

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.2030 (12/2012)

Méthode d'évaluation du brouillage par impulsions causé par des sources radioélectriques pertinentes autres que celles du service de radionavigation par satellite aux systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite fonctionnant dans les bandes 1 64-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz

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, 2014

© UIT 2014

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.2030

Méthode d'évaluation du brouillage par impulsions causé par des sources radioélectriques pertinentes 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

(Questions UIT-R 217-2/4 et UIT-R 288/4)

(2012)

Domaine d'application

La présente Recommandation propose une méthode à utiliser pour l'évaluation initiale du brouillage par impulsions¹ que des sources radioélectriques pertinentes² autres que celles du service de radionavigation par satellite (SRNS) sont susceptibles de causer à un système ou réseau du SRNS fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz. Cette méthode repose sur un ensemble d'équations ainsi qu'un tableau contenant des paramètres recommandés et des rapports de dégradation admissibles³ pour chaque bande de fréquences et chaque type de récepteur du SRNS. Bien que les équations de la méthode d'évaluation soient applicables aux récepteurs du SRNS fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz, il conviendrait de réaliser des études supplémentaires afin d'établir le tableau des paramètres recommandés et des rapports de dégradation admissibles, pour cette bande de fréquences, avant de définir intégralement la méthode d'évaluation pour la bande 1 559-1 610 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 localisation, de navigation et de synchronisation, y compris d'informations sur les aspects de sécurité pour certaines bandes de fréquences, dans certaines circonstances et pour certaines applications;
- b) que les émetteurs radioélectriques produisent généralement un certain niveau de rayonnement hors bande en fonction des conditions dans lesquelles ils sont utilisés;
- c) que l'Appendice 3 du Règlement des radiocommunications (RR) spécifie les puissances maximales admissibles des rayonnements non essentiels, mais signale par ailleurs que, dans certains cas, ces niveaux risquent de ne pas assurer une protection adéquate des stations de réception des services spatiaux et qu'il conviendrait sans doute d'envisager l'adoption de niveaux plus stricts dans chaque cas particulier, compte tenu de l'emplacement géographique des stations concernées, et que par ailleurs ces niveaux peuvent ne pas s'appliquer aux systèmes utilisant des techniques de modulation numérique;

¹ L'adjectif «pertinentes» renvoie aux sources radioélectriques qui émettent des impulsions radioélectriques ou qui génèrent des impulsions radioélectriques équivalentes au niveau du récepteur du SRNS par d'autres moyens tels que, par exemple, l'utilisation d'un faisceau d'antenne à balayage.

² La Recommandation UIT-R M.1318-1 donne une méthode d'analyse des sources de brouillages continus.

³ Voir le § 3 de l'Annexe 1 pour une description du rapport de dégradation et le § 4 de l'Annexe 1 pour des précisions sur les valeurs du rapport de dégradation admissible.

- d) 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, de plus, attribuées à titre primaire ou à titre secondaire à d'autres services que le SRNS;
- e) que les émissions d'autres systèmes et réseaux du SRNS, et d'autres services et sources dans les bandes attribuées au SRNS, ainsi que les rayonnements non désirés, risquent de provoquer un brouillage des récepteurs du système ou du réseau du SRNS, et qu'ils devraient être inclus dans une évaluation des brouillages;
- f) que des travaux complémentaires sont nécessaires en vue de définir de manière adéquate les caractéristiques des effets que les brouillages dus aux émissions des sources radioélectriques à impulsions fonctionnant dans les bandes 1 559-1 610 MHz et 5 010-5 030 MHz ou à proximité de ces bandes ont sur les récepteurs du SRNS,

notant

- a) que plusieurs Recommandations UIT-R fournissent des données techniques et des critères de protection concernant l'exploitation des systèmes et réseaux du SRNS;
- b) que la Recommandation UIT-R RS.1347 donne elle aussi une méthode d'évaluation du brouillage par impulsions causé aux récepteurs du SRNS par des radars à synthèse d'ouverture et présente des résultats de tests de mesure effectués dans la bande de 1 215-1 300 MHz;
- c) que le Rapport UIT-R M.2220 donne une méthode pour calculer certains paramètres utilisés dans la présente Recommandation, ainsi que des illustrations et des exemples,

reconnaissant

que le numéro 4.5 du RR dispose que «la fréquence assignée à une station d'un service donné doit être suffisamment éloignée des limites de la bande attribuée à ce service, de telle sorte que, compte tenu de la bande de fréquences assignée à la station, des brouillages préjudiciables ne soient pas causés aux services auxquels sont attribuées les bandes adjacentes»,

recommande

- 1** que la méthode d'analyse décrite dans l'Annexe 1 de la présente Recommandation soit utilisée pour l'évaluation préliminaire des brouillages par impulsions que des sources radioélectriques pertinentes autres que celles du SRNS sont susceptibles de causer à un système ou réseau du SRNS fonctionnant dans la bande 1 164-1 215 MHz ou 1 215-1 300 MHz;
- 2** que, si ce modèle met en évidence un risque de brouillage par impulsions susceptible d'altérer la capacité de fonctionnement des systèmes ou réseaux du SRNS, une analyse plus détaillée soit alors entreprise;
- 3** que des études soient entreprises en vue de définir les paramètres à prendre en considération dans la méthode analytique utilisée pour l'évaluation préliminaire du brouillage par impulsions que des sources radioélectriques pertinentes autres que celles du SRNS sont susceptibles de causer à un système ou réseau du SRNS fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz (voir Note).

NOTE – Les équations de la méthode analytique figurant dans l'Annexe 1 s'appliquent pour la bande 1 559-1 610 MHz.

Annexe 1

Méthode analytique utilisée pour l'évaluation préliminaire du brouillage par impulsions que des sources radioélectriques pertinentes autres que celles du SRNS sont susceptibles de causer à un système ou réseau du SRNS fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz

1 Introduction

La Recommandation UIT-R M.1318-1 donne un modèle d'évaluation des brouillages radioélectriques continus⁴ (RFI) causés aux récepteurs du SRNS, mais l'UIT-R a reconnu par ailleurs qu'il était nécessaire d'étudier le brouillage radioélectrique par impulsions. La présente Annexe s'appuie sur des concepts élémentaires pour définir une méthode d'évaluation générale du brouillage radioélectrique par impulsions à utiliser pour les récepteurs du SRNS. Le Rapport UIT-R M.2220 contient des informations générales et une méthode pour calculer les paramètres de brouillage par impulsions composite utilisés pour l'évaluation des brouillages. La section 2 ci-après donne des informations générales et présente les équations permettant de calculer la dégradation due au brouillage radioélectrique pour deux types classiques de récepteurs du SRNS. La section 3 montre comment utiliser ces équations pour évaluer les incidences d'un brouillage radioélectrique par impulsions additionnel. Enfin, la section 4 recense les paramètres de base des méthodes de calcul du brouillage recommandés et les rapports de dégradation admissibles pour l'évaluation du brouillage par impulsions.

2 Caractérisation des effets du brouillage radioélectrique par impulsions sur les récepteurs du SRNS

Des études menées par deux organisations de normalisation du secteur aéronautique⁵ montrent que les niveaux de brouillage radioélectrique par impulsions les plus élevés affectant les récepteurs de navigation aérienne du SRNS fonctionnant dans la bande 1 164-1 215 MHz et au niveau de vol 200 ou au-dessus de ce niveau (6 096 m au-dessus du niveau moyen de la mer) se produisent dans plusieurs régions du monde bien localisées. Ces études ont permis d'établir, d'une part, un modèle de méthode générale pour le traitement des signaux d'un récepteur du SRNS utilisé pour atténuer un brouillage radioélectrique par impulsions élevé et, d'autre part, une équation associée⁶ permettant d'exprimer le niveau de dégradation par rapport au niveau mesuré de la qualité du signal après corrélation ($C/N_{0,EFF}$) pour ce récepteur. Une étude⁷ a par ailleurs permis d'élaborer une équation analogue pour calculer la dégradation que subissent les récepteurs conventionnels en l'absence de mesures particulières d'atténuation du brouillage radioélectrique par impulsions. Ces deux équations portent sur le brouillage radioélectrique continu associé au brouillage radioélectrique par impulsions.

⁴ L'expression «brouillages continus» désigne ici des brouillages provenant de sources d'une puissance relativement constante généralement présents en permanence. Ces brouillages se distinguent des brouillages par impulsions, qui doivent faire l'objet d'une analyse distincte en fonction de la durée des impulsions, de la puissance de crête et du facteur d'utilisation.

⁵ RTCA, siège aux Etats-Unis d'Amérique et EUROCAE en Europe.

⁶ RTCA SC-159, «Evaluation du brouillage radioélectrique pour le système GNSS bande de fréquences L5/E5A», RTCA Document N° RTCA/DO-292, Washington, DC, 29 juillet 2004, Section 2.6.2.3.

⁷ *ibid* RTCA/DO-292, Appendice D.2.2.

A ce titre, elles peuvent être utiles pour déterminer les critères de protection contre le brouillage radioélectrique et pour analyser les effets de tout nouveau brouillage radioélectrique par impulsions ou continu venant s'ajouter à un cas de référence. Les sections 2.1 et 2.2 ci-après présentent en détail les équations permettant de calculer la dégradation due au brouillage radioélectrique.

2.1 Méthode de calcul de la densité de bruit équivalente (suppression des impulsions au niveau du récepteur)

Les supprimeurs d'impulsions offrent une solution efficace pour atténuer un brouillage radioélectrique par impulsions fort dans, par exemple, un récepteur de radionavigation aéronautique. Lorsqu'on utilise un supprimeur, les signaux de brouillage radioélectrique par impulsions dont le niveau de puissance de crête est inférieur au seuil défini dans le supprimeur (seuil de suppression) se combinent au bruit du récepteur et aux composantes non supprimées du brouillage radioélectrique continu. En revanche, le supprimeur élimine le signal et le bruit dans les corrélateurs pendant la durée des impulsions dont le niveau de puissance est supérieur au seuil de suppression. L'équation présentée ci-après permet d'estimer la densité bruit-plus-brouillage équivalente ($N_{0,EFF}$) à la sortie des corrélateurs de signaux due au supprimeur d'impulsions. Cette équation de calcul de $N_{0,EFF}$ est très générale et peut être appliquée à tous les environnements de brouillage radioélectrique pour un récepteur du SRNS, car les variables utilisées dans l'équation permettent de quantifier l'environnement de brouillage radioélectrique à mesure qu'il évolue. La densité bruit-plus-brouillage équivalente après corrélation, $N_{0,EFF}$, est définie comme suit:

$$N_{0,EFF} = \frac{N_0}{(1 - PDC_B)} \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right) \quad (1)$$

où:

$$R_I = \left(\frac{1}{N_0 \times BW} \right) \sum_{i=1}^N P_i \times dc_i \quad (2)$$

Dans les équations ci-dessus:

- R_I : rapport de densité de puissance après corrélation entre la valeur moyenne du brouillage radioélectrique par impulsions cumulatif total inférieur au seuil de suppression et le bruit thermique du récepteur (rapport sans unité)
- PDC_B : (facteur d'utilisation des impulsions du supprimeur) facteur d'utilisation cumulatif net de toutes les impulsions supérieures au seuil de suppression (fraction sans unité)
- N_0 : densité spectrale de puissance du bruit thermique du système du récepteur du SRNS en W/Hz (= kT_{sys})
- $I_{0,WB}$: densité spectrale de puissance totale du brouillage radioélectrique continu équivalent large bande (W/Hz) pour l'application du récepteur du SRNS considérée⁸
- BW : largeur de bande RF/FI avant corrélation (Hz)
- P_i : puissance de crête reçue (W) de la i -ème source d'impulsion (par rapport à la sortie de l'antenne) dont le niveau de crête est inférieur au seuil de suppression
- dc_i : facteur d'utilisation (fraction sans unité) de la i -ème source d'impulsion inférieure au seuil de suppression

⁸ Voir le Rapport UIT-R M.2220 pour des précisions sur ce paramètre.

N : nombre total d'émetteurs qui génèrent des impulsions reçues dont le niveau de crête est inférieur au seuil de suppression.

Comme il est indiqué ci-dessus, $N_{0,EFF}$ combine tous les effets du brouillage radioélectrique par impulsions sur la densité de bruit thermique, la densité de brouillage radioélectrique continu large bande et l'affaiblissement du signal du SRNS⁹. Tous les paramètres concernant le bruit et le brouillage dans les équations (1) et (2) sont définis par rapport aux terminaux d'antennes passives des systèmes de réception. Veuillez noter que dans l'équation (1), lorsqu'il n'y a pas de brouillage radioélectrique par impulsions (c'est-à-dire lorsque R_I et $PDC_B = 0$), l'équation utilisée pour calculer $N_{0,EFF}$ est ramenée à l'équation plus simple utilisée dans les analyses de brouillage radioélectrique continu causé au SRNS ($N_{0,EFF} = N_0 + I_{0,WB}$).

Le paramètre de brouillage radioélectrique cumulatif par impulsions, PDC_B , est défini à partir des composantes des différents systèmes d'émetteurs à impulsions hétérogènes «a», «b» et «c» comme indiqué ci-après:

$$PDC_B = 1 - (1 - PDC_a)(1 - PDC_b)(1 - PDC_c) \quad (3)$$

où:

- PDC_a : facteur d'utilisation des impulsions supérieures au seuil de suppression pour les impulsions du système «a» (par exemple, équipement de mesure des distances/système de navigation aérienne tactique (DME/TACAN))
- PDC_b : facteur d'utilisation des impulsions supérieures au seuil de suppression pour les impulsions du système «b» (par exemple, système de communication, de navigation et d'identification (CNI)); et
- PDC_c : facteur d'utilisation des impulsions supérieures au seuil de suppression pour les impulsions du système «c» (par exemple, service de radionavigation aéronautique /contrôle du trafic aérien (SRNA/ATC)).

Pour chaque source distincte, i , d'un système, x , le facteur d'utilisation des impulsions supérieures au seuil de suppression $PDC_{x,i}$ est calculé d'une manière générale avec la formule suivante:

$$PDC_{x,i} = (PW_{x,i} + \tau_{REC}) \cdot PRF_{x,i} \quad (3a)$$

où:

- $PW_{x,i}$: largeur(s) équivalente(s) de l'impulsion supérieure au seuil de suppression
- τ_{REC} : temps de rétablissement après surcharge du récepteur; et
- $PRF_{x,i}$: fréquence de répétition de l'impulsion (Hz).

Le paramètre de brouillage radioélectrique cumulatif par impulsions R_I est défini à partir des composantes des différents systèmes d'émetteurs à impulsions hétérogènes «a», «b» et «c» comme indiqué ci-après:

$$R_I = R_a + R_b + R_c \quad (4)$$

où R_a , R_b et R_c sont les rapports de densité entre le signal inférieur au seuil de suppression et le bruit du récepteur pour les systèmes «a», «b» et «c» respectivement.

Ces rapports sont calculés qu'il y ait ou non d'autres impulsions se chevauchant dans le temps émises par les différentes sources de brouillage radioélectrique par impulsions. Le facteur d'utilisation des impulsions d'une source donnée, j , d'un système, y , pour les impulsions reçues inférieures au seuil de suppression $dc_{y,j}$, est défini comme suit:

⁹ Voir le Rapport UIT-R M.2220 pour des précisions $N_{0,EFF}$.

$$dc_{y,j} = PW_{y,j} \cdot PRF_{y,j} \quad (4a)$$

où les termes de la partie droite de l'équation sont définis de manière analogue à ceux de la formule (3a), à ceci près qu'ils concernent les caractéristiques des impulsions inférieures au seuil de suppression.

2.2 Calcul de la densité de bruit équivalente (saturation du récepteur par les impulsions)

Certains récepteurs du SRNS fonctionnant dans les bandes du SRNS dans, par exemple, des applications au sol ne subiront peut-être pas d'importants brouillages radioélectriques par impulsions à l'intérieur de la bande ou dans une bande adjacente, comme en subissent les récepteurs de navigation aérienne ou les récepteurs analogues. De ce fait, ils ne sont pas nécessairement dotés d'un dispositif de suppression des impulsions comme décrit au § 2.1 ci-dessus, et peuvent être validés, pendant un bref moment, par des impulsions de brouillage radioélectrique produites par une source proche. La présence d'un brouillage radioélectrique par impulsions entraîne une baisse de la quantité de brouillage radioélectrique continu que le récepteur du SRNS peut tolérer. Il est possible de quantifier les effets conjugués du brouillage radioélectrique par impulsions et du brouillage radioélectrique continu pour un récepteur du SRNS en état de saturation en définissant une densité spectrale de puissance de bruit équivalente après corrélation, $N_{0,EFF}$, comme suit:

$$N_{0,EFF} = \frac{N_0 \cdot \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I\right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 \cdot PDC_{LIM}}{(1 - PDC_{LIM})}\right)}{(1 - PDC_{LIM})} \quad (5)$$

où:

- N_0 : densité spectrale de puissance de bruit thermique dans le système de réception en W/Hz (= kT_{SYS})
- $I_{0,WB}$: densité spectrale de puissance totale du brouillage radioélectrique continu équivalent large bande (W/Hz)
- PDC_{LIM} : facteur d'utilisation relatif cumulatif des impulsions de brouillage radioélectrique au niveau de saturation (sans unité)
- R_I : rapport (sans unité) entre la valeur moyenne de la densité de puissance du brouillage radioélectrique par impulsions au-dessous du niveau cumulatif de saturation et N_0 ; et
- N_{LIM} : rapport (sans unité) entre le niveau de saturation analogique/numérique (A/D) du récepteur et la tension de bruit à 1σ établi par un contrôle automatique du gain (AGC).

Tous les termes se rapportant au bruit et au brouillage dans l'équation (5) sont définis par rapport aux terminaux des antennes passives des systèmes de réception. Le paramètre N_{LIM} , qui concerne le récepteur, est déterminé par la mise en œuvre de la conversion analogique-numérique. Dans le cas le plus simple d'un récepteur du SRNS à limitation stricte (avec un quantificateur «1 bit»), $N_{LIM} =$ unité. Etant donné que, dans ce cas, le récepteur limite le bruit, le paramètre relatif au brouillage radioélectrique R_I est normalement égal à zéro. Dans des cas plus généraux, R_I se rapporte au niveau de saturation analogique-numérique du récepteur ainsi qu'à la puissance de crête et au facteur d'utilisation des impulsions de brouillage radioélectrique au-dessous du niveau de saturation qui sont définis de la même manière que dans l'équation (2). Comme dans l'équation (1), les termes PDC_{LIM} et R_I représentent les valeurs cumulatives des sources de brouillage radioélectrique par impulsions considérées. Il faut en outre noter que lorsqu'il n'y a pas de brouillage radioélectrique par impulsions,

les paramètres, PDC_{LIM} et R_I relatifs au brouillage radioélectrique sont égaux à zéro et l'équation (5) est réduite à $N_{0,EFF} = N_0 + I_{0,WB}$, ce qui correspond à la définition couramment utilisée pour les analyses du brouillage radioélectrique continu.

Le facteur d'utilisation, au niveau de saturation, des impulsions d'une source donnée, $PDC_{LIM,j}$, qui constitue le facteur d'utilisation cumulatif, est défini de la manière que pour l'équation (3a), sauf en ce qui concerne le niveau de saturation à l'entrée du récepteur (dont une approximation est donnée par le niveau de compression à l'entrée du récepteur présenté dans le tableau). Le facteur d'utilisation au-dessous du niveau de saturation pour une source donnée est défini de la même manière que pour l'équation (4a).

Avec une valeur maximale $N_{0,EFF}$ et l'ensemble de paramètres se rapportant au brouillage radioélectrique par impulsions, l'équation (5) peut être résolue pour la densité spectrale de puissance large bande continue cumulative admissible pour la composante du brouillage qui ne concerne pas le SRNS.

2.3 Limites d'utilisation pour les équations de calcul de la densité spectrale de puissance de bruit équivalente ($N_{0,EFF}$)

Il a été démontré que, lorsque la valeur de la durée des impulsions de brouillage radioélectrique est comprise entre 0,1 et 1 000 microsecondes, les équations définissant $N_{0,EFF}$ décrites dans les § 2.1 et 2.2 ci-dessus représentent correctement l'effet du brouillage radioélectrique par impulsions sur les récepteurs du SRNS en mode poursuite dans les bandes 1 164-1 215 MHz et 1 215-1 300 MHz. Dans le cas de certains récepteurs du SRNS fonctionnant en mode acquisition, les équations représentent également correctement l'effet du brouillage radioélectrique par impulsions pour ce même éventail de valeurs de durées des impulsions de brouillage radioélectrique, à condition que les facteurs d'utilisation des impulsions associés restent modérés.

Dans le cas de certains récepteurs du SRNS fonctionnant en mode acquisition avec un temps d'intégration court (environ 1-2 ms), les équations présentées dans les § 2.1 et 2.2 risquent de ne pas représenter correctement l'effet du brouillage radioélectrique par impulsions pour ce même éventail de valeurs des durées des impulsions de brouillage radioélectrique lorsque les facteurs d'utilisation des impulsions sont élevés (y compris dans la bande 1 559-1 610 MHz). Il faut par conséquent procéder à un complément d'étude pour déterminer les limites d'utilisation lorsque les facteurs d'utilisation sont élevés et que les impulsions de brouillage sont longues, et vérifier les prédictions obtenues grâce aux équations.

3 Concepts utilisés dans la méthode d'évaluation du brouillage radioélectrique par impulsions

Les effets combinés du brouillage radioélectrique par impulsions et du brouillage radioélectrique continu sur deux types classiques de récepteurs du SRNS sont décrits au § 2 ci-dessus. L'effet conjugué du brouillage radioélectrique est rendu sous la forme d'une densité spectrale de puissance bruit-plus-brouillage équivalente, $N_{0,EFF}$, pour le récepteur du SRNS. Le brouillage radioélectrique reçu se caractérise par les trois paramètres relatifs aux sources radioélectriques décrits ci-dessus (paramètres relatifs aux impulsions, PDC et R_I , et paramètre relatif au brouillage continu, $(I_{0,WB}/N_0)$). Comme indiqué dans les définitions ci-dessus, le terme $I_{0,WB}$, est utilisé pour représenter la densité spectrale de puissance de brouillage radioélectrique continu équivalente large bande totale présente au niveau de l'antenne de réception du SRNS. Afin de rendre les analyses de brouillage radioélectrique par impulsions les moins complexes possibles, on présume que le terme $I_{0,WB}$ est une valeur fixe représentant la condition de référence.

Certaines caractéristiques techniques des récepteurs ont également une incidence directe (par exemple la densité spectrale de puissance de bruit thermique du système de réception N_0) et indirecte. Il est

possible de déterminer l'effet d'un brouillage radioélectrique par impulsions venant s'ajouter à un cas de référence prédéfini sous la forme d'un rapport entre le paramètre $N_{0,EFF}$ pour la nouvelle source considérée, $N_{0,EFF-New}$, et la valeur de référence de $N_{0,EFF}$.

3.1 Brouillage radioélectrique par impulsions additionnel pour un récepteur du SRNS à suppression d'impulsions (cas 1)

Définir la valeur de référence pour $N_{0,EFF}$ (en partant de l'hypothèse que le brouillage radioélectrique par impulsions n'est pas égal à zéro) en utilisant les équations (1) et (2) comme suit:

$$N_{0,EFF} = \frac{N_0}{(1-PDC_B)} \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right) \text{ avec } R_I = \left(\frac{1}{N_0 \times BW} \right) \sum_{i=1}^N P_i \times dc_i$$

où, d'après les équations (3) et (4), $(1-PDC_B) = (1-PDC_a)(1-PDC_b)(1-PDC_c)$ et $R_I = R_a + R_b + R_c$ produits par les groupes de sources d'impulsions de référence a, b, et c.

Si l'on introduit une source d'impulsions (ou un groupe de sources) supplémentaire Y, alors par extension:

$$(1-PDC_{B+Y}) = (1-PDC_a)(1-PDC_b)(1-PDC_c)(1-PDC_Y) = (1-PDC_B)(1-PDC_Y) \text{ et} \\ R_{I+Y} = R_a + R_b + R_c + R_Y = R_I + R_Y$$

En outre, par analogie,

$$N_{0,EFF+Y} = \frac{N_0}{(1-PDC_{B+Y})} \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_{I+Y} \right)$$

La dégradation due au brouillage radioélectrique par rapport au cas de référence peut être calculée comme étant le rapport $\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}}$:

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{(1-PDC_B) \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I + R_Y \right)}{(1-PDC_{B+Y}) \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right)} = \frac{1}{(1-PDC_Y)} \left[1 + \frac{R_Y}{\left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I \right)} \right] \quad (6)$$

Il est à noter que l'on estime les paramètres PDC_Y et R_Y en utilisant le niveau de compression à l'entrée du récepteur du SRNS comme point de référence de puissance (limite supérieure du seuil de suppression). Pour calculer le facteur d'utilisation des impulsions supérieures au seuil de suppression (PDC_Y), on utilise le temps de rétablissement après surcharge du récepteur décrit pour l'équation (3a).

3.2 Brouillage radioélectrique par impulsions additionnel pour un récepteur du SRNS en état de saturation (cas 2)

3.2.1 Récepteur du SRNS en état de saturation – Cas de référence où le brouillage radioélectrique par impulsions n'est pas égal à zéro (cas 2a)

Dans ce sous-cas, on part de l'hypothèse que le brouillage radioélectrique par impulsions est présent dans l'environnement de référence (en d'autres termes, les valeurs de référence pour PDC et/ou $R_I > 0$). Si l'on introduit un groupe de sources d'impulsions de saturation supplémentaires Y, les nouveaux paramètres de brouillage radioélectrique par impulsions composite causé au SRNS, PDC_{LIM+Y} et R_{I+Y} , peuvent être définis de la même manière que pour le cas 1, comme suit:

$$(1-PDC_{LIM+Y}) = (1-PDC_{LIM})(1-PDC_Y) \text{ et } R_{I+Y} = R_I + R_Y$$

où PDC_{LIM} et R_I représentent les paramètres de brouillage radioélectrique par impulsions dans l'environnement de référence et PDC_Y et R_Y représentent les paramètres de brouillage radioélectrique par impulsions causé par le groupe de sources supplémentaires. Comme pour le cas 1, le rapport de dégradation est alors défini par extension grâce à l'équation (5) comme suit:

$$\begin{aligned} \frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} &= \frac{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_{I+Y}\right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 PDC_{LIM+Y}}{(1-PDC_{LIM+Y})}\right) (1-PDC_{LIM})}{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I\right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 PDC_{LIM}}{(1-PDC_{LIM})}\right) (1-PDC_{LIM+Y})} \\ &= \frac{1}{(1-PDC_Y)} \left[1 + \frac{R_Y}{\left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_I\right)}\right] \left[1 + \frac{N_{LIM}^2 PDC_Y}{(1-PDC_Y) \left[1 + PDC_{LIM} (N_{LIM}^2 - 1)\right]}\right] \end{aligned} \quad (7)$$

Si en plus, le récepteur du SRNS est à limitation stricte, $N_{LIM} = 1$ et $R_I = R_Y \cong 0$, alors le rapport de dégradation est simplifié comme suit:

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{1}{(1-PDC_Y)^2} \quad (7a)$$

3.2.2 Récepteur du SRNS en état de saturation – Cas de référence où le brouillage radioélectrique par impulsions est égal à zéro (cas 2b)

Dans le sous-cas où l'on part de l'hypothèse qu'il n'y a pas de brouillage radioélectrique par impulsions dans l'environnement de référence (en d'autres termes, les valeurs de référence pour PDC et $R_I = 0$) et que l'on introduit un groupe de sources d'impulsions de saturation Y (paramètres relatifs au brouillage radioélectrique par impulsions PDC_Y et R_Y), alors le rapport de dégradation est défini comme suit:

$$\begin{aligned} \frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} &= \frac{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0} + R_Y\right) \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 \cdot PDC_Y}{(1-PDC_Y)}\right)}{N_0 \left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0}\right) (1-PDC_Y)} \\ &= \frac{1}{(1-PDC_Y)} \left[1 + \frac{R_Y}{\left(1 + \frac{I_{0,WB}}{N_0}\right)}\right] \left(1 + \frac{N_{LIM}^2 \cdot PDC_Y}{(1-PDC_Y)}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

Si en plus, le récepteur est à limitation stricte, $N_{LIM} = 1$ et $R_Y \cong 0$, alors le rapport de dégradation devient identique à l'équation (7a), à savoir:

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{1}{(1-PDC_Y)^2}$$

4 Rapports de dégradation admissibles et paramètres associés dans la méthode d'évaluation

Le Tableau 1 donne des paramètres de référence et des rapports de dégradation admissibles¹⁰ à utiliser pour procéder à une évaluation préliminaire du brouillage par impulsions que les sources radioélectriques pertinentes autres que celles du SRNS sont susceptibles de causer à un système ou réseau du SRNS fonctionnant dans la bande 1 164-1 215 MHz. Les types de récepteurs du SRNS figurant dans le Tableau sont tirés de la Recommandation UIT-R M.1905. Si l'analyse de la source de brouillage par impulsions additionnel montre que le rapport de dégradation en dB ($10 \log_{10}(N_{0,EFF+Y}/N_{0,EFF})$) est supérieur au rapport de dégradation admissible pour un type de récepteurs du SRNS figurant dans le Tableau 1, il faudra alors peut-être procéder à une analyse plus détaillée des incidences du brouillage par impulsions additionnel pour déterminer si ce brouillage additionnel est ou n'est pas acceptable pour le récepteur du SRNS affecté. Les paramètres de référence donnés pour la méthode d'évaluation du brouillage radioélectrique par impulsions, PDC et R_I , et le paramètre relatif au brouillage radioélectrique continu, $I_{0,WB}/N_0$, doivent être utilisés dans l'équation de calcul du rapport de dégradation appropriée (équation 6 pour les récepteurs du SRNS à suppression d'impulsions ($N_{LIM}=0$), ou équation 7, 7a, ou 8 pour les récepteurs du SRNS en état de saturation ($N_{LIM} \geq 1$)). Les paramètres relatifs aux impulsions de la nouvelle source (ou du nouveau groupe de sources) de brouillage radioélectrique par impulsions dans les équations de calcul de la dégradation peuvent être calculés selon une méthode décrite dans le Rapport UIT-R M.2220.

TABLEAU 1

Paramètres de référence utilisés dans la méthode d'évaluation du brouillage radioélectrique par impulsions et rapports de dégradation admissibles pour les récepteurs du SRNS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 164-1 215 MHz*

Type de récepteur	N_{LIM} (sans unité) (Note 4)	PDC de référence (sans unité)	R_I de référence (sans unité)	Rapport $I_{0,WB}/N_0$ de référence (sans unité)	Rapport de dégradation admissible pour les sources de brouillage par impulsions (dB) (Notes 2, 3)
Récepteur de navigation aérienne N° 1 (AMRC) (Notes 1, 5)	0	0,6527	0,9628	1,0551	0,1
Récepteur de navigation aérienne N° 2 (AMRF) (Notes 1, 5)	1	0,6527	0,9628	0,455	0,1
Haute précision (AMRC) (Note 5)	2	0,0941	0	0,5012	0,2

¹⁰ Le rapport de dégradation admissible est la limite supérieure de l'effet du brouillage radioélectrique des nouvelles sources d'impulsion prévues qui ne figurent pas dans le cas de brouillage radioélectrique de référence. Il est déterminé à partir de l'examen du brouillage radioélectrique total, y compris des paramètres de référence, que le récepteur peut tolérer tout en conservant la qualité de fonctionnement requise.

TABLEAU 1 (*fin*)

Type de récepteur	N_{LIM} (sans unité) (Note 4)	PDC de référence (sans unité)	R_I de référence (sans unité)	Rapport $I_{0,WB}/N_0$ de référence (sans unité)	Rapport de dégradation admissible pour les sources de brouillage par impulsions (dB) (Notes 2, 3)
Haute précision (AMRF) (Note 5)	2	0,0941	0	0,5012	0,2

* Les valeurs des paramètres pour d'autres types de récepteurs du SRNS n'ont pas encore été définies. Les équations de calcul du rapport de dégradation données au § 3 de la présente Annexe peuvent être utilisées pour prédire la nature générale des effets du brouillage par impulsions sur les récepteurs du SRNS pour lesquels aucun paramètre n'est donné.

NOTE 1 – Les paramètres de référence donnés se rapportent à un scénario sensible (Amérique, altitude élevée) qui comprend des sources d'impulsions DME/TACAN, CNI et SRNA/ATC existantes. La limite de dégradation s'applique à l'effet causé par une nouvelle source ou un nouveau groupe de sources de brouillage par impulsions ne relevant pas d'un service aéronautique.

NOTE 2 – Les rayonnements non désirés produits par des sources de brouillage continu, auxquels la Recommandation UIT-R M.1318 s'applique, n'auront pas d'incidence sur les rapports de dégradation admissibles pour les sources de brouillage par impulsions.

NOTE 3 – Le rapport de dégradation admissible pour les nouvelles sources de brouillage par impulsions qui ne sont pas prévues dans le scénario de brouillage radioélectrique de référence exige un examen des effets cumulés que de multiples sources de brouillage par impulsions qui illuminent simultanément un récepteur du SRNS ont sur le récepteur en question.

NOTE 4 – La valeur de N_{LIM} pour un récepteur à suppression d'impulsions est égale à zéro.

NOTE 5 – Sur la base d'un temps de rétablissement après surcharge de 1 microseconde.

Le Tableau 2 donne les mêmes paramètres pour la bande 1 215-1 300 MHz. Les types de récepteurs du SRNS figurant dans le Tableau sont tirés de la Recommandations UIT-R M.1902. Comme dans le cas du Tableau 1, les paramètres de référence relatifs au brouillage radioélectrique par impulsions, PDC et R_I , et le paramètre relatif au brouillage radioélectrique continu, $I_{0,WB}/N_0$, doivent être utilisés dans l'équation de calcul du rapport de dégradation appropriée (équation 6 pour les récepteurs du SRNS à suppression d'impulsions ($N_{LIM} = 0$), ou équation 7, 7a, ou 8 pour les récepteurs du SRNS en état de saturation ($N_{LIM} \geq 1$)). On compare le rapport de dégradation effectif obtenu avec l'équation avec la valeur du rapport de dégradation admissible donnée dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Paramètres de référence utilisés dans la méthode d'évaluation du brouillage radioélectrique par impulsions et rapports de dégradation admissibles pour les récepteurs du SRNS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 215-1 300 MHz*

Type de récepteur	N_{LIM} (sans unité) (Note 1)	PDC de référence (sans unité) (Note 2)	R_f de référence (sans unité) (Note 2)	Rapport $I_{0,WB}/N_0$ de référence (sans unité)	Rapport de dégradation admissible pour les sources de brouillage par impulsions (dB) (Note 3)
Récepteur de référence au sol SBAS ¹¹	1	0,0793 (Note 4)	0	0,3925	0,2
Récepteur de haute précision à code partiel	2	0,0765 (Note 4)	0	0,3983	0,2
Récepteur de navigation aérienne (AMRF)	1	0,1327 (Note 4)	0	0,455	0,1
Récepteur de navigation aérienne (AMRF)	1	0,1723 (Note 5)	0	0,455	0,1

* Les valeurs des paramètres pour d'autres types de récepteurs du SRNS n'ont pas encore été définies. Les équations de calcul du rapport de dégradation données au § 3 de la présente Annexe peuvent être utilisées pour prédire la nature générale des effets du brouillage par impulsions sur les récepteurs du SRNS pour lesquels aucun paramètre n'est donné.

NOTE 1 – La valeur de N_{LIM} pour un récepteur à suppression d'impulsions est égale à zéro.

NOTE 2 – On considère que les paramètres des sources de brouillage par impulsions de référence donnés dans ce Tableau correspondent aux valeurs pour le scénario le plus défavorable. On s'attend à ce que, dans la plupart des environnements réels, il puisse y avoir différents types de sources de brouillage par impulsions ayant chacune des valeurs de PDC inférieures et que, par conséquent, le PDC du brouillage par impulsions cumulatif de référence soit inférieur à celui donné dans le Tableau. Il conviendrait de tenir compte de ces conditions réelles lorsqu'on effectue l'analyse détaillée demandée au point 2 du recommande.

NOTE 3 – Le rapport de dégradation admissible pour les nouvelles sources de brouillage par impulsions qui ne sont pas prévues dans le scénario de brouillage radioélectrique de référence exige un examen des effets cumulés que de multiples sources de brouillage par impulsions qui illuminent simultanément un récepteur du SRNS ont sur le récepteur en question.

NOTE 4 – Sur la base d'un temps de rétablissement après surcharge de 1 microseconde.

NOTE 5 – Sur la base d'un temps de rétablissement après surcharge de 30 microsecondes.

Les équations de calcul du rapport de dégradation données au § 3 de la présente Annexe peuvent également être utilisées pour prédire la nature générale des effets du brouillage par impulsions sur les récepteurs du SRNS fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz. En revanche, le tableau des paramètres recommandés pour la méthode d'évaluation et les limites de dégradation admissibles pour la bande 1 559-1 610 MHz, nécessaires pour évaluer les incidences du brouillage par impulsions, restent à définir. Pour ce faire, il est possible de prendre, comme point de départ, la méthode de base décrite dans le Rapport UIT-R M.2220 et de l'adapter pour définir les paramètres de brouillage cumulatif des systèmes radioélectriques à impulsion fonctionnant dans la bande 1 559-1 610 MHz ou à proximité de cette bande, tout en tenant compte des sources de brouillage continu dans cette bande ou à proximité de cette bande.

¹¹ Système complémentaire à satellites (SBAS).

Annexe 2

Exemples d'application de la méthode d'évaluation analytique du brouillage radioélectrique par impulsions

La présente Annexe donne deux exemples d'application de la méthode d'évaluation analytique décrite dans l'Annexe 1 pour déterminer les incidences du brouillage par impulsions produit par la même nouvelle source de brouillage radioélectrique par impulsions sur deux types de récepteurs du SRNS différents fonctionnant dans la bande 1 215-1 300 MHz.

1 Description du cas d'exploitation des récepteurs du SRNS de référence

On présume que les deux types de récepteurs du SRNS, un récepteur de référence au sol SBAS et plusieurs récepteurs de haute précision à code partiel (bande 1 215-1 300 MHz) fonctionnent normalement à proximité d'un système radar à impulsions unique. On suppose que ce radar produit des signaux à impulsions dans les bandes passantes des filtres avant corrélateur des deux types de récepteurs et que ces signaux saturent totalement les récepteurs. Comme indiqué dans la colonne 2 du Tableau 2 de l'Annexe 1, on suppose que le radar de référence produit les facteurs de brouillage radioélectrique par impulsions suivants:

$$PDC = 0,0765,$$

$$R_I = 0.$$

Les paramètres correspondants pour le récepteur de référence au sol SBAS sont:

$$N_{LIM} = 1,0$$

$$\tau_{REC} = 1,0 \mu s.$$

Les paramètres correspondants pour le récepteur de haute précision à code partiel sont:

$$N_{LIM} = 2,0$$

$$\tau_{REC} = 1,0 \mu s.$$

On suppose que chacun d'entre eux fonctionne en présence simultanée de brouillages continus avec un rapport de densité I_0/N_0 tiré du Tableau 2 de l'Annexe 1.

2 Exemples de calcul du rapport de dégradation due au brouillage radioélectrique par impulsions selon la méthode analytique

Il est proposé de rajouter un nouvel émetteur radioélectrique à impulsions dans le cas d'exploitation de référence décrit ci-dessus. On suppose que la puissance de crête reçue est suffisante pour saturer les deux types de récepteurs du SRNS en fonctionnement. Les paramètres des impulsions d'émissions proposés pour la nouvelle source sont les suivants

$$PW_Y = 44,0 \mu s, \text{ et}$$

$$PRF_Y = 500 \text{ Hz.}$$

2.1 Calcul du rapport de dégradation due au brouillage radioélectrique par impulsions pour le récepteur de référence au sol SBAS

Pour le récepteur de référence au sol SBAS, le facteur d'utilisation équivalent de l'impulsion de saturation reçue saturée pour la nouvelle source proposée, PDC_Y , calculé avec l'équation (3a) de l'Annexe 1, est:

$$PDC_Y = (PW_Y + \tau_{REC}) \cdot PRF_Y = (44 + 1.0) \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 0,02250$$

Etant donné que les impulsions émises par la nouvelle source entraînent une saturation complète du récepteur,

$$R_Y = 0$$

Selon le Tableau 2 de l'Annexe 1, pour les récepteurs de référence au sol SBAS, $N_{LIM} = 1$. Etant donné que pour la nouvelle source radioélectrique d'impulsions, $R_Y = 0$, on utilise l'équation (7a) de l'Annexe 1 pour calculer la dégradation due au brouillage radioélectrique par impulsions. Par conséquent,

$$\frac{N_{0,EFF+Y}}{N_{0,EFF}} = \frac{1}{(1 - PDC_Y)^2} = 1/(1 - 0,0225)^2 = \mathbf{1,04657} \text{ (rapport algébrique).}$$

Pour comparer le rapport de dégradation calculé au facteur de dégradation admissible (0,2 dB) donné dans le Tableau 2 de l'Annexe 1, il faut convertir le rapport algébrique en dB:

$$10 \cdot \log_{10}(1,04657) = \mathbf{0,198 \text{ dB}}$$

Par conséquent, la dégradation provoquée par la nouvelle source proposée est légèrement inférieure à la limite de dégradation admissible pour le récepteur de référence au sol SBAS.

2.2 Calcul du rapport de dégradation due au brouillage radioélectrique par impulsions pour le récepteur de haute précision à code partiel

Etant donné que l'on suppose que le récepteur de haute précision à code partiel a le même temps de rétablissement après surcharge (1,0 μ s) que le récepteur de référence au sol SBAS, le facteur d'utilisation des impulsions de saturation reçues pour la nouvelle source est lui aussi le même ($PDC_Y = 0,0225$). Etant donné que le récepteur de haute précision à code partiel ne reçoit aucune impulsion inférieure au niveau de saturation, $R_Y = 0$ également. Le facteur d'utilisation des impulsions de référence, PDC_{LIM} , donné dans le Tableau 2 de l'Annexe 1, est égal à 0,0765. Puisque $N_{LIM} = 2$ pour le récepteur, il faut utiliser l'équation 7 de l'Annexe 1 pour calculer la dégradation due au brouillage radioélectrique par impulsions. Par conséquent, après substitution des valeurs des paramètres PDC_{LIM} , N_{LIM} et R_Y dans l'équation et simplification de l'équation, le rapport de dégradation calculé est:

$$\begin{aligned} N_{0,EFF+Y}/N_{0,EFF} &= \{1/(1-PDC_Y)\} \cdot (1) \cdot \{1+(4 \cdot PDC_Y)/[(1-PDC_Y)(1+3 \cdot PDC_{LIM})]\} \\ &= \{1,02302\} \cdot \{1+[0,090/1,20184]\} = \mathbf{1,09963} \text{ (rapport algébrique)} \end{aligned}$$

La conversion du rapport algébrique en dB donne le résultat suivant:

$$10 \cdot \log_{10}(1,099627) = \mathbf{0,413 \text{ dB}}$$

Par conséquent, la dégradation provoquée par la nouvelle source d'impulsions proposée est supérieure de 0,2 dB à la limite de dégradation admissible pour le récepteur de haute précision à code partiel.