrairement aux systèmes AMRC, qui généralement dans ce service ne présentent qu'une porteuse par bande occupée, les systèmes AMRF du SRNS comportent plusieurs porteuses dans une seule bande occupée. Il pourrait être mal aisé d'appliquer la méthode décrite ci-après à chacune des fréquences porteuses utilisées dans une configuration AMRC à plusieurs satellites.

2 Méthode d'analyse des brouillages

On utilise généralement le rapport de densité effective porteuse/bruit après corrélation, C/N'_0 , pour mesurer l'incidence de brouillage de diverses sources sur la qualité de fonctionnement des récepteurs considérés. Le rapport C/N'_0 dépend du récepteur, de l'antenne et du bruit externe provenant de sources autres que celles du SRNS. On utilise pourtant ce ratio dans l'évaluation des brouillages entre systèmes du SRNS.

Dans le cas d'un brouillage continu¹, C/N'_0 est formulé comme suit:

$$\frac{C}{N'_0} = \frac{C}{\nu N_0 + I_{ref} + I_{int} + I_{ext}} \quad (1)$$

où:

- C : puissance (W), après corrélation, du signal utile reçu du satellite de la constellation de référence, y compris affaiblissements de traitement applicables²
- N_0 : densité spectrale de puissance de bruit thermique (W/Hz) à l'entrée du récepteur, avant corrélation
- N'_0 : densité spectrale de puissance de bruit thermique (W/Hz) effective à la réception, après corrélation
- I_{ref} : densité spectrale de puissance de bruit blanc effective (W/Hz), après corrélation, due aux brouillages cumulatifs causés par l'ensemble des signaux reçus, à l'exception du signal utile, émise par tous les satellites visibles de la constellation de référence, y compris affaiblissements de traitement applicables

¹ En présence de brouillage par impulsions significatif, il faut modifier l'équation (1). Le brouillage par impulsions abaisse le rapport signal bruit en supprimant le signal utile et en relevant le plancher de bruit effectif.

² *Affaiblissements de traitement applicables*: gain d'antenne d'émetteur et de récepteur; affaiblissement d'application du récepteur, par exemple affaiblissements de filtrage et de quantification, affaiblissements par défaut d'adaptation entre le signal reçu et le code de référence.

- I_{int} : densité spectrale de puissance de bruit blanc effective (W/Hz), après corrélation, due aux brouillages cumulatifs causés par l'ensemble des signaux émis dans la bande de fréquences considérée par l'ensemble des satellites visibles du SRNS, à l'exclusion des satellites de la constellation de référence, y compris affaiblissements de traitement applicables
- I_{ext} : densité spectrale de puissance de bruit blanc effective (W/Hz), après corrélation, due aux brouillages cumulatifs causés par l'ensemble des signaux radioélectriques autres que ceux du SRNS, y compris affaiblissements de traitement applicables
- v : facteur de bruit thermique effectif, sans dimension, s'écrivant:

$$v = \int_{-\infty}^{\infty} |\overline{H}(f)|^2 S(f) df$$

$\overline{H}(f)$: fonction de transfert équivalent normalisée, à la fréquence f (Hz), telle que:

$$\overline{H}(f) = \frac{H(f)}{\max_{\gamma} |H(\gamma)|}$$

- $H(f)$: fonction de transfert équivalent du filtre de réception (sans dimension), à la fréquence f (Hz), représentant la totalité des signaux filtrés à l'étage d'entrée du récepteur, avant corrélation
- $S(f)$: densité spectrale de puissance symétrique à deux côtés équivalente idéale (W/Hz), à la fréquence f (Hz) du signal utile non filtré, avant corrélation, normalisée à la puissance unitaire sur une largeur de bande infinie et calculée sous l'hypothèse de codes d'étalement aléatoires
- γ : variable fictive.

L'expression simplifiée du niveau de bruit thermique effectif du récepteur après corrélation, en l'absence de bruit externe, s'écrit $N'_0 = vN_0$. Par ailleurs, si H représente un filtre passe-bande idéal de largeur de bande B_R (et non pas la fonction de transfert de magnitude détaillée du filtre d'étage d'entrée du récepteur), on peut ramener v à l'équation simplifiée suivante:

$$v = \int_{-B_R/2}^{B_R/2} S(f) df \leq \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df = 1$$

Il convient de noter aussi que I_{int} (W/Hz) peut être décomposé si l'on veut considérer le brouillage causé par un système donné du SRNS:

$$I_{int} = I_{alt} + I_{rem}$$

où:

- I_{alt} : densité spectrale de puissance de bruit effective (W/Hz), après corrélation, produite par les brouillages cumulatifs dus à la totalité des signaux émis dans la bande de fréquences considérée par l'ensemble des satellites visibles d'une «autre» constellation donnée

I_{rem} : densité spectrale de puissance de bruit effective (W/Hz), après corrélation, due aux brouillages composites produite par la totalité des signaux émis dans la bande de fréquences considérée par l'ensemble des satellites visibles du SRNS «restants», c'est-à-dire des satellites qui ne font partie ni de la constellation de référence ni de l'autre constellation.

Pour calculer les valeurs de la densité spectrale de puissance de bruit effective, nous définissons un coefficient β de séparation spectrale (exprimé en multiples de 1/Hz) entre un signal brouilleur, en l'occurrence le m ème signal du m ème satellite, et un signal utile x :

$$\int \beta_{m,n}^x = \int_{-\infty}^{\infty} |\overline{H}(f)|^2 \overline{S}_x(f) \overline{S}_{m,n}(f) df \quad (2)$$

où:

$\overline{S}_x(f)$: densité spectrale de puissance symétrique à deux côtés (W/Hz) normalisée (à l'unité sur la largeur de bande d'émission), à la fréquence f (Hz), du signal utile:

$$\overline{S}_x(f) = \begin{cases} \frac{S_x(f)}{B_T/2} & |f| \leq B_T/2 \\ \int_{-B_T/2}^{B_T/2} S_x(\gamma) d\gamma & \\ 0 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

B_{TD} : largeur de bande d'émission (Hz) sur laquelle est définie la puissance du signal utile

$S_x(f)$: densité spectrale de puissance symétrique à deux côtés (W/Hz), à la fréquence f (Hz), du signal utile non filtré

$\overline{S}_{m,n}(f)$: densité spectrale de puissance symétrique à deux côtés (W/Hz) normalisée (à l'unité sur la largeur de bande d'émission), à la fréquence f (Hz), du m ème signal brouilleur provenant du m ème satellite d'une constellation:

$$\overline{S}_{m,n}(f) = \begin{cases} \frac{S_{m,n}(f)}{B_T/2} & |f| \leq B_T/2 \\ \int_{-B_T/2}^{B_T/2} S_{m,n}(\gamma) d\gamma & \text{et} \\ 0 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

$S_{m,n}(f)$: densité spectrale de puissance symétrique à deux côtés (W/Hz), à la fréquence f (Hz), du m ème signal brouilleur non filtré provenant du m ème satellite d'une constellation

B_T : largeur de bande d'émission (Hz) sur laquelle est définie la puissance du signal brouilleur.

L'équation (2) repose sur une hypothèse implicite: on peut approximer les signaux du SRNS modulés d'un code de bruit pseudo-aléatoire (PRN), représentés par S , comme un spectre continu dans le spectre de brouillage cumulatif. Cette hypothèse n'est pas nécessairement vraie pour certains signaux ayant des codes «courts». Le § 6 ci-après fournit des informations plus détaillées sur ce point.

Soit:

M_{ref} : nombre de satellites visibles dans la constellation de satellites de référence

$N_{ref,m}$: nombre de signaux brouilleurs (non compris le signal utile émanant du satellite utile) émis par le m ème satellite de la constellation de référence

M_{alt} : nombre de satellites SRNS visibles dans l'autre constellation de satellites

- $N_{alt,m}$: nombre de signaux brouilleurs émis par le m ème satellite de l'autre constellation de satellites (ce nombre peut être supposé constant pour tous les satellites de l'autre constellation si l'on considère que la puissance d'un signal absent est nulle)
- M_{rem} : nombre de satellites SRNS visibles qui n'appartiennent ni à la constellation de référence, ni à l'autre constellation de satellites
- $N_{rem,m}$: nombre de signaux brouilleurs émis par le m ème satellite qui n'appartient ni à la constellation de référence, ni à l'autre constellation
- $P_{m,n}^{ref}$: puissance de brouillage maximale (W) du n ème signal brouilleur du m ème satellite de la constellation de référence
- $L_{m,n}^{ref}$: affaiblissement de traitement (sans dimension) du n ème signal brouilleur du m ème satellite de la constellation de référence
- $P_{m,n}^{alt}$: puissance de brouillage maximale (W) du n ème signal du m ème satellite de l'autre constellation
- $L_{m,n}^{alt}$: affaiblissement de traitement (sans dimension) du n ème signal du m ème satellite de l'autre constellation
- $P_{m,n}^{rem}$: puissance de brouillage maximale (W) du n ème signal du m ème satellite des constellations SRNS restantes
- $L_{m,n}^{rem}$: affaiblissement de traitement (sans dimension) du n ème signal du m ème satellite des constellations SRNS restantes.

Avec ces définitions, on peut établir les équations de calcul de la densité spectrale de puissance de brouillage effective, à la réception, produite par la constellation de référence, l'autre constellation et les constellations restantes:

$$I_{ref} = \sum_{m=1}^{M_{ref}} \sum_{n=1}^{N_{ref,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{ref}}{L_{m,n}^{ref}} \quad (3)$$

$$I_{alt} = \sum_{m=1}^{M_{alt}} \sum_{n=1}^{N_{alt,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{alt}}{L_{m,n}^{alt}} \quad (4)$$

$$I_{rem} = \sum_{m=1}^{M_{rem}} \sum_{n=1}^{N_{rem,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{rem}}{L_{m,n}^{rem}} \quad (5)$$

A l'aide des équations (1) à (5), on peut calculer le ratio C/N'_0 de densité effective porteuse/bruit. On compare alors la valeur obtenue à une valeur seuil de C/N'_0 établie en fonction des éléments suivants: mode de réception, acquisition du code, suivi du code, poursuite de la porteuse et démodulation des données, afin de mesurer l'effet des brouillages.

On peut utiliser d'autres méthodes fondées sur le rapport porteuse/bruit (C/N'_0) effectif, et notamment la dégradation de ce ratio occasionnée par une seule autre constellation donnée. Le degré d'interopérabilité entre signaux, ou les propriétés spécifiques de corrélation des codes entre systèmes, peuvent également être pris en considération. On trouvera des exemples d'application de ces mesures au § 5.2.

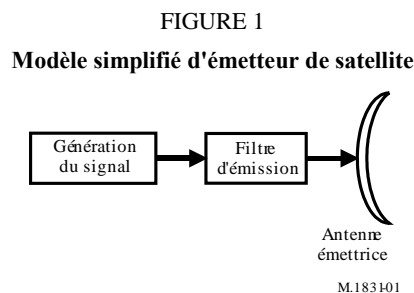
3 Données utilisées dans les calculs

Les données utilisées dans les calculs sont mesurées, déterminées par voie de simulation ou corrigées pour donner des résultats correspondant à l'expérience. De plus, les calculs de ces valeurs pour chaque satellite et chaque signal sont généralement établis par simulation sur une période de temps et sur un domaine d'intérêt précis, ce qui permet d'obtenir des données d'analyse des valeurs de brouillage entre systèmes.

Les sous-sections suivantes fournissent un complément d'information sur l'obtention des données de calcul.

3.1 Modélisation des constellations et des émetteurs de satellite

On utilise des modèles de simulation dynamique des constellations et de leurs paramètres orbitaux pour déterminer les niveaux de puissance reçus (signal utile, signaux brouilleurs). La Fig. 1 schématise un émetteur de satellite simplifié.



3.1.1 Niveaux du signal reçu: cas le plus défavorable

Pour le calcul du brouillage dans le cas le plus défavorable, on considère le signal utile à son niveau de puissance minimal et le signal brouilleur à son niveau de puissance maximal. On considère tous les signaux SRNS de la constellation de référence, à l'exception du signal utile.

3.1.2 Coefficients (β) de séparation spectrale

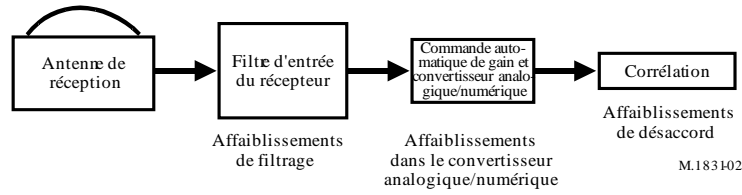
Les valeurs du coefficient β sont calculées sur la base d'une hypothèse valable aussi bien pour la largeur de bande d'émission que pour la largeur de bande de réception. Il est à noter que les valeurs calculées au moyen de l'équation (2) peuvent être inférieures aux valeurs observées dans la pratique. On peut le constater, par exemple, avec les codes PRN «courts» (voir le § 6). En effet, dans ce cas, la structure des raies fréquentielles des codes PRN «courts» est relativement plus grossière et n'est pas nécessairement représentée avec précision par une fonction continue de densité spectrale de puissance dans l'équation (2).

3.2 Modèle de récepteur d'utilisateur

Le modèle de récepteur d'utilisateur est schématisé à la Fig. 2. L'antenne de réception, dont la sortie est appliquée au filtre d'étage d'entrée du récepteur, reçoit à la fois le signal utile et le signal brouilleur. La boucle de commande automatique de gain (CAG) maintient la tension d'entrée du convertisseur analogique/numérique (CAN) dans les limites de la dynamique de cet équipement. On procède à la corrélation en utilisant le signal reçu et un signal de génération locale accordé au signal émis avant le filtrage à l'émission. Tous les affaiblissements – filtrage, convertisseur analogique/numérique et désaccord de corrélation – sont regroupés en un facteur d'affaiblissement unique. Toutefois, les affaiblissements du signal utile peuvent différer des affaiblissements des signaux brouilleurs.

FIGURE 2

Modèle simplifié de récepteur d'utilisateur



3.3 Modèle de brouillage et de bruit

Les paramètres du signal de navigation sont exprimés en divers termes: débit de données, débit d'échantillonnage du code PRN et autres caractéristiques du code, types de modulation. On utilise une approximation de spectre continu pour modéliser le spectre combiné des signaux brouilleurs reçus, à l'exception des codes de courte période, pour lesquels on tient compte aussi des caractéristiques des raies fréquentielles du code.

On peut également considérer le lieu de l'utilisateur en mesurant la puissance de brouillage en chaque point de la Terre sur une période de 24 heures. Pour un type de signal SRNS brouilleur donné, on calcule le niveau de brouillage composite maximal correspondant à ce type et on compare la valeur obtenue à la puissance de brouillage maximale par satellite d'un seul signal brouilleur de ce type, ce qui donne un facteur de gain cumulatif (G^{agg}). En d'autres termes, G^{agg} , donne la puissance maximale d'un signal unique caractéristique du SRNS; il s'agit de l'augmentation requise pour ramener cette puissance brouilleuse à la puissance de la totalité des signaux brouilleurs de ce type. Ce facteur rend donc compte de tous les autres signaux du même type ainsi que de la variation du gain d'antenne par rapport à tous les satellites qui émettent un signal de ce type.

Dans la pratique, on peut calculer une valeur de G^{agg} pour une constellation donnée et un signal unique, comme cela est expliqué au § 4, puis l'appliquer à tous les signaux de cette constellation, ou encore l'utiliser dans les entretiens de coordination. De même, on peut simplifier d'autres valeurs de brouillage.

Les brouillages émanant de sources large bande externes continues sont typiquement modélisés comme sources de bruit à l'aide d'une valeur de densité spectrale équivalente de puissance de bruit, I_{ext} . Ce terme permet de tenir compte de toutes les sources radioélectriques extérieures au SRNS et peut couvrir les brouillages dans la bande ou hors bande causés par d'autres services radioélectriques.

D'autres méthodes doivent être établies pour les brouillages à bande étroite et les brouillages par impulsions.

4 Calcul de G^{agg} par simulation

La densité spectrale de la puissance cumulative de brouillage (après corrélation) qu'appliquent tous les satellites d'un système SRNS à un signal utile d'indice, k , capté par un récepteur d'indice, i , dont le lieu est connu peut être exprimée en divers termes: coefficient de séparation spectrale, puissance d'émission, gain d'antenne d'émission/de réception, affaiblissement sur le trajet, affaiblissement de traitement, comme suit:

$$I_{i,k}(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} \left[G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m} \sum_{n=1}^{N_m} \frac{\beta_{m,n}^k P_{m,n}}{L_{k,n}} \right] - G_{0,k}^T(t) G_{0,k}^R(t) \alpha_{k,0}(t) \cdot \frac{\beta_{0,k}^k P_{0,k}}{L_{k,k}} \quad (6)$$

où:

- i : indice désignant le récepteur
- k : indice désignant le type de signal utile

- t : heure pour laquelle la puissance cumulative de brouillage est calculée
- $M_i^S(t)$: nombre de satellites du SRNS visibles au lieu du i ème récepteur à l'heure t
- m : indice de sommation sur les satellites visibles; $m = 0$ dans le cas de l'indice du satellite associé au signal utile
- $G_{i,m}^T$: gain de l'antenne d'émission (sans dimension) (relativement à la valeur isotrope) entre le m ème satellite et le i ème lieu de réception
- $G_{i,m}^R$: gain de l'antenne de réception (sans dimension) (relativement à la valeur isotrope) entre le i ème lieu de réception et le m ème satellite
- $\alpha_{i,m}$: affaiblissement (sans dimension) sur le trajet du m ème satellite au lieu du i ème récepteur
- N_m : nombre total de types de signaux sur le m ème satellite
- $\beta_{m,n}^k$: coefficient de séparation spectrale (1/Hz) entre le k ème type de signal et le n ème type de signal du m ème satellite
- $P_{m,n}$: puissance d'émission (W) du n ème signal du m ème satellite
- $L_{k,n}$: affaiblissement de traitement (sans dimension) pour le n ème type de signal (le signal utile étant du k ème type).

Considérons l'équation (6): le premier terme est la somme de toutes les densités spectrales de puissance produites par l'ensemble des satellites visibles et pour tous les signaux, y compris le signal utile reçu du satellite utile, alors que le second terme exprime la densité spectrale de puissance du signal utile émanant du satellite utile.

Comme l'équation (6) le fait apparaître, la densité spectrale de puissance équivalente entraîne un relèvement du plancher de bruit thermique. $I_{i,k}(t)$ est fonction de l'heure, du lieu de l'utilisateur et du coefficient de séparation spectrale. Une méthode simple de détermination de $I_{i,k}(t)$ consiste à utiliser un logiciel de simulation de constellations dans chacun des scénarios de brouillage pour déterminer la valeur du brouillage résultant. Mais il est trop peu pratique et trop long de faire ce type de calcul par simulation de constellation chaque fois qu'il est nécessaire de procéder à une analyse de brouillage pour un lieu donné. Il est donc utile de disposer d'un facteur unique susceptible d'être utilisé systématiquement pour les analyses de brouillage, de sorte qu'il ne soit pas nécessaire de recourir chaque fois à une simulation de constellation. On peut définir un tel facteur à l'aide de modèles de simulation et donc s'affranchir de la nécessité de calculer chaque fois $I_{i,k}(t)$. Ce facteur, appelé facteur de gain cumulatif, G^{agg} , peut être obtenu en prenant pour limite supérieure, dans l'équation (6), la valeur correspondant au cas le plus défavorable. La valeur de brouillage ainsi obtenue est surestimée dans la plupart des situations, mais donne par ailleurs l'assurance que le niveau calculé du seuil de brouillage ne sera pas dépassé.

Ce facteur G^{agg} , pour un type de signal donné, peut être calculé comme suit:

- a) Pour chaque position (indice i) dans l'espace (mais le plus souvent sur la surface de la Terre ou au voisinage de la surface de la Terre), on calcule la puissance du brouillage reçu (W) à la i ème position de réception:

$$P_i^R(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m}(t) P_m \quad (7)$$

Il convient de noter que, dans l'équation (7), pour des raisons de simplicité, l'indice désignant le type de signal utile, k , n'a pas été repris, tandis que les affaiblissements de traitement, L_m , sont pris en compte dans une autre équation (cf. équation (9)). Lorsque le signal utile et le signal brouilleur sont

de même type, il faut apporter une modification mineure à l'équation (7) (soustraction de la puissance du signal utile).

b) Nous écrivons alors, pour chaque position de réception, l'équation représentative de G^{agg} (sans dimension):

$$G^{agg} = \frac{\max_{\text{toutes valeurs de } i} \left[\max_{\text{toutes valeurs de } t} (P_i^R(t)) \right]}{P_{max}^R} \quad (8)$$

Ici, P_{max}^R est la puissance maximale (W) du signal brouilleur du type considéré provenant d'un satellite unique quelconque, à la sortie de l'antenne d'un récepteur de référence et avant le filtre RF du récepteur, mesuré sur l'ensemble des lieux de réception indexés. Notons qu'une antenne de réception de référence (pour un système donné) peut être une antenne anisotrope appropriée. Une telle antenne n'est pas toujours accordée en polarisation au type de signal reçu et, dans ce cas, on observe un certain affaiblissement additionnel. Le facteur G^{agg} est calculé à partir de l'équation (8) pour tous les types de signaux brouilleurs.

La valeur résultante de G^{agg} est la valeur correspondant au cas le plus défavorable pour toutes les positions de réception utilisées dans le calcul. On utilise alors cette valeur pour représenter la valeur la plus défavorable de G^{agg} pour tout lieu de réception utilisé dans l'analyse de brouillage (pour le type de signal utile considéré).

La densité spectrale de puissance de brouillage produite par tous les signaux SRNS provenant de tous les satellites SRNS en vue, I_0 (W/Hz) peut alors être majorée comme suit:

$$I_0 \leq \sum_{n=1}^N \frac{G_n^{agg} \beta_n P_{max,n}^R}{L_n} \quad (9)$$

où β_n est le coefficient de séparation spectrale entre le signal utile et le n ième type de signal et L_n l'affaiblissement de traitement entre le signal utile et le n ième type de signal. Il convient de noter aussi que les facteurs d'affaiblissement sur le trajet, $\alpha_{i,m}$, sont intégrés dans les facteurs G^{agg} et que la puissance maximale du signal reçu $P_{max,n}^R$, est utilisée en lieu et place de la puissance du signal émis.

A titre d'exemple, une simulation a été faite à l'aide du modèle de propagation orbitale de la Recommandation UIT-R M.1642. La constellation de 27 satellites utilisée présentait les paramètres orbitaux indiqués au Tableau 1. Le niveau de puissance reçue en fonction de l'angle d'élévation est indiqué à la Fig. 3 et le diagramme d'antenne de réception à la Figure. 4. La puissance maximale sur une période de 24 h pour chaque lieu (par pas de 5° en latitude et en longitude) est indiquée à la Figure. 5. Pour une puissance reçue maximale de -153 dBW, le facteur de gain cumulatif, sur l'ensemble des positions de récepteur, est de -142,0 - (-153) = 11,0 dB.

TABLEAU 1
Exemple de paramètres orbitaux

Satellite ID	Rayon de l'orbite (km)	Excentricité	Inclinaison (degrés)	Ascension droite (degrés)	Argument du périégée (degrés)	Anomalie moyenne (degrés)
1	26559,8	0	55	58,21285	0	6,33
2	26559,8	0	55	58,21285	0	134,62
3	26559,8	0	55	58,21285	0	234,13
4	26559,8	0	55	58,21285	0	269,42
5	26559,8	0	55	118,21285	0	30,39
6	26559,8	0	55	118,21285	0	61,53
7	26559,8	0	55	118,21285	0	152,22
8	26559,8	0	55	118,21285	0	176,92
9	26559,8	0	55	118,21285	0	289,68
10	26559,8	0	55	178,21285	0	90,83
11	26559,8	0	55	178,21285	0	197,11
12	26559,8	0	55	178,21285	0	227,99
13	26559,8	0	55	178,21285	0	322,09
14	26559,8	0	55	238,21285	0	0,00
15	26559,8	0	55	238,21285	0	28,67
16	26559,8	0	55	238,21285	0	131,04
17	26559,8	0	55	238,21285	0	228,26
18	26559,8	0	55	238,21285	0	255,7
19	26559,8	0	55	298,21285	0	56,33
20	26559,8	0	55	298,21285	0	165,07
21	26559,8	0	55	298,21285	0	267,07
22	26559,8	0	55	298,21285	0	293,95
23	26559,8	0	55	358,21285	0	68,43
24	26559,8	0	55	358,21285	0	99,32
25	26559,8	0	55	358,21285	0	201,63
26	26559,8	0	55	358,21285	0	320,60
27	26559,8	0	55	358,21285	0	349,16

FIGURE 3

Exemple de puissance de signal reçue dans un système de Terre en fonction de l'élévation

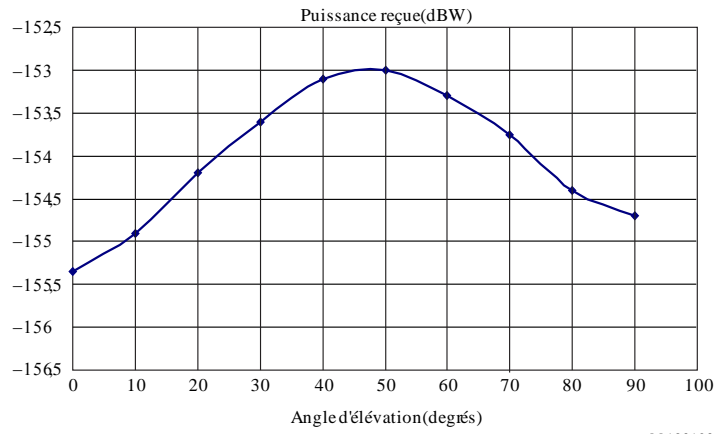


FIGURE 4

Exemple de gain d'antenne de réception en fonction de l'angle d'élévation

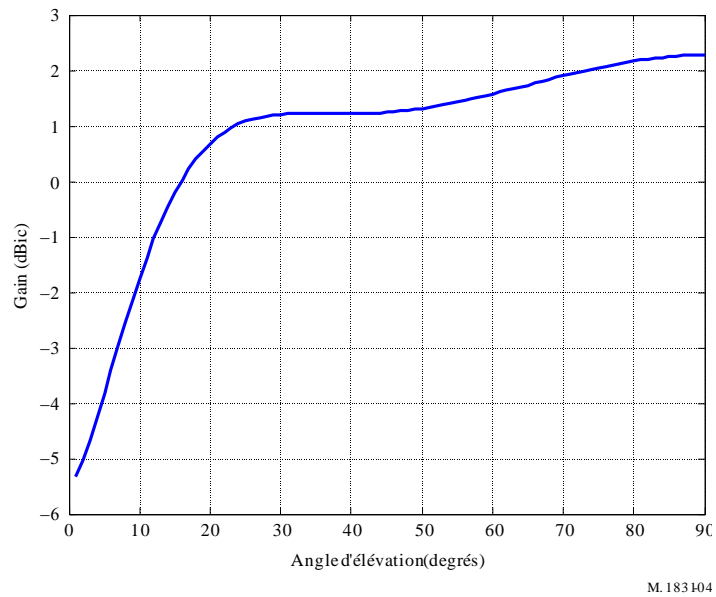
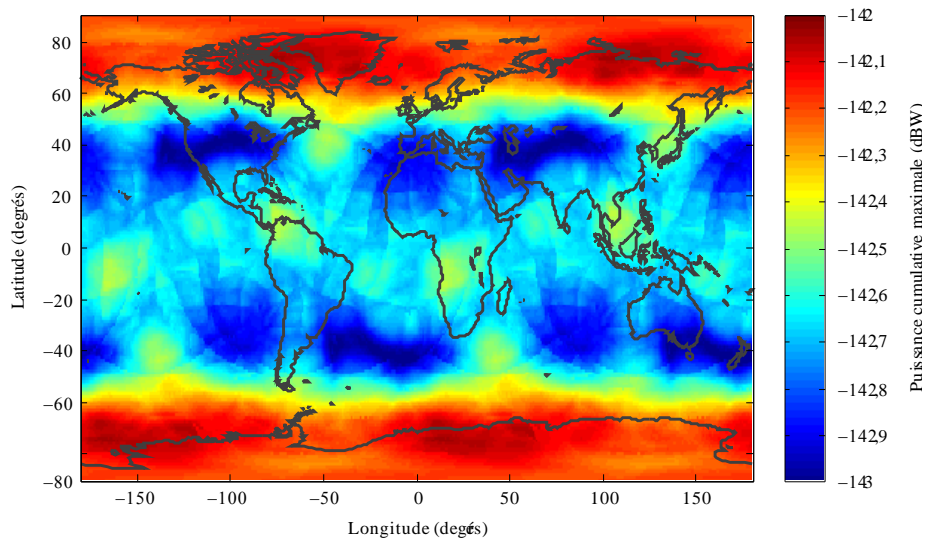


FIGURE 5

Exemple de puissance cumulative maximale à la surface de la Terre sur une période de 24 h



M.1831-05

5 Exemple hypothétique d'application de la méthode

5.1 Evaluation des niveaux de brouillage

Un exemple hypothétique est donné dans le Tableau 2 pour illustrer comment on pourrait appliquer la méthode dans une analyse des brouillages causés par un autre système du SRNS. On notera que les valeurs utilisées ne sont données qu'à titre illustratif et devront être coordonnées dans le cadre de discussions.

TABLEAU 2

Exemple hypothétique de l'effet des brouillages entre plusieurs systèmes (brouillages causés par un système B aux systèmes combinés A et SBAS)

Densité spectrale de puissance de bruit équivalente du système de référence: N_0 + autobrouillage du système de référence, I_{ref} , imputable au bruit thermique et à d'autres signaux de la constellation de référence (système A)	
Puissance maximale du signal 1 (dBW)	-157,50
Puissance maximale du signal 2 (dBW)	-160,50
Puissance maximale du signal 3 (dBW)	-157,50
Affaiblissement de traitement pour le signal brouilleur (dB)	1,00
Facteur de gain cumulatif, G^{agg} (dB)	12,00
Coefficient de séparation spectrale, β (dB/Hz)	
<i>Entre le signal 1 et le signal 1⁽¹⁾</i>	
	-61,80
<i>Entre le signal 2 et le signal 1</i>	
	-70,00
<i>Entre le signal 3 et le signal 1</i>	
	-67,90
Densité de bruit thermique, N_0 (dB(W/Hz))	-201,50 ⁽²⁾
I_{ref} (dB(W/Hz)) ⁽³⁾	-207,09
$N_0 + I_{ref}$ (dB(W/Hz))	-200,44

TABLEAU 2 (*fin*)

Densité spectrale de puissance de bruit effective entre plusieurs systèmes: $N_0 + I_{ref}$ + brouillage SRNS en dehors du brouillage causé par les systèmes A et B, I_{rem}, imputable au bruit thermique, à d'autres signaux de la constellation de référence (système A), et au signal SBAS brouilleur, mais sans signal 0 du système B	
Puissance maximale du signal SBAS (dBW)	-160,50
Facteur de gain cumulatif du signal SBAS, G^{agg} (dB)	7,70
Coefficient de séparation spectrale, β (dB/Hz)	
<i>Entre le signal SBAS du système A et le signal 1</i>	
	-61,80
Affaiblissement de traitement pour les signaux brouilleurs (dB)	1,00
I_{rem} (dB(W/Hz)) ⁽³⁾	-215,60
$N_0 + I_{ref} + I_{rem}$ (dB(W/Hz))	-200,31
Densité spectrale de puissance de bruit effective totale du système: $N_0 + I_{ref} + I_{rem}$ + brouillage externe non SRNS, I_{ext}, imputable au bruit thermique et à d'autres signaux de la constellation de référence (système A), au signal SBAS brouilleur, et au brouillage externe non SRNS mais sans signal 0 du système B	
I_{ext} (dB(W/Hz))	-206,50
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (dB(W/Hz))	-199,37
Densité spectrale de puissance de bruit effective totale entre systèmes: $N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ + brouillage du système B, I_{alt}, imputable au bruit thermique et à tous les signaux SRNS brouilleurs et au brouillage externe	
Puissance maximale du signal 0 (dBW)	-154,00
Facteur de gain cumulatif du système B, G^{agg} (dB)	12,00
Coefficient de séparation spectrale, β (dB/Hz)	
<i>Entre le signal 0 et le signal 1</i>	
	-67,80
Affaiblissement de traitement pour les signaux brouilleurs (dB)	1,00
I_{alt} (dB(W/Hz)) ⁽³⁾	-210,80
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (dB(W/Hz))	-199,07

(1) Cette valeur est basée sur l'équation (2); il s'agit d'une approximation, qui n'est pas nécessairement représentative de tous les récepteurs utilisant des codes PRN.

(2) Cette valeur est une valeur type qui n'est pas nécessairement représentative des récepteurs à faible bruit.

(3) Dans cet exemple, les valeurs I_{ref} , I_{rem} et I_{alt} ont été évaluées au moyen du facteur G^{agg} . Elles représentent donc des valeurs limites supérieures.

Dans l'exemple considéré, le signal 1 du système A est le signal utile et le système A est le «système de référence». Tous les autres signaux du système A, autres que le signal 1 utile, sont considérés comme des sources de brouillage, ce qui est normalement le cas étant donné que chaque type de signal devrait être examiné de façon indépendante. Ainsi, le signal 1 utile subit aussi un autobrouillage imputable à d'autres transmissions du signal 1 et au brouillage à l'intérieur du système A causé par d'autres signaux de ce système. Dans l'exemple considéré, les autres signaux du système A sont le signal 2 et le signal 3 et chaque signal brouilleur du système A a son propre coefficient de séparation spectrale.

Le facteur de gain cumulatif du système A, G^{agg} (12,0 dB ou 7,7 dB pour le brouillage du système A-SBAS), tient compte du diagramme de gain de l'antenne du récepteur du système A et du diagramme de gain de l'émetteur du système A et il est rapporté à la puissance des signaux brouilleurs reçus qui dépasse, pour 99,99% de tous les cas, la puissance de brouillage maximale d'un seul satellite du système de référence. (Le pourcentage effectif fait l'objet d'une coordination.) On notera que la

densité spectrale de puissance de bruit globale est de $-201,50$ dB(W/Hz) avant de tenir compte du brouillage à l'intérieur d'un même système mais qu'elle est de $-200,44$ dB (W/Hz) après en avoir tenu compte.

Dans le calcul, les «systèmes restants» sont représentés par un seul réseau SBAS du SRNS. (Dans la pratique, plusieurs systèmes et réseaux du SRNS seraient normalement inclus.) Le bruit externe est supposé être la somme des bruits de toutes les sources de brouillage ne fonctionnant pas dans le SRNS et une densité spectrale de puissance de $-206,5$ dB(W/Hz) lui est affectée. Le brouillage global du système de référence, du système restant et du bruit externe est alors de $-199,37$ dB/Hz (hypothèse).

Le système B est alors pris en compte dans le calcul du brouillage comme «autre système» et le signal 0 de ce système est alors pris en compte dans le calcul du brouillage pour le signal 1 du système A. Le facteur de gain cumulatif du système B est supposé être le même que celui utilisé pour le système A. (Dans la pratique, les gains cumulatifs seraient différents étant donné que la constellation ne sera pas la même.) Le résultat final, indiqué dans le Tableau 2, fait apparaître, pour cet exemple hypothétique, que le signal 0 du système B fait augmenter la densité spectrale de puissance du bruit de fond totale du récepteur, qui s'établit à $-199,07$ dB(W/Hz).

5.2 Evaluation des rapports porteuse/bruit effectifs et de la dégradation correspondante

Pour illustrer comment la méthode s'appliquerait dans une analyse de la variation du rapport C/N_0 effectif imputable à un autre système du SRNS, on poursuit ici avec l'exemple hypothétique du paragraphe précédent (voir le Tableau 3). Comme dans le paragraphe précédent, les valeurs utilisées ne sont données qu'à titre d'illustration et elles doivent être coordonnées dans le cadre de discussions. On notera que le rapport C/N_0 est de $36,00$ dB/Hz pour le signal 1 du système A avant de tenir compte du brouillage à l'intérieur d'un même système mais qu'il est de $33,87$ dB/Hz une fois tenu compte de tous les brouillages, exception faite du signal 0 du système B.

Le signal 0 provenant du système B («autre système») est alors pris en compte dans le calcul des brouillages, afin de calculer le nouveau rapport C/N_0 pour le signal 1 du système A. Le résultat final, présenté dans le Tableau 3, fait apparaître, pour cet exemple hypothétique, que le signal 0 du système B fait baisser le rapport C/N_0 du système A (signal 1), qui s'établit à $33,57$ dB/Hz.

TABLEAU 3

Exemple hypothétique de la diminution du rapport C/N_0 due à un brouillage entre plusieurs systèmes (brouillage causé par le système B aux systèmes A et SBAS combinés)

Rapport de densité effective porteuse/bruit du signal (signal 1 du système A), C/N_0 (dB/Hz), dû au bruit thermique, N_0	
Puissance minimale du signal 1 (dBW)	-158,50
Affaiblissement de traitement du signal utile (dB)	2,50
Gain minimal de l'antenne du récepteur (dBi)	-4,50
Puissance du signal utile C (dBW)	-165,50
Densité de bruit thermique, N_0 (dB(W/Hz))	-201,50 ⁽¹⁾
C/N_0 (dB/Hz)	36,00
Rapport de densité effective C/N_0 (dB/Hz): $N_0 + I_{ref}$ + brouillage SBAS, I_{rem} + brouillage externe non SRNS, I_{ext}	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (dB(W/Hz)) ⁽²⁾	-199,37
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext})$ (dB/Hz)	33,87
Rapport de densité effective C/N_0 entre systèmes (dB/Hz): $N_0 + I_{ref} + I_{rem}$, + I_{ext} + brouillage du signal 0 du signal B, I_{alt}	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (dB(W/Hz))	-199,07
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt})$ (dB/Hz)	33,57

⁽¹⁾ Cette valeur est une valeur type qui n'est pas nécessairement représentative des récepteurs à faible bruit.

⁽²⁾ Dans cet exemple, les valeurs I_{ref} , I_{rem} et I_{alt} ont été évaluées au moyen du facteur G^{agg} . Elles représentent donc des valeurs limites supérieures.

En plus des calculs des rapports porteuse/bruit effectifs, on peut aussi utiliser d'autres mesures basées sur le rapport de densité effective C/N'_0 . On peut par exemple calculer l'effet du brouillage causé spécifiquement par le signal 0 du système B. Pour ce faire, les paramètres I_{rem} et I_{ext} sont mis à zéro: par conséquent, on tient compte uniquement du brouillage à l'intérieur d'un même système, I_{ref} , du système de référence, pour calculer la dégradation donnée par l'équation (10) et exprimée par $\Delta(C/N'_0)$. Cette valeur de la dégradation est comparée à un seuil de dégradation de C/N'_0 . Un calcul est donné dans le Tableau 4 à titre d'exemple.

$$\Delta\left(\frac{C}{N'_0}\right) = \frac{\left(\frac{C}{N_0 + I_{ref}}\right)}{\left(\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{alt}}\right)} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref}} \quad (10)$$

TABLEAU 4

**Exemple hypothétique de l'effet du brouillage entre plusieurs systèmes
(brouillage causé au système A par un système B)**

Densité spectrale de puissance de bruit effective du système de référence:		
Puissance maximale du signal 1 (dBW)	-157,50	
Puissance maximale du signal 2 (dBW)	-160,50	
Puissance maximale du signal 3 (dBW)	-157,50	
Affaiblissement de traitement pour le signal brouilleur (dB)	1,00	
Facteur de gain cumulatif, G^{agg} (dB)	12,00	
Coefficient de séparation spectrale, β (dB/Hz):		
<i>Entre le signal 1 et le signal 1⁽¹⁾</i>		
-61,80		
<i>Entre le signal 2 et le signal 1</i>		
-70,00		
<i>Entre le signal 3 et le signal 1</i>		
-67,90		
Densité de bruit thermique, N_0 (dBW/Hz)	-201,50 ⁽²⁾	-204,00 ⁽³⁾
I_{ref} (dBW/Hz) ⁽⁴⁾	-207,09	
$N_0 + I_{ref}$ (dBW/Hz)	-200,44	-202,27
Densité spectrale de puissance de bruit totale effective entre plusieurs systèmes:		
Puissance maximale du signal 0 (dBW)	-154,00	
Facteur de gain cumulatif du système B, G^{agg} (dB)	12,00	
Coefficient de séparation spectrale, β (dB/Hz):		
<i>Entre le signal 0 et le signal 1</i>		
-67,80		
Affaiblissement de traitement pour les signaux brouilleurs (dB)	1,00	
I_{alt} (dBW/Hz) ⁽⁴⁾	-210,80	
Dégradation de C / N'_0 déterminée par l'équation (10) (dB)	0,38	0,57

(1) Cette valeur est basée sur l'approximation de l'équation (2), qui n'est pas nécessairement représentative de tous les récepteurs utilisant des codes PRN courts.

(2) Cette valeur une valeur type qui n'est pas nécessairement représentative des récepteurs à faible bruit.

(3) Cette valeur est une valeur type des récepteurs à faible bruit.

(4) Dans cet exemple, les valeurs I_{ref} , I_{rem} et I_{alt} ont été évaluées au moyen du facteur G^{agg} . Elles représentent donc des valeurs limites supérieures.

La dégradation maximale acceptable de C / N'_0 peut dépendre de l'interopérabilité ou non de l'autre système avec le système de référence. Dans le cas de systèmes interopérables, le seuil de dégradation de C / N'_0 peut être plus élevé que celui pour des systèmes non interopérables. La contribution de bruit d'un autre système non interopérable, I_{alt} , peut être modifiée pour tenir compte des propriétés spécifiques de corrélation interne des codes entre plusieurs systèmes. Dans le cas considéré, I_{alt} pourrait être remplacé par $I'_{alt} = \alpha \cdot I_{alt}$ où $\alpha \geq 1$.

Un autre exemple consiste à calculer la dégradation de C/N'_0 à partir de l'expression donnée ci-après dans l'équation (11):

$$\Delta\left(\frac{C}{N'_0}\right) = \frac{\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}}}{\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}}} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}} \quad (11)$$

En utilisant l'équation (11) et les paramètres du Tableau 3, la dégradation de C/N'_0 est calculée comme étant égale à 0,3 dB.

6 Caractéristiques et modélisation du spectre des signaux du SRNS à code court

Dans le modèle analytique décrit ci-dessus, le spectre des signaux reçus est approximé par un spectre composite dans lequel les structures fines des spectres des différents signaux sont moyennées en un spectre essentiellement continu. Cette modélisation au moyen d'un «spectre continu» convient pour des signaux du SRNS ayant des codes PRN longs³. Les codes PRN peuvent aussi avoir des structures fines supplémentaires, par exemple des codes superposés ou une modulation de données à un débit plus élevé, qui élargissent effectivement les raies spectrales de base du code PRN, de manière à constituer un spectre presque continu pour un signal donné. Dans ce cas, le décalage Doppler entre les différents signaux a un effet négligeable sur l'évaluation de l'ensemble des brouillages.

Ce modèle ne convient pas toutefois pour l'analyse des codes PRN courts⁴ dans un système du SRNS ou entre des systèmes du SRNS. Dans ces cas, une modélisation dynamique est nécessaire pour tenir compte des propriétés de modulation détaillées des signaux, par exemple le débit de données ou les caractéristiques du code PRN, ainsi que le décalage de fréquence dû à l'effet Doppler relatif et la puissance relative du signal reçu.

6.1 Exemple de spectre d'un code PRN court d'un signal du SRNS

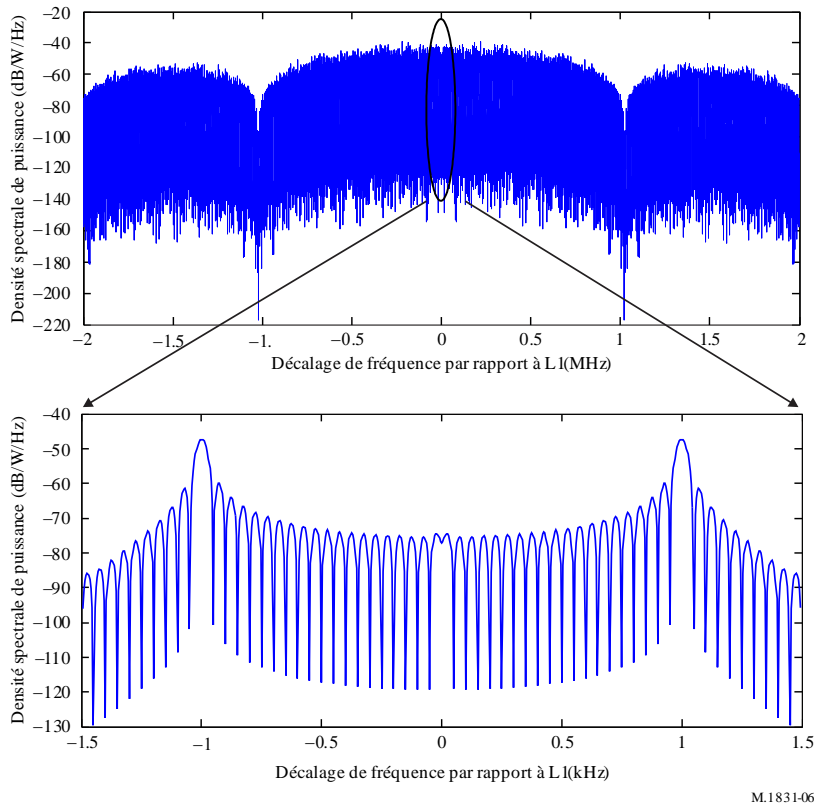
Les spectres des codes PRN courts sont caractérisés par une enveloppe nominale et une structure à raies discrètes primaires. Cette structure discrète est une séquence de raies spectrales qui ont des niveaux déterminés par les caractéristiques particulières du code, y compris le débit d'éléments et la longueur du code. Lorsque le signal du code PRN est modulé par des données, les raies spectrales primaires sont effectivement élargies par les données. La Figure 6 présente un exemple de spectre d'un signal à code PRN court avec un faible débit de modulation des données.

³ Les codes PRN longs comprennent, par exemple, les codes Galileo E1-B et E1-C (Recommandation UIT-R M.1787-2, Annexe 3, Tableau 3-1) et les codes GPS L1C (Recommandation UIT-R M.1787-2, Annexe 2, Tableau 2-1).

⁴ Le code GPS L1 C/A (Recommandation UIT-R M.1787-2, Annexe 2, Tableau 2-1) constitue un exemple de code PRN court. Pour ce type de code PRN, le coefficient de séparation spectrale ne peut pas être calculé à l'aide de l'approximation de l'équation (2) lorsque les durées d'intégration sont supérieures à 1 msec, ce qui est le cas pour les récepteurs à code PRN court.

FIGURE 6

Exemple de densité spectrale de puissance d'un code PRN court (normalisée à une puissance totale de 1 W)



M.1831-06

La partie supérieure de la Figure 6 représente la partie centrale de 4 MHz du spectre correspondant à l'exemple d'un code PRN court modulé par des données à 50 bit/s (qui, dans cet exemple, font l'objet d'une approximation par des données aléatoires). La partie intérieure de 3 kHz de ce spectre est agrandie afin d'illustrer les effets d'élargissement de la modulation des données sur les raies discrètes primaires du code PRN (espacement des raies de 1 kHz = $1/(\text{période du code})$). La forme de l'enveloppe de ce spectre correspond approximativement à $\sin^2(\pi f T_{\text{Chip}})/(\pi f T_{\text{Chip}})^2$, avec une valeur de crête de $-47,1$ dBW/Hz et des zéros aux multiples de 1,023 MHz (le débit d'éléments = $1/T_{\text{Chip}}$) à partir de la fréquence centrale.

Il convient de noter l'importance du décalage de fréquence dû à l'effet Doppler relatif pour ce qui est des incidences en termes de brouillages. Dans le cas du code PRN court pris en exemple, ces incidences sont minimales si le décalage dû à l'effet Doppler relatif entre le signal brouilleur et le signal utile est un multiple impair de 0,5 kHz. Elles tendent à être maximales si le décalage dû à l'effet Doppler relatif est nul ou s'il s'agit d'un petit entier multiple de 1 kHz.

6.2 Aspects généraux de la modélisation dynamique détaillée pour les codes PRN courts de signaux du SRNS

Le récepteur de l'utilisateur est supposé être un récepteur de Terre implanté en un lieu fixe, déterminé par simulation comme étant le lieu correspondant au cas le plus défavorable pour la dégradation de (C/N_0) . Le décalage Doppler entre le signal utile et les signaux brouilleurs doit être pris en compte dans ce modèle. Les puissances reçues ainsi que les décalages Doppler imputables au déplacement du satellite sont calculées à partir de bilans de liaison dynamiques fondés sur les paramètres orbitaux des différents systèmes, les diagrammes de gain de l'antenne du satellite et de l'antenne de la station d'utilisateur ainsi que sur l'emplacement du récepteur de l'utilisateur.

En plus du décalage dû à l'effet Doppler, il peut être convenu de tenir compte d'autres facteurs lors de la coordination pour déterminer le niveau d'autobrouillage causé par les signaux à code court.

7 Conclusion

La méthode d'analyse décrite ci-dessus s'est avérée être utile pour les études de compatibilité entre des systèmes du SRNS et elle sera donc utile pour la coordination entre les systèmes du SRNS. Les principes sont certes simples mais on a besoin d'un modèle réaliste de tous les systèmes du SRNS pour obtenir des résultats utiles. En outre, étant donné que le SRNS a des systèmes non géostationnaires, une simulation sera vraisemblablement nécessaire pour déterminer les statistiques de brouillage entre systèmes.

Annexe 2

Information et élaboration de propositions pour évaluer le brouillage externe du SRNS et les brouillages entre plusieurs systèmes du SRNS

La méthode décrite dans la présente Annexe permet de déterminer comment le bilan de brouillage SRNS peut être ventilé entre sources externes (non SRNS) et sources SRNS pour les besoins de la coordination entre les opérateurs de systèmes du SRNS. Par ailleurs, quelques considérations sont fournies concernant la coordination entre les systèmes du SRNS.

1 Composantes du brouillage SRNS

Dans la méthode décrite dans l'Annexe 1, on utilise une valeur totale pour le brouillage externe (causé par des sources autres que les systèmes du SRNS), I_{ext} , qui est traité comme du bruit blanc additif. Les modalités de détermination de cette valeur font l'objet d'une coordination. Il peut donc s'agir simplement d'une valeur acceptée comme représentative par les parties effectuant la coordination ou cette valeur peut être calculée selon la méthode décrite dans la présente Annexe pour déterminer un niveau acceptable pour ce qui est du brouillage externe et du brouillage du SRNS. La méthode dans laquelle on utilise une valeur supposée unique pour le brouillage externe est appelée «méthode globale». La méthode examinée dans la présente Annexe, selon laquelle le bilan de brouillage est ventilé entre les différentes sources de brouillage est appelée «méthode de partage» et elle est examinée en détail dans le paragraphe ci-après.

2 Brouillage du SRNS: la méthode dite «de partage»

Dans cette méthode, le brouillage causé par un système brouilleur du SRNS (ou même un satellite brouilleur) au récepteur d'un autre système utile du SRNS est ventilé et la méthode est dite «de partage».

Elle consiste à déterminer la part d'un système du SRNS (ou d'un satellite) dans le niveau total (global) de brouillage acceptable et à la comparer au brouillage calculé pour ce système (ou ce satellite) du SRNS. Considérons un système du SRNS hypothétique qui peut fonctionner avec le niveau de brouillage acceptable I_a , puis décomposons cette valeur en parts de brouillage:

$$I_a = \sigma_{SRNS} \cdot I_a + \sigma_{ext1} \cdot I_a + \sigma_{ext2} \cdot I_a$$

où:

σ_{SRNS} : part du brouillage acceptable imputable à l'ensemble des systèmes du SRNS

σ_{ext1} : part du brouillage acceptable imputable à tous les services primaires autres que le SRNS

- σ_{ext2} : part du brouillage acceptable imputable à toutes les autres sources externes de brouillage et de bruit
- I_a : niveau acceptable de densité spectrale de puissance équivalente de brouillage causé par tous les autres services (W/Hz)

$$\sigma_{SRNS} + \sigma_{ext1} + \sigma_{ext2} = 1$$

Si σ_{SRNS} est la part de brouillage acceptable imputable à l'ensemble des systèmes du SRNS, la part de brouillage acceptable imputable à un satellite d'un système de «référence» du SRNS, σ_{ref} , s'écrit comme suit:

$$\sigma_{ref} = \sigma_{SRNS} / N$$

où:

- σ_{ref} : part du brouillage acceptable imputable à un satellite du SRNS
- σ_{SRNS} : part du brouillage acceptable imputable à l'ensemble des systèmes du SRNS
- N : où, comme estimation prudente pour des constellations non GSO du SRNS qui ne tient pas compte des diagrammes de gain de l'antenne de l'émetteur et de l'antenne du récepteur, on fixe $N = \max\{N_{max}^S, M_{ref}^S / 2\}$, N_{max}^S étant le nombre maximum de satellites visibles et M_{ref}^S le nombre total de satellites de la constellation de référence.

A noter également que le brouillage non SRNS acceptable total est $I_{ext} = \sigma_{ext1} \cdot I_a + \sigma_{ext2} \cdot I_a$.

On peut appliquer une méthode similaire à d'autres services; par exemple le service fixe par satellite utilise un plan de partage de ce type.

Le principal problème de cette méthode est qu'au départ il faut déterminer la part de brouillage acceptable imputable aux différents services et systèmes et non le niveau seuil du brouillage cumulatif. Une part acceptable du brouillage imputable à chaque service doit être étudiée et déterminée à l'avance.

Les parts de brouillage ci-après pourraient être considérées comme un exemple: $\sigma_{SRNS} = 0,89$ pour le SRNS, $\sigma_{ext1} = 0,1$ pour les services primaires autres que le SRNS et $\sigma_{ext2} = 0,01$ pour des sources de brouillage autres que le SRNS.

Annexe 3

Indications concernant la coordination entre les systèmes du SRNS

La présente Annexe donne quelques indications sur les questions générales relatives aux critères et à la méthode de coordination, auxquelles doit réfléchir tout opérateur d'un système du SRNS qui doit coordonner le système qu'il prévoit d'exploiter avec d'autres systèmes du SRNS.

1 Quels systèmes du SRNS doivent être pris en compte dans les calculs?

Selon les règles de l'UIT, les systèmes du SRNS pour lesquels la coordination doit être effectuée avec tout nouveau système du SRNS qu'il est envisagé d'exploiter sont ceux pour lesquels les fiches de notification correspondantes soumises à l'UIT font apparaître un chevauchement de fréquence et pour lesquels les demandes de coordination (ou les renseignements de notification pour les systèmes non géostationnaires soumis avant le 1er janvier 2005) ont été reçues par le Bureau des radiocommunications avant ceux du nouveau système qu'il est envisagé d'exploiter. Tous ces systèmes devront peut-être être pris en compte dans les calculs s'ils sont effectivement déployés.

Les dernières versions des Recommandations UIT-R donnent des informations sur certains systèmes du SRNS qui ont été notifiés à l'UIT-R. Conformément à la Résolution 610 (CMR-03) intitulée «*Coordination et règlement bilatéral des problèmes de compatibilité technique pour les réseaux et systèmes du service de radionavigation par satellite dans les bandes 1164-1300 MHz, 1559-1610 MHz et 5010-5030 MHz*», les administrations peuvent, pendant le processus de coordination, échanger des informations sur l'évolution du déploiement des systèmes du SRNS que l'on envisage d'exploiter. Ces informations peuvent permettre de préciser si un système particulier du SRNS, avec lequel la coordination doit être effectuée, doit être pris en compte dans les calculs. Plus précisément, le point 1 du *décide* de ladite Résolution précise qu'une administration qui a notifié un système ou un réseau du SRNS dans les bandes considérées doit, à la demande de l'administration qui répond, faire savoir à cette dernière (avec copie au Bureau) si elle a respecté les critères énumérés dans l'Annexe de la Résolution 610 (CMR-03).

Les critères visés sont notamment les suivants:

- i) soumission des renseignements appropriés pour la publication anticipée;
- ii) éléments attestant clairement l'existence d'un accord contraignant relatif à la construction ou à l'achat des satellites du système ou éléments attestant l'existence d'arrangements garantissant le financement du système; et
- iii) éléments attestant clairement l'existence d'un accord contraignant relatif au lancement des satellites.

2 Lorsque les réseaux notifiés doivent être pris en compte, dans quel ordre devraient-ils l'être (en fonction de la date de la demande de coordination ou selon d'autres critères)?

Conformément aux points 1, 2, 3 et 4 du *décide* de la Résolution 610 (CMR-03), il faut d'abord commencer par régler les problèmes de compatibilité entre systèmes, pour les systèmes qui respectent les critères de l'Annexe de ladite Résolution. Les administrations peuvent effectuer la coordination entre plus de deux systèmes dans un ordre qui est indépendant des dates de soumission des notifications des différents systèmes, selon les impératifs de la situation. Les administrations peuvent aussi convenir de coordonner les critères de brouillage.

Dans les cas où la coordination entre plusieurs systèmes au titre de la Section II de l'Article 9 du RR fait intervenir plus de deux systèmes du SRNS, il peut être utile d'examiner les problèmes qui se posent pendant des réunions multilatérales auxquelles participent toutes les parties et pas uniquement pendant les réunions bilatérales des deux administrations concernées.

En effet, par exemple, si l'on envisage d'exploiter les systèmes A, B et C dans une bande donnée située à l'intérieur d'une attribution du SRNS, sans qu'il soit nécessaire d'effectuer la coordination du système B avec le système A, le système C devant effectuer la coordination avec les systèmes A et B, les accords qu'auraient pu conclure B et C devront peut-être individuellement tenir compte de tout accord éventuel entre A et B ou entre A et C.

3 Quand la coordination doit-elle être entreprise et quelles caractéristiques doivent être utilisées?

Les caractéristiques à utiliser au départ pour un système particulier sont celles indiquées dans les notifications soumises à l'UIT. Les calculs des brouillages entre systèmes devraient toutefois être fondés sur les caractéristiques réelles des systèmes que les administrations échangeront pendant le processus de coordination. Les caractéristiques à fournir pour les calculs sont habituellement plus détaillées que les caractéristiques fondamentales figurant dans la notification correspondante soumise à l'UIT et elles doivent être compatibles avec l'enveloppe de caractéristiques définie dans cette notification.

4 Comment le paramètre I_{ext} dont il est question dans les Annexes 1 et 2 peut-il être évalué?

Le brouillage causé par d'autres services, I_{ext} , a, dans certains cas, été pris en compte dans une recommandation sur la qualité de fonctionnement. En d'autres termes, lorsqu'un système du SRNS est désigné, certaines quantités de brouillage causé par d'autres services coprimaires exploités dans la même bande doivent être prises en compte, dans une mesure qui varie d'une bande à une autre. Dans certains cas, des limites réglementaires fondées sur des études sont imposées aux autres services fonctionnant dans la même bande. Ces limites peuvent, par exemple, être des limites de p.i.r.e. imposées aux services de Terre. Toutefois, étant donné que le terminal d'utilisateur du SRNS est un terminal mobile, il conviendrait de tenir compte de l'augmentation globale du brouillage dans la bande causé par toutes les sources.

Selon les méthodes proposées dans les Annexes 1 et 2, le brouillage causé par des services autres que le SRNS est modélisé comme une source de bruit caractérisée par une valeur constante de la densité spectrale de puissance de bruit équivalente, I_{ext} . Ce paramètre, censé tenir compte de toutes les sources radioélectriques en dehors du SRNS, peut englober le brouillage dans la bande et hors bande d'autres services radioélectriques. Comme indiqué dans l'Annexe 1, cette méthode est tout indiquée pour modéliser des sources de brouillage large bande externe continue mais il faut définir d'autres méthodes pour le brouillage à bande étroite et le brouillage par impulsions.

Pour déterminer la valeur de I_{ext} , il faut établir un bilan de toutes les attributions de fréquence ou sur fréquence adjacente dans lesquelles un système source de brouillage important peut fonctionner et obtenir des informations techniques sur les systèmes exploités dans ces attributions afin d'estimer le niveau type de chacune de ces sources. On trouvera des indications par exemple dans des normes ou dans des Recommandations ou des Rapports UIT-R. Le niveau de I_{ext} peut être fonction de l'emplacement envisagé pour l'utilisateur du système de référence, étant donné que certains systèmes ne peuvent être exploités que dans certains pays ou dans certaines régions.