

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R S.1857
(01/2010)

**Méthodes d'estimation des niveaux de
densité de p.i.r.e. hors axe et d'évaluation
du brouillage de satellites adjacents
résultant d'erreurs de pointage de stations
terriennes à bord de véhicules dans la bande
de fréquences des 14 GHz**

Série S
Service fixe par satellite



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

| Séries | Titre |
|------------|--|
| BO | Diffusion par satellite |
| BR | Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision |
| BS | Service de radiodiffusion sonore |
| BT | Service de radiodiffusion télévisuelle |
| F | Service fixe |
| M | Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés |
| P | Propagation des ondes radioélectriques |
| RA | Radio astronomie |
| RS | Systèmes de télédétection |
| S | Service fixe par satellite |
| SA | Applications spatiales et météorologie |
| SF | Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe |
| SM | Gestion du spectre |
| SNG | Reportage d'actualités par satellite |
| TF | Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires |
| V | Vocabulaire et sujets associés |

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2010

© UIT 2010

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R S.1857

Méthodes d'estimation des niveaux de densité de p.i.r.e. hors axe et d'évaluation du brouillage de satellites adjacents résultant d'erreurs de pointage de stations terriennes à bord de véhicules dans la bande de fréquences des 14 GHz

(Question UIT-R 208/4)

(2010)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne les caractéristiques générales des erreurs de pointage des antennes de stations terriennes à bord de véhicules ayant des systèmes actifs de poursuite d'antenne et décrit une méthode d'estimation des statistiques des variations de la p.i.r.e. hors axe dues aux erreurs de pointage. Elle décrit aussi une méthode d'évaluation du risque de brouillage des satellites géostationnaires adjacents fonctionnant dans le cadre de systèmes du SFS.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les satellites géostationnaires du SFS conviennent bien pour la fourniture de services Internet et de transmission de données dans des configurations de réseau très diverses;
- b) que la prise en charge de la mobilité des utilisateurs et de services large bande offerts aux utilisateurs finals fait l'objet d'une demande croissante;
- c) que les stations terriennes à bord de véhicules (VMES) peuvent offrir une large palette de services de communication par le biais de satellites du SFS dans la bande de fréquences des 14 GHz;
- d) qu'il est nécessaire de protéger les réseaux du SFS contre tout brouillage qui risque d'être causé par ces stations VMES;
- e) que l'utilisation d'un modèle de densité de p.i.r.e. hors axe et de brouillage émanant des stations VMES permettra à ces stations d'utiliser efficacement les fréquences et l'orbite des satellites géostationnaires;
- f) que des méthodes statistiques sont nécessaires pour déterminer les niveaux de densité de p.i.r.e. hors axe des stations VMES et le brouillage qu'elles causent aux satellites adjacents;
- g) que les réseaux à satellite utilisant des stations VMES peuvent être conçus de manière à respecter les limites de brouillage requises par les opérateurs de systèmes à satellites adjacents;
- h) qu'il serait utile d'avoir des méthodes permettant d'évaluer les niveaux de brouillage des réseaux à satellite et l'impact sur la disponibilité des liaisons de ces réseaux en ce qui concerne le brouillage résultant des variations des niveaux de densité de p.i.r.e. hors axe des antennes de station VMES dont le diamètre est trop petit pour pouvoir procéder à une évaluation significative à l'aide des méthodes actuellement disponibles,

notant

- a) que les niveaux maximaux admissibles de la densité de p.i.r.e. hors axe des microstations sont donnés dans la Recommandation UIT-R S.728;
- b) que les niveaux maximaux admissibles du brouillage inter-réseaux causé par les émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tous les autres réseaux à satellite fonctionnant dans la même bande de fréquences sont donnés dans la Recommandation UIT-R S.1323,

recommande

- 1 d'utiliser la méthode et le modèle associé figurant dans l'Annexe 1 pour estimer les niveaux de densité de p.i.r.e. hors axe résultant des erreurs de pointage des antennes de station VMES;
- 2 d'utiliser la méthode figurant dans l'Annexe 2 pour évaluer les niveaux de brouillage résultant des variations des niveaux de densité de p.i.r.e. hors axe des stations VMES;
- 3 d'utiliser la méthode figurant dans l'Annexe 2 pour évaluer l'impact sur la disponibilité des liaisons du système brouillé dans les situations où les erreurs de pointage variables dans le temps des antennes de station VMES du type décrit dans la Note 2 ne sont pas négligeables;
- 4 de considérer que les Notes 1 à 5 font partie de la présente Recommandation:

NOTE 1 – La méthode donnée dans l'Annexe 2 peut être utilisée pour évaluer l'impact du brouillage qui risque d'être causé par les stations VMES.

NOTE 2 – Les méthodes décrites dans la présente Recommandation ont été élaborées pour des stations VMES avec une antenne directive de type réflecteur dont le diamètre équivalent est compris entre 0,3 m et 1 m, avec des systèmes de poursuite mécaniques ou électroniques et avec une vitesse de véhicule pouvant aller jusqu'à 100 km/h. Ces méthodes peuvent toutefois être appliquées pour d'autres dimensions d'antenne et d'autres vitesses de véhicule.

NOTE 3 – Les paramètres et les exemples donnés dans les annexes sont représentatifs de certains systèmes qui fonctionnent dans la bande de fréquences des 14 GHz.

NOTE 4 – La méthode décrite dans la présente Recommandation s'applique lorsque le système de poursuite de la station VMES est verrouillé sur son satellite cible.

NOTE 5 – Pour pouvoir utiliser la présente Recommandation, il est nécessaire de connaître les valeurs représentatives de α et de c , utilisées au § 2 de l'Annexe 1.

Annexe 1

Modèle d'estimation des niveaux de densité de p.i.r.e. hors axe résultant des erreurs de pointage des antennes de station VMES

1 Introduction

La demande récente d'applications de communication destinées à être utilisées en déplacement a suscité de l'intérêt pour un nouveau type de terminal associé à un satellite. Ces terminaux, qui sont placés à bord de véhicules, comportent généralement de petites antennes très performantes, des systèmes de poursuite avec servocommande et positionnement ainsi que les équipements FI (fréquence intermédiaire) et RF associés. Les dimensions de l'antenne et autres paramètres de transmission sont choisis de manière à assurer des communications bidirectionnelles dans diverses conditions de relief et d'exploitation. Les terminaux pris en considération dans la présente annexe fonctionneront dans le cadre du SFS dans la bande de fréquences des 14 GHz. Ces terminaux subissent actuellement des tests d'utilisation dans des véhicules terrestres et dans des trains.

Les terminaux à bord de véhicules, dont traite la présente contribution, peuvent causer des brouillages supplémentaires aux satellites adjacents en raison des erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements. Les opérateurs de satellite voudront que ces brouillages soient maintenus à un niveau minimal tandis que les fournisseurs de service voudront concevoir leurs systèmes de telle sorte que les terminaux émettent une puissance suffisante pour prendre en charge les applications

d'utilisateur final à des débits de données raisonnables. La présente annexe tente de résoudre ces demandes conflictuelles, à savoir la nécessité d'émettre une puissance suffisante pour pouvoir prendre en charge des débits de données raisonnables tout en maintenant un niveau de brouillage acceptable pour les opérateurs de satellite.

Dans les applications de communication destinées à être utilisées en déplacement, du fait que la plate-forme d'antenne bouge, des erreurs dans le système de pointage et de poursuite d'antenne peuvent conduire à des erreurs de pointage d'antenne. En règle générale, ces erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements sont faibles et aléatoires, et produisent des variations aléatoires de la densité de p.i.r.e. hors axe. Afin d'évaluer l'impact du brouillage causé aux autres satellites, il est nécessaire de modéliser et de quantifier la densité de p.i.r.e. émanant de ces terminaux.

La présente annexe décrit un modèle statistique permettant d'estimer les niveaux de densité de p.i.r.e. résultant des erreurs de pointage d'antenne et décrit une méthode permettant d'élaborer un exemple de gabarit statistique de la densité de p.i.r.e. dans les directions hors axe. Cet exemple de gabarit statistique repose sur les caractéristiques opérationnelles types des terminaux à bord de véhicules; il peut être utilisé pour limiter les rayonnements hors axe de ces terminaux. Pour une station terrienne associée à un satellite, la densité de p.i.r.e. dans les directions hors de son axe est directement proportionnelle à la densité de p.i.r.e. dans la direction de l'axe de visée¹. La présente annexe fournit une méthode permettant de déterminer les niveaux appropriés de densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée afin de respecter le gabarit statistique donné en exemple.

2 Erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements

Pour certains mouvements de la plate-forme d'antenne, l'axe de visée de l'antenne sera déplacé. L'erreur de pointage d'antenne peut être représentée par une variable aléatoire, ϕ , qui est l'angle entre les directions réelle et voulue de l'axe de visée de l'antenne. Dans la pratique, ce sont souvent les composantes de l'erreur de pointage d'antenne qui sont mesurées, à savoir l'erreur en élévation, ϕ_e , et l'erreur en azimut, ϕ_a . Ces composantes d'erreur peuvent être représentées par des variables aléatoires mutuellement indépendantes dont les distributions statistiques sont estimées par des mesures faites sur des parcours de conduite représentatifs. La fonction de densité de probabilité (PDF) de ϕ_x est désignée par f_{ϕ_x} , où $x = e, a$. A titre d'illustration, il est utile de représenter ces fonctions PDF par des distributions statistiques bien connues. Des mesures en laboratoire d'erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements ont montré que ces erreurs de pointage présentent une caractéristique avec une longue queue, autrement dit la fonction PDF présentera une décroissance lente pour les valeurs élevées de l'erreur de pointage d'antenne. La distribution symétrique α -stable ($S\alpha S$) [Shao et Nikias, 1993; Samorodnitsky et Taqqu, 1994] est un exemple de distribution à longue queue; elle est employée pour représenter, à titre d'illustration, les fonctions PDF des erreurs de pointage d'antenne en élévation et en azimut. La distribution $S\alpha S$ comporte de nombreux paramètres qui peuvent être utilisés pour produire différentes fonctions PDF et la distribution gaussienne est un cas particulier. La fonction caractéristique de la distribution $S\alpha S$ avec le paramètre de position égal à zéro est donnée par:

$$\psi(x) = e^{-|cx|^\alpha} \quad (1)$$

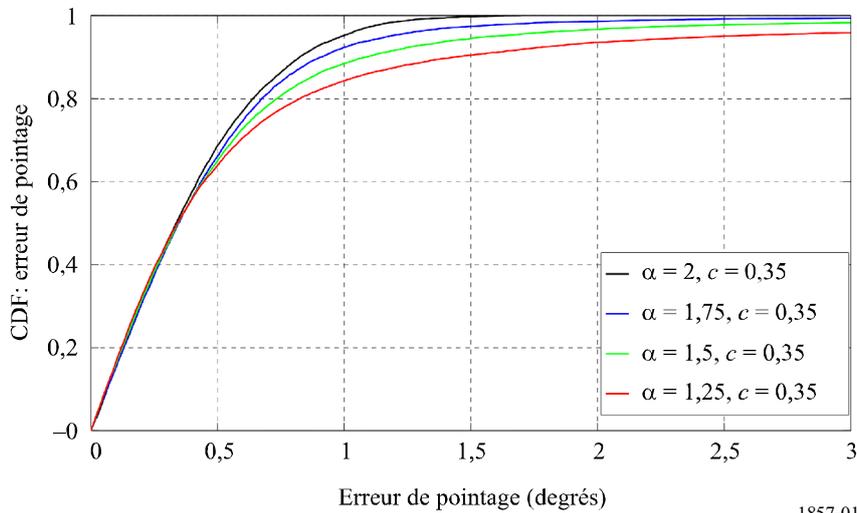
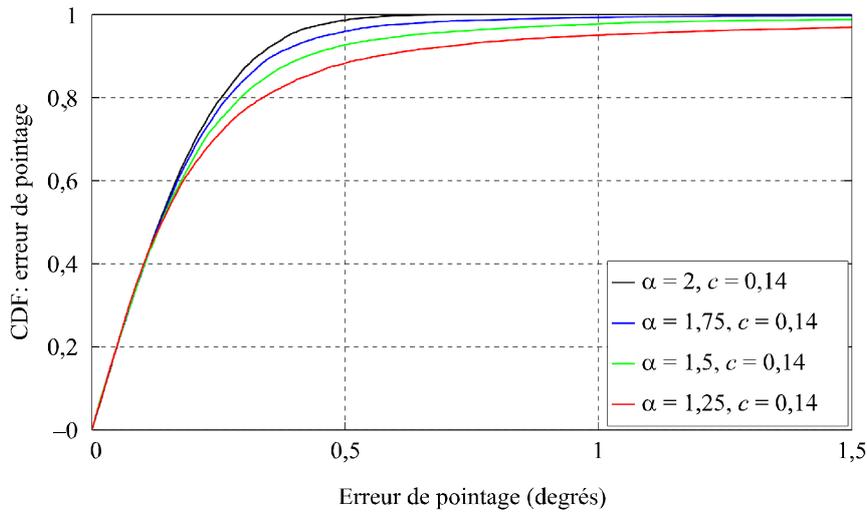
¹ La direction de l'axe de visée est définie comme la direction dans laquelle le gain d'antenne est le plus élevé, qui correspond à l'axe de l'antenne.

où $c > 0$ est le paramètre d'échelle ou la dispersion et α , $0 < \alpha \leq 2$, est l'exposant caractéristique. La queue de la distribution est déterminée par α , les valeurs les plus petites donnant lieu aux queues les plus longues, et c est proportionnel à la largeur de la fonction PDF. Il est à noter que lorsque $\alpha = 2$, on obtient le cas particulier de la distribution gaussienne avec une moyenne nulle et une variance de $2c^2$. La Fig. 1 illustre la fonction de distribution cumulative (CDF) de la distribution $S\alpha S$ pour $c = 0,14$ et $0,35^\circ$ et pour différentes valeurs de α . On constate qu'en faisant varier les valeurs de ces deux paramètres, il est possible de représenter de nombreux types d'erreurs de pointage d'antenne rencontrées dans la pratique.

Le choix de la distribution $S\alpha S$ pour modéliser les erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements peut être justifié de manière intuitive comme suit. Les erreurs de pointage d'antenne observées dépendent de nombreux paramètres, par exemple des caractéristiques de l'antenne, du relief, de la vitesse de la plate-forme d'antenne, des angles d'élévation et d'azimut, de la boucle de poursuite de l'antenne, des estimateurs d'emplacement et de position et des mesures de l'intensité du signal. On peut supposer que les erreurs découlant de tous ces différents paramètres sont indépendantes. Dans ce cas, on peut appliquer le théorème de la limite centrale généralisé [Samorodnitsky et Taqqu, 1994] pour modéliser l'effet cumulatif de ces sources d'erreur par une distribution $S\alpha S$. Il est à noter qu'un argument analogue relatif au théorème de la limite centrale a été utilisé pour les liaisons optiques longue distance afin de modéliser les erreurs de pointage et de poursuite à l'aide d'une distribution gaussienne [Chen et Gardner, 1989; Correl, 1996]. Cependant, à la différence de l'application dans le domaine optique, les conditions d'exploitation considérées dans la présente annexe incluent des reliefs accidentés; il faut donc prendre en considération des composantes d'erreur dont les distributions ont des queues plus longues.

FIGURE 1

Fonction CDF de la valeur absolue de l'erreur de pointage d'antenne pour différentes valeurs de α et de c



1857-01

3 Caractérisation statistique de la densité de p.i.r.e. hors axe

Dans le paragraphe précédent, les erreurs de pointage d'antenne ont été considérées comme des variables aléatoires. Le niveau de densité de p.i.r.e. résultant de ces erreurs de pointage aléatoires variera donc de manière aléatoire. Dans le présent paragraphe, le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe est considéré comme une variable aléatoire et sa fonction CDF est déterminée.

Afin de déterminer le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe, considérons, à titre d'illustration, le diagramme de gain normalisé suivant relatif à une antenne parabolique à ouverture circulaire [Maral et Bousquet, 2000]:

$$G(\varphi) = \left(\frac{2^{n+1}(n+1)!J_{n+1}(\pi d/\lambda \times \sin \varphi)}{(\pi d/\lambda \times \sin \varphi)^{n+1}} \right)^2 \tag{2}$$

où:

φ : angle hors axe

- J_{n+1} : fonction de Bessel de la première espèce et d'ordre $(n + 1)$
 d : diamètre de l'ouverture circulaire
 λ : longueur d'onde.

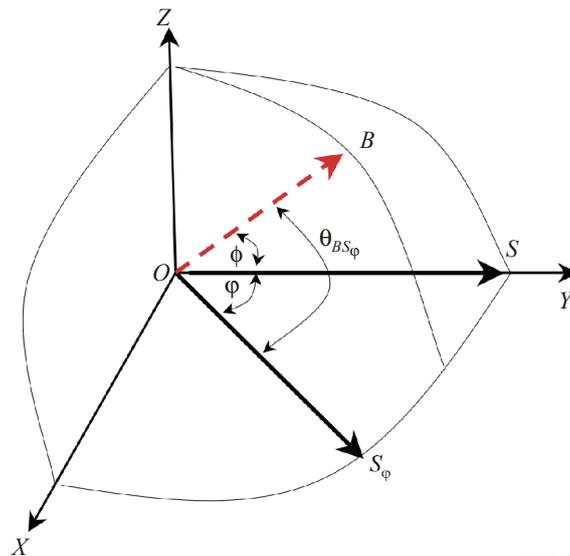
Dans ce qui précède, n est le paramètre d'éclairement de l'ouverture avec les valeurs suivantes:

- $n = 0$, uniforme idéal
 $n = 1$, parabolique
 $n = 2$, parabolique carré.

Le lobe principal de nombreux systèmes d'ouverture utilisés dans la pratique se situe entre les diagrammes de gain normalisé correspondant à $n = 1$ et à $n = 2$. Il est à noter que les lobes latéraux des antennes utilisées dans la pratique ne sont peut-être pas représentés de façon exacte par l'équation (2); ce n'est toutefois pas un problème pour l'analyse étant donné qu'on s'intéresse ici aux nanostations dont la performance est limitée par les caractéristiques du lobe principal et non par celles des lobes latéraux.

FIGURE 2

Géométrie représentant une erreur de pointage d'antenne ϕ . La notation utilisée est la suivante: la station terrienne est située à l'origine O , S est le satellite voulu, OB est la direction de l'axe de visée de l'antenne, ϕ est l'angle hors axe à un point S_ϕ , et θ_{BS_ϕ} est l'angle entre la direction de l'axe de visée et la direction de S_ϕ .



1857-02

Considérons le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe en présence d'une erreur de pointage d'antenne ϕ . Comme défini au § 2, ϕ est l'erreur de direction de l'axe de visée de l'antenne. La Fig. 2 représente l'axe de visée de l'antenne, OB , en présence d'une erreur de pointage de l'antenne. Sur cette figure, la station terrienne est située en O , et S représente la position du satellite voulu, autrement dit l'axe de l'antenne en l'absence d'erreurs de pointage est OS . L'angle hors axe est ϕ et la direction correspondante est représentée par OS_ϕ . En présence d'erreurs de pointage de l'antenne, l'angle entre l'axe de visée de l'antenne et OS_ϕ est désigné par θ_{BS_ϕ} . En l'absence d'erreurs de pointage de l'antenne, $\theta_{BS_\phi} = \phi$. Le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe dans la direction OS_ϕ peut alors s'écrire:

$$E_{\phi}(\varphi) = E_B \left(\frac{2^{n+1}(n+1)!J_{n+1}(\pi d/\lambda \times \sin \theta_{BS_{\varphi}})}{(\pi d/\lambda \times \sin \theta_{BS_{\varphi}})^{n+1}} \right)^2 \quad (3)$$

où E_B est la densité de p.i.r.e. dans la direction de l'axe de visée. Afin de déterminer la fonction CDF de $E_{\phi}(\varphi)$, il faut exprimer $E_{\phi}(\varphi)$ en fonction des variables aléatoires sous-jacentes, ϕ_{ε} et ϕ_a . Etant donné que $\theta_{BS_{\varphi}}$ est fonction de ϕ_{ε} et ϕ_a , et compte tenu de la géométrie illustrée sur la Fig. 2, cet angle peut être exprimé en fonction des angles d'élévation et d'azimut dans les directions OB et OS $_{\varphi}$, comme suit:

$$\cos \theta_{BS_{\varphi}} = \cos \varepsilon_{BS_{\varphi}}^{-} - (\cos \varepsilon_{BS_{\varphi}}^{+} + \cos \varepsilon_{BS_{\varphi}}^{-}) \times \sin^2 \frac{a_{BS_{\varphi}}^{-}}{2} \quad (4)$$

où $\varepsilon_{BS_{\varphi}}^{-} = (\varepsilon_B - \varepsilon_{S_{\varphi}})$ et $\varepsilon_{BS_{\varphi}}^{+} = (\varepsilon_B + \varepsilon_{S_{\varphi}})$ sont la différence et la somme entre les angles d'élévation dans les directions OB et OS $_{\varphi}$, et $a_{BS_{\varphi}}^{-} = (a_B - a_{S_{\varphi}})$ est la différence entre les angles d'azimut dans les directions OB et OS $_{\varphi}$, respectivement. Pour des valeurs données de l'emplacement de la station terrienne et des points S et S $_{\varphi}$, on peut calculer les fonctions suivantes des angles d'élévation et d'azimut: $\varepsilon_{SS_{\varphi}}^{-} = (\varepsilon_S - \varepsilon_{S_{\varphi}})$, $\varepsilon_{SS_{\varphi}}^{+} = (\varepsilon_S + \varepsilon_{S_{\varphi}})$ et $a_{SS_{\varphi}}^{-} = (a_S - a_{S_{\varphi}})$. Puis, étant donné qu'en l'absence d'erreurs de pointage, la direction de l'axe de visée de l'antenne correspond à la direction OS, $\varepsilon_B = (\varepsilon_S - \phi_{\varepsilon})$ et $a_B = (a_S - \phi_a)$. En combinant ces expressions, on obtient:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{BS_{\varphi}}^{-} &= (\varepsilon_{SS_{\varphi}}^{-} - \phi_{\varepsilon}) \\ \varepsilon_{BS_{\varphi}}^{+} &= (\varepsilon_{SS_{\varphi}}^{+} - \phi_{\varepsilon}) \\ a_{BS_{\varphi}}^{-} &= (a_{SS_{\varphi}}^{-} - \phi_a) \end{aligned} \quad (5)$$

Pour une configuration donnée de la station terrienne et des points S et S $_{\varphi}$, on peut déterminer les grandeurs $\varepsilon_{SS_{\varphi}}^{-}$, $\varepsilon_{SS_{\varphi}}^{+}$ et $a_{SS_{\varphi}}^{-}$. Puis, en reportant l'équation (5) dans l'équation (4), $\theta_{BS_{\varphi}}$ est exprimé en fonction des erreurs d'angles d'élévation et d'azimut et des angles d'élévation et d'azimut prédéterminés par rapport aux directions des points S et S $_{\varphi}$.

A l'aide de la procédure ci-dessus et de l'équation (3), le niveau de densité de p.i.r.e. dans la direction hors axe φ , $E_{\phi}(\varphi)$, peut être exprimé en fonction des variables aléatoires d'erreur de pointage d'antenne ϕ_{ε} et ϕ_a . Désignons par $f_{E_{\phi}}$ la fonction PDF de $E_{\phi}(\varphi)$. Etant donné qu'à titre d'illustration, les fonctions PDF de ϕ_{ε} et de ϕ_a sont représentées par des distributions $S\alpha S$, $f_{E_{\phi}}$ peut être déterminée à l'aide des équations (3), (4) et (5). Pour déterminer la fonction PDF voulue, on peut recourir soit à des techniques analytiques soit à des simulations de Monte-Carlo. La fonction CDF de la densité de p.i.r.e. est $\Pr\{E_{\phi}(\phi) < y\} = F_{E_{\phi}}(y) = \int_0^y f_{E_{\phi}}(x) dx$. Il est à noter que cette fonction CDF est fonction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée E_B .

4 Calcul de la probabilité de dépassement d'un niveau de densité de p.i.r.e. de référence

Dans le paragraphe précédent, une procédure permettant de déterminer la fonction CDF du niveau de densité de p.i.r.e. hors axe a été présentée. L'utilisation de cette procédure permet de déterminer la probabilité que le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe dépasse un certain seuil de référence. Désignons ce niveau de référence par $E_{Ref}(\varphi)$, qui en général est fonction de φ . La probabilité que le niveau de densité de p.i.r.e. soit supérieur à ce niveau de référence dans la direction hors axe φ , $\Pr\{E_\varphi(\varphi) > E_{Ref}(\varphi)\}$, est donnée par:

$$\Pr\{E_\varphi(\varphi) > E_{Ref}(\varphi)\} = \int_{E_{Ref}(\varphi)}^{\infty} f_{E_\varphi}(x) dx = 1 - F_{E_\varphi}(E_{Ref}(\varphi)) \quad (6)$$

Il s'agit de la fonction CDF complémentaire (CCDF) du niveau de densité de p.i.r.e. hors axe calculée pour $E_{Ref}(\varphi)$ et elle est fonction de l'angle hors axe φ , de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée E_B et des positions de la station terrienne et du satellite représentées par la somme et la différence des angles d'élévation et d'azimut $\varepsilon_{SS\varphi}^+$, $\varepsilon_{SS\varphi}^-$ et $a_{SS\varphi}^-$. Intuitivement, il est clair qu'en réduisant E_B , la probabilité ci-dessus peut être réduite, et il est instructif d'exprimer cette probabilité avec E_B comme paramètre explicite. Pour cela, l'équation (3) peut être écrite sous la forme $E_\varphi(\varphi) = E_B G(\theta_{BS\varphi})$, où $G(\theta_{BS\varphi})$ est le diagramme de gain d'antenne normalisé avec $G(0) = 1$. La probabilité donnée par l'équation (6) peut s'écrire:

$$\Pr\{G(\theta_{BS\varphi}) > E_{Ref}(\varphi) / E_B\} = 1 - F_{G(\theta_{BS\varphi})}(E_{Ref}(\varphi) / E_B) \quad (7)$$

où $F_{G(\theta_{BS\varphi})}$ est la fonction CDF de $G(\theta_{BS\varphi})$ et n'est pas fonction de E_B . La probabilité que le niveau de densité de p.i.r.e. dépasse le niveau de référence $E_{Ref}(\varphi)$ est telle que donnée ci-dessus; cependant, elle ne rend pas compte du niveau de dépassement de la densité de p.i.r.e. au-dessus de $E_{Ref}(\varphi)$. Pour cela, on peut examiner la probabilité que le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe dépasse ($EIRP_{excess} \times E_{Ref}(\varphi)$), où $EIRP_{excess} \geq 1$ est un facteur d'échelle. En utilisant ce facteur dans l'équation (7), la probabilité requise est:

$$\begin{aligned} \Pr\{E_\varphi(\varphi) > (E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess})\} &= \Pr\{G(\theta_{BS\varphi}) > E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess} / E_B\} \\ &= 1 - F_{G(\theta_{BS\varphi})}(E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess} / E_B) \end{aligned} \quad (8)$$

La probabilité ci-dessus est la fonction CCDF de $G(\theta_{BS\varphi})$ calculée pour $(E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess} / E_B)$.

La procédure de calcul de la probabilité donnée par l'équation (8) est la suivante:

Etape 1: Ici, les variables aléatoires sous-jacentes sont les composantes d'erreur de pointage d'antenne ϕ_ε et ϕ_a . A titre d'illustration, leurs fonctions PDF sont supposées être connues et correspondre aux fonctions données au § 2.

Etape 2: A partir de la connaissance des emplacements de la station terrienne et du satellite et de la direction hors axe, la somme et la différence des angles d'élévation et d'azimut $\varepsilon_{SS\varphi}^+$, $\varepsilon_{SS\varphi}^-$ et $a_{SS\varphi}^-$ sont calculées comme décrit au § 3. Ces angles sont ensuite utilisés dans l'équation (5) et le résultat est reporté dans l'équation (4) pour exprimer $\theta_{BS\varphi}$ en fonction des variables aléatoires ϕ_ε et ϕ_a . On peut ensuite déterminer la fonction PDF de $\theta_{BS\varphi}$ en utilisant les fonctions PDF de ϕ_ε et de ϕ_a . En

utilisant la relation donnée par l'équation (2), la fonction PDF de $\theta_{BS\phi}$ ainsi déterminée est alors utilisée pour calculer la fonction CCDF de la variable aléatoire $G(\theta_{BS\phi})$.

Etape 3: Enfin, la probabilité souhaitée donnée par l'équation (8) est déterminée à partir de la fonction CCDF de $G(\theta_{BS\phi})$ avec E_B et $e.i.r.p.excess$ comme paramètres.

5 Exemple de gabarit statistique de densité de p.i.r.e. pour limiter les rayonnements hors axe

Afin de limiter les rayonnements hors axe, en présence d'erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements, on peut utiliser une limite supérieure de la probabilité que le niveau de densité de p.i.r.e. dépasse un niveau de référence. Cependant, il est clair que la probabilité calculée au moyen de l'équation (8) dépend des emplacements de la station terrienne et du satellite, et de l'angle hors axe. Etant donné que la station terrienne peut être située n'importe où à la surface de la Terre, il est fortement souhaitable de limiter les rayonnements hors axe en utilisant une fonction qui est indépendante des emplacements de la station terrienne et du satellite. Voire, il est instructif d'obtenir une limite supérieure pour la probabilité $\Pr\{E_\phi(\varphi) > (E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess})\}$ à l'aide d'une seule fonction, $P_{max}(EIRP_{excess})$, qui s'applique partout à la surface de la Terre et pour tous les angles hors axe. Cette fonction de probabilité souhaitée, $P_{max}(EIRP_{excess})$, limite la densité de p.i.r.e. des rayonnements hors axe et constitue un gabarit statistique de niveau de densité de p.i.r.e.

Pour obtenir un gabarit statistique de niveau de densité de p.i.r.e. comme mentionné ci-dessus, considérons le cas particulier où les points S et S_ϕ sont sur l'orbite des satellites géostationnaires et la station terrienne est située au niveau de l'équateur et directement au-dessous de S . Pour cette configuration, $\epsilon_S = 90^\circ$, $\epsilon_{S\phi} = (90^\circ - \varphi)^\circ$, $a_S = 90^\circ$ et $a_{S_\phi} = 90^\circ$ ou 270° , et il s'ensuit que $\epsilon_{SS\phi}^+ = (180 - \varphi)^\circ$, $\epsilon_{SS\phi}^- = \varphi$ et $a_{SS\phi}^- = 0^\circ$ ou 180° . En utilisant ces expressions dans l'équation (5) et en reportant le résultat dans l'équation (4), $\theta_{BS\phi}$ peut s'écrire:

$$\cos \theta_{BS\phi} = \cos(\varphi - \phi_\epsilon) - (\cos(\varphi - \phi_\epsilon) - \cos(\varphi - \phi_\epsilon)) \times \sin^2 \frac{\phi_a}{2} \quad (9)$$

La fonction CDF de $G(\theta_{BS\phi})$ obtenue au moyen de $\theta_{BS\phi}$ ci-dessus ne sera pas fonction des angles spécifiques d'élévation et d'azimut pour la direction allant de la station terrienne au satellite; mais elle sera fonction de l'angle hors axe φ . Pour obtenir une fonction qui est applicable à tous les angles hors axe, considérons le maximum de la probabilité donnée par l'équation (8) sur tous les angles hors axe. D'après l'équation (8), cette probabilité maximale souhaitée s'écrit:

$$P_{E_B} = (EIRP_{excess}) = \max_{\varphi} \Pr \left\{ G(\theta_{BS\phi}) > (E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess} / E_B) \right\} \quad (10)$$

La fonction ci-dessus concernant la probabilité de dépassement ne dépend pas des emplacements spécifiques de la station terrienne ou du satellite, ni de l'angle hors axe particulier; elle convient donc pour l'exemple de gabarit de densité de p.i.r.e. hors axe $P_{max}(EIRP_{excess})$.

Pour pouvoir appliquer l'approche ci-dessus pour limiter la densité de p.i.r.e. des rayonnements hors axe d'un système d'antenne utilisé dans la pratique, il faut spécifier les contraintes opérationnelles suivantes: un niveau de référence de la densité de p.i.r.e. hors axe, $E_{Ref}(\varphi)$, et la probabilité maximale que le niveau de densité de p.i.r.e. dépasse le niveau $(E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess})$ sur tous les angles hors axe, $P_{max}(EIRP_{excess})$, qui est un exemple de gabarit statistique de niveau de densité de

p.i.r.e. hors axe. Pour un système d'antenne particulier, il faut connaître les valeurs suivantes: diagramme de gain d'antenne normalisé, statistiques d'erreurs de pointage et emplacements de la station terrienne et du satellite souhaité. L'objectif est d'établir la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée, E_B , du système d'antenne pour laquelle les contraintes opérationnelles relatives au niveau de densité de p.i.r.e. hors axe sont satisfaites. Pour cela, on calcule la fonction CCDF de $G(\theta_{BS\varphi})$ en fonction de E_B comme dans l'équation (8), puis on détermine la valeur appropriée de E_B telle que cette fonction CCDF est inférieure à la contrainte P_{max} ($EIRP_{excess}$) pour toutes les valeurs de φ et de e.i.r.p.- $excess$. Le § 7 donne un exemple de méthode étape par étape d'utilisation de la fonction de probabilité donnée dans l'équation (10) pour limiter le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe d'un système d'antenne utilisé dans la pratique.

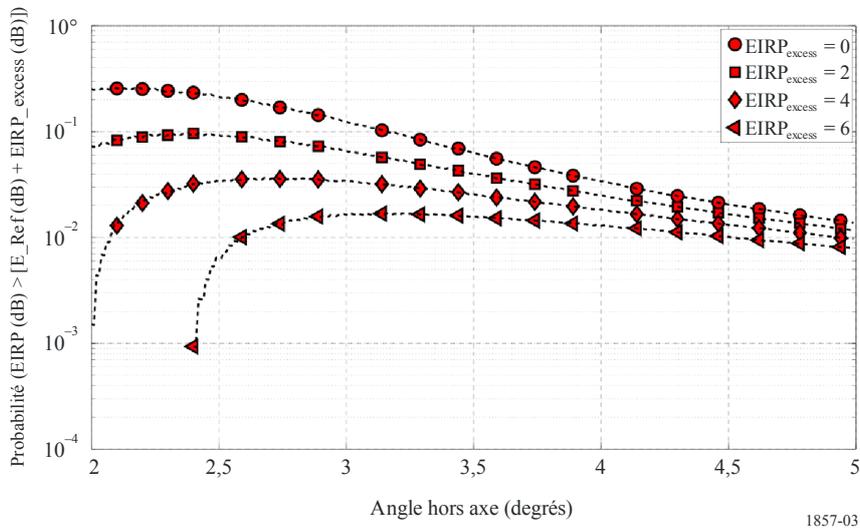
Pour obtenir un exemple particulier de gabarit statistique de niveau de densité de p.i.r.e., considérons le niveau de référence suivant pour la densité de p.i.r.e.:

$$E_{Ref}(\varphi)(\text{dBW}/40 \text{ kHz}) = \left. \begin{array}{ll} 25 - 25 \log(\varphi) & 2 \leq \varphi < 7 \\ 4 & 7 \leq \varphi < 9,2 \\ 28 - 25 \log(\varphi) & 9,2 \leq \varphi < 48 \\ -14 & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{array} \right\} \quad (11)$$

Il s'agit du gabarit de densité de p.i.r.e. hors axe tel qu'il est spécifié dans la Recommandation UIT-R S.728 combiné avec la Note 1 de la présente Recommandation. La Fig. 3 illustre la partie de droite de l'équation (10) (sans la maximisation), $\Pr\{G(\theta_{BS\varphi}) > (E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess} / E_B)\}$, en fonction de φ pour des valeurs fixes de e.i.r.p.- $excess$ et de E_B . Il convient d'observer que lorsqu'on fait varier e.i.r.p.- $excess$, le maximum de cette probabilité se produira pour différentes valeurs de φ . La Fig. 4 montre cette valeur maximale, $P_{E_B}(EIRP_{excess})$, pour les paramètres α et c des fonctions PDF des composantes d'erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements, ϕ_ε et ϕ_a , et la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée, E_B . On suppose ici que les deux variables aléatoires ci-dessus présentent une distribution identique et sont mutuellement indépendantes. Pour le diagramme d'antenne donné dans l'équation (2), les valeurs représentatives suivantes ont été choisies pour les applications dans la bande de fréquences des 14 GHz: $d = 0,51$ m, $n = 1$ et fréquence = 14,2 GHz. Il convient d'observer que, plus la valeur de α est grande, plus la fonction PDF de l'erreur de pointage d'antenne aura une queue courte et plus $P_{E_B}(EIRP_{excess})$ décroîtra rapidement. De même, plus la valeur de c est petite, plus la fonction PDF des erreurs de pointage d'antenne sera étroite et plus la probabilité $P_{E_B}(EIRP_{excess})$ sera faible. A l'évidence, les courbes représentées sur la Fig. 4 dépendent de E_B : plus la valeur de E_B est faible, plus la valeur de $P_{E_B}(EIRP_{excess})$ sera faible également. Pour les courbes représentées sur cette figure, la valeur prise pour E_B est sa valeur maximale de sorte que la valeur résultante de $P_{E_B}(EIRP_{excess})$ est immédiatement inférieure à la valeur correspondant aux paramètres: $\alpha = 1,5$, $c = 0,35^\circ$ et $E_B = 21,53$ (dBW/40 kHz). Les détails de la détermination des valeurs spécifiques de E_B représentées sur cette figure sont examinés dans le paragraphe qui suit.

FIGURE 3

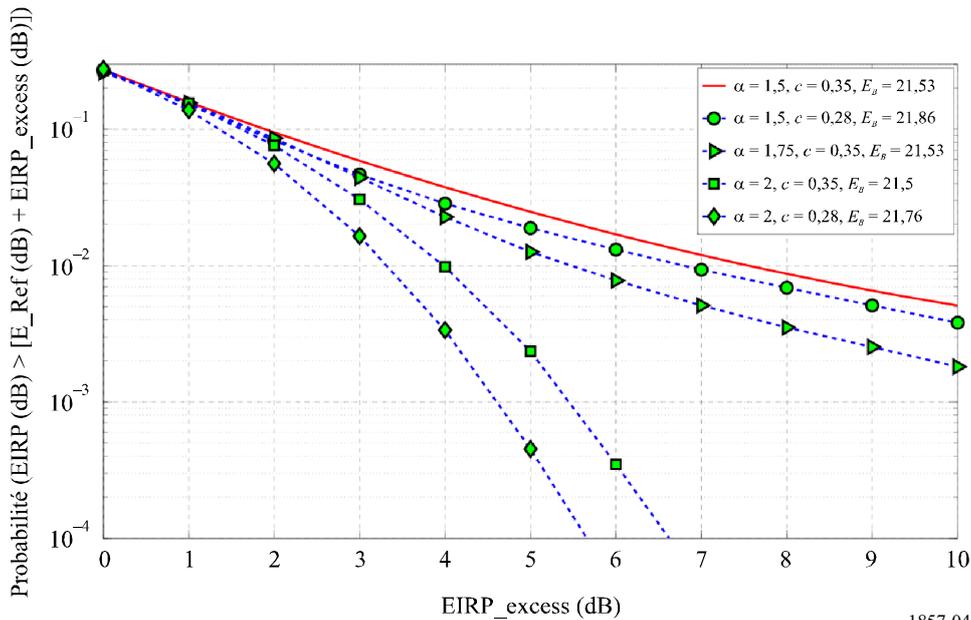
Partie de droite de l'équation (10) (sans la maximisation) en fonction de l'angle hors axe, ϕ , pour différentes valeurs de $e.i.r.p_{excess}$ (dB). Autres paramètres: $\alpha = 1,5$, $c = 0,35^\circ$, $E_B = 21,53$ dBW/40 kHz, $n = 1$ et fréquence = 14,2 GHz



1857-03

FIGURE 4

$P_{EB}(e.i.r.p_{excess})$ donné par l'équation (10) pour différents paramètres des fonctions PDF des composantes d'erreur de pointage d'antenne. Dans la légende, α et c sont en degrés et E_B en dBW/40 kHz



1857-04

Toutes les courbes représentées sur la Fig. 4 conviennent pour l'exemple de gabarit statistique de densité de p.i.r.e. hors axe. Dans la présente annexe, la courbe supérieure représentée sur cette figure, qui correspond aux paramètres $\alpha = 1,5$, $c = 0,35^\circ$ et $E_B = 21,53$ (dBW/40 kHz), est choisie comme exemple de gabarit statistique de densité de p.i.r.e. P_{max} ($EIRP_{excess}$). Ce choix découle du fait que certains résultats de mesure indiquent que ces valeurs de paramètres (α et c) sont représentatives de conditions de fonctionnement types quant au relief et à la vitesse des véhicules. La procédure de détermination de la valeur de E_B est examinée au § 6. L'exemple ci-dessus de gabarit statistique de densité de p.i.r.e. hors axe peut être approximé par l'expression suivante:

$$P_{max}(x) = \exp(0,016x^2 - 0,561x - 1,297) \quad 0 \leq x \leq 10 \quad (12)$$

où $x = \text{e.i.r.p.}_{excess}$ (dB). Pour qu'un système d'antenne respecte cet exemple de gabarit, la probabilité correspondante calculée conformément à l'équation (10), $P_{E_B}(\text{e.i.r.p.}_{excess})$, doit être inférieure à $P_{max}(\text{EIRP}_{excess})$, autrement dit:

$$\max_{E_B} P_{E_B}(\text{EIRP}_{excess}) \leq P_{max}(10 \times \log_{10}(\text{EIRP}_{excess})) \quad 1 \leq \text{EIRP}_{excess} \leq 10 \quad (13)$$

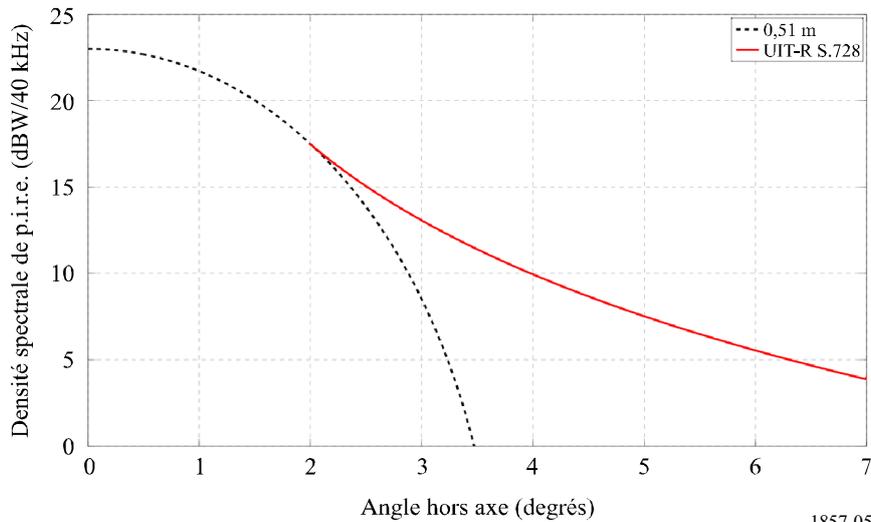
où le maximum est déterminé sur toutes les valeurs de E_B . Comme il ressort des courbes représentées sur la Fig. 4, l'exemple de gabarit $P_{max}(\text{EIRP}_{excess}$ (dB)) peut être respecté par des systèmes d'antenne pour lesquels les paramètres α et c ont diverses valeurs et E_B a un niveau raisonnable.

6 Calcul de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée

Ainsi qu'il ressort du paragraphe précédent, la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée, E_B , joue un rôle essentiel dans la détermination de la qualité de fonctionnement des terminaux à bord de véhicules. Il convient d'observer que la fonction de probabilité donnée dans l'équation (10) impose une limite à la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée. Par ailleurs, l'augmentation de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée entraîne une augmentation du brouillage causé aux satellites adjacents; l'Annexe 2 présente une analyse détaillée du brouillage causé par ces terminaux. Le niveau souhaité de densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée doit satisfaire deux demandes conflictuelles: la nécessité d'émettre une puissance suffisante pour prendre en charge des débits de données raisonnables et la nécessité de garantir que le brouillage résultant est acceptable pour les opérateurs des satellites adjacents. La valeur de E_B nécessaire pour que les stations terriennes à bord de véhicule puissent transmettre des données à des débits raisonnables peut être déterminée par comparaison avec la valeur correspondante pour les stations terriennes statiques. La Fig. 5 représente le gabarit de densité de p.i.r.e. pour les stations terriennes statiques, tel qu'il est établi dans la Recommandation UIT-R S.728 et exprimé dans l'équation (11). Elle représente également les valeurs maximales de la densité de p.i.r.e. hors axe correspondant à une antenne dont le diamètre d'ouverture est $d = 0,51$ m. Pour obtenir ce niveau de densité de p.i.r.e. hors axe de l'antenne, on augmente progressivement E_B jusqu'à ce que le diagramme de densité de p.i.r.e. hors axe résultant soit immédiatement inférieur au gabarit UIT-R S.728. A l'évidence, la valeur de E_B qui satisfait le gabarit augmente en fonction du diamètre d'ouverture de l'antenne et pour $d = 0,51$ m, $E_B = 23$ dB(W/40 kHz).

FIGURE 5

Valeur maximale de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée selon la Recommandation UIT-R S.728. Paramètres: $d = 0,51$ m, $n = 1$, fréquence = 14,2 GHz



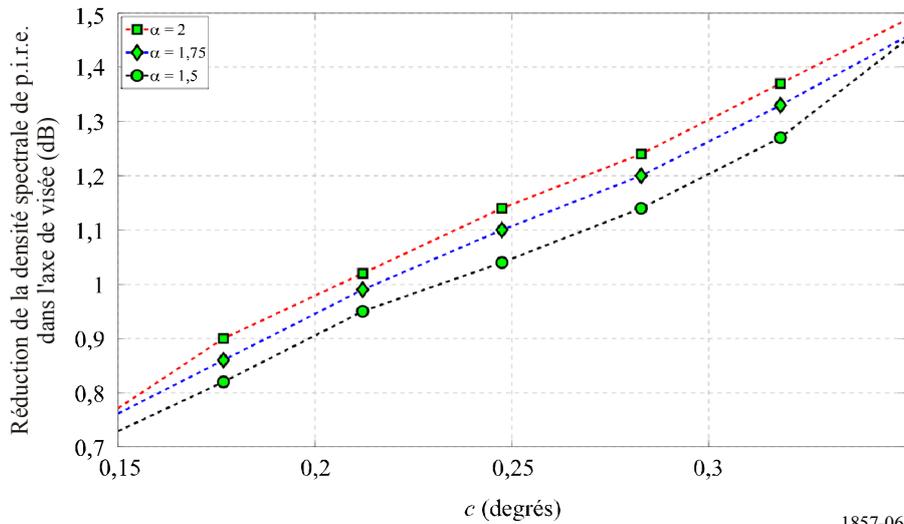
1857-05

La Fig. 5 représente les résultats obtenus en l'absence d'erreur de pointage d'antenne. En présence d'erreurs de pointage d'antenne, en raison des fluctuations du diagramme de densité de p.i.r.e. hors axe, la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée doit être réduite. Dans le paragraphe précédent, un exemple de gabarit statistique de densité de p.i.r.e. pour un système d'antenne particulier a été déterminé dans l'équation (12). Pour déterminer la valeur souhaitée de E_B qui satisfait ce gabarit statistique, on augmente sa valeur jusqu'à ce que $P_{EB}(e.i.r.p.excess)$ atteigne tout juste sa valeur maximale telle qu'elle est donnée dans la partie de droite de l'équation (13).

La Fig. 6 montre la réduction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée qui est nécessaire pour respecter l'exemple de gabarit défini dans l'équation (12) et, ainsi, tenir compte des erreurs de pointage d'antenne. Pour des valeurs fixes de α , de plus grandes valeurs de c correspondent à de plus grandes erreurs de pointage, ce qui se traduit par une plus grande réduction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée. Comme on peut le constater sur cette figure, la réduction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée nécessaire pour tenir compte des erreurs de pointage d'antenne sera faible, par exemple, lorsque $\alpha = 1,5$ et $c = 0,2^\circ$, cette réduction est de 0,9 dB et elle passe à environ 1,45 dB pour $\alpha = 1,5$ et $c = 0,35^\circ$.

FIGURE 6

Réduction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée nécessaire pour respecter l'exemple de gabarit statistique P_{max} ($EIRP_{excess}$) de l'équation (12)



1857-06

7 Exemple de méthode de détermination de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée basée sur le respect de l'exemple de gabarit statistique de densité de p.i.r.e.

Le présent paragraphe donne une méthode basée sur le respect de l'exemple de gabarit statistique de densité de p.i.r.e. hors axe spécifié dans l'équation (12) au § 5. Plus précisément, pour un ensemble donné d'erreurs en termes d'angles d'élévation et d'azimut, la méthode indique comment calculer la valeur maximale de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée du système d'antenne. Cette méthode est la suivante:

7.1 Données utilisées pour le calcul

a) Valeurs d'erreurs en termes d'angles d'élévation et d'azimut pour des échantillons représentatifs, $\varphi_\varepsilon(m)$ et $\varphi_a(m)$, $m = 1, 2, \dots, M$, où M est le nombre d'échantillons. Ces valeurs devraient correspondre à des mesures en temps réel ou à des données collectées dans des conditions analogues aux conditions dans lesquelles le terminal devrait fonctionner. On suppose que le nombre d'échantillons M est suffisamment grand pour que les grandeurs statistiques calculées sur la base de ces échantillons constituent de relativement bonnes estimations des valeurs statistiques souhaitées.

b) Angles d'élévation et d'azimut en direction du satellite utile S donnés respectivement par ε_S et a_S . Angles d'élévation et d'azimut en direction de S_φ donnés respectivement par ε_{S_φ} et a_{S_φ} . La Fig. 2 illustre la géométrie relative de S et de S_φ . Ici, S_φ peut être situé à n'importe quelle position sur l'orbite des satellites géostationnaires et φ est une variable.

c) Diagramme de gain d'antenne normalisé $G(\varphi)$, où φ est l'angle hors axe et on suppose, à titre d'illustration, que le diagramme d'antenne est symétrique par rapport à la direction de l'axe de visée.

d) Gabarit statistique de densité de p.i.r.e. hors axe donné par l'équation (12).

7.2 Estimation de la fonction CDF de $G(\theta_{BS_\varphi})$

e) En utilisant a) et b) ci-dessus, calculer la somme des angles d'élévation dans la direction de l'axe de visée et dans la direction de S_φ : $\varepsilon_{BS_\varphi}^+$, et la différence des angles d'élévation et d'azimut dans ces directions: $\varepsilon_{BS_\varphi}^-$ et $a_{BS_\varphi}^-$. En utilisant l'équation (5), on a:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{BS_\varphi}^-(m) &= (\varepsilon_S - \varepsilon_{S_\varphi} - \phi_\varepsilon(m)) \\ \varepsilon_{BS_\varphi}^+(m) &= (\varepsilon_S + \varepsilon_{S_\varphi} - \phi_\varepsilon(m)) \\ a_{BS_\varphi}^-(m) &= (a_S - a_{S_\varphi} - \phi_a(m))\end{aligned}$$

où la dépendance vis-à-vis de l'indice de l'échantillon m apparaît explicitement. Il est à noter que $\varepsilon_{BS_\varphi}^-(m)$, $\varepsilon_{BS_\varphi}^+(m)$ et $a_{BS_\varphi}^-(m)$ sont fonction de l'angle hors axe φ .

f) Reporter les valeurs ci-dessus dans l'équation (4) pour calculer l'angle entre l'axe de visée et la direction de S_φ : $\theta_{BS_\varphi}(m)$. En utilisant l'équation (4), on a:

$$\theta_{BS_\varphi}(m) = \cos^{-1} \left(\cos \varepsilon_{BS_\varphi}^-(m) - \left(\cos \varepsilon_{BS_\varphi}^+(m) + \cos \varepsilon_{BS_\varphi}^-(m) \right) \times \sin^2 \frac{a_{BS_\varphi}^-(m)}{2} \right)$$

g) En utilisant le diagramme de gain d'antenne indiqué au point c) et $\theta_{BS_\varphi}(m)$ calculé ci-dessus, déterminer le gain d'antenne dans la direction de S_φ : $G(\theta_{BS_\varphi}(m))$. Il est à noter que $G(\theta_{BS_\varphi}(m))$ peut être considéré comme une variable aléatoire avec M échantillons et qu'il est fonction de l'angle hors axe φ .

h) Estimer la fonction CDF de $G(\theta_{BS_\varphi})$: $F_{G(\theta_{BS_\varphi})}$, en utilisant les M échantillons calculés au point g). Il est à noter que comme $F_{G(\theta_{BS_\varphi})}$ est fonction de φ , la fonction CDF doit être calculée pour chaque valeur de la variable φ .

7.3 Calcul de la valeur maximale de E_B qui respecte l'exemple de gabarit statistique

i) Choisir des valeurs appropriées pour $\text{EIRP}_{\text{excess}}$ avec $1 \leq \text{EIRP}_{\text{excess}} \leq 10$ et pour E_B avec $(E_{B,\text{max}} - \Delta E_B) \leq E_B \leq E_{B,\text{max}}$, et, en utilisant la fonction CDF estimée au point h), déterminer la probabilité donnée par l'équation (8) pour chaque valeur de φ . Ici, $E_{B,\text{max}}$ est la densité maximale de p.i.r.e. dans l'axe de visée en l'absence d'erreur de pointage d'antenne et ΔE_B représente la réduction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée due aux erreurs de pointage d'antenne; à titre d'illustration, nous prenons ΔE_B égale à $\Delta E_{B,\text{max}}/2$.

Il est à noter que l'équation (8) devrait être calculée pour toutes les valeurs utiles de $\text{EIRP}_{\text{excess}}$ et de E_B ; cependant, si on sait que la réduction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée est petite, on peut simplifier ce calcul en limitant la plage de valeurs de E_B . La Fig. 6 illustre la réduction de la valeur de E_B pour les paramètres de système spécifiques considérés au § 6. Etant donné que, dans

cet exemple, la réduction est petite, une valeur de $\Delta E_B = \Delta E_{B,max}/3$ convient pour les paramètres de système applicables.

j) Pour des valeurs fixes de $EIRP_{excess}$ et de E_B , déterminer $P_{EB}(e.i.r.p.excess)$ en utilisant l'expression donnée dans l'équation (10), qui est la valeur maximale de la probabilité calculée au point i) avec φ comme variable. L'expression de $P_{EB}(e.i.r.p.excess)$ est réécrite ci-après:

$$P_{E_B} = (EIRP_{excess}) = \max_{\varphi} \Pr \left\{ G(\theta_{BS\varphi}) > (E_{Ref}(\varphi) \times EIRP_{excess} / E_B) \right\}$$

Il est à noter que $P_{EB}(e.i.r.p.excess)$ ne décroît pas en fonction de E_B , lorsqu'elle est considérée comme une fonction de E_B pour des valeurs fixes de $EIRP_{excess}$.

k) Enfin, déterminer la valeur maximale de E_B de sorte que $P_{EB}(e.i.r.p.excess)$ soit inférieure à l'exemple de gabarit donné par l'équation (12) pour toutes les valeurs utiles de $EIRP_{excess}$. La valeur souhaitée de E_B satisfait l'équation (13), réécrite ci-après:

$$\max_{E_B} P_{E_B} (EIRP_{excess}) \leq P(10 \times \log_{10} (EIRP_{excess})) \quad 1 \leq EIRP_{excess} \leq 10$$

Il est à noter que la méthode ci-dessus est donnée uniquement à titre d'illustration et qu'elle ne doit pas être considérée comme étant la seule méthode de calcul de la valeur de E_B .

Références

- CHEN, C.-C. et GARDNER C.S., [mars 1989] Impact of Random Pointing and Tracking Errors on the Design of Coherent and Incoherent Optical Intersatellite Communication Links, *IEEE Trans. Comm.* Vol. **37**, **3**, p. 252-260.
- CORRELL, C., [1996] A Mathematical Model Describing the Effects of Pointing and Tracking Errors Due to "Mechanical Noise" in Coherent Optical Intersatellite Links, *Inter. J. Sat. Comm.* Vol. **14**, p. 37-51.
- MARAL, G. et BOUSQUET M., [2000] *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*, John Wiley & Sons.
- SAMORODNITSKY, G. et TAQQU M.S., [1994] *Stable Non-Gaussian Random Processes: Stochastic Models with Infinite Variance*. Chapman & Hall/CRC.
- SHAO, M. et NIKIAS C.L., [juillet 1993] Signal Processing with Fractional Lower Order Moments: Stable Processes and Their Applications. *Proc. IEEE*, Vol. **81**, **7**, p. 986-1010.

Annexe 2

Méthode d'évaluation des niveaux de brouillage résultant des variations de p.i.r.e. hors axe de station terrienne dues aux erreurs de pointage liées aux mouvements de la plate-forme située à bord d'un véhicule

1 Introduction

Le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe émanant des terminaux placés sur des plates-formes à bord de véhicules varie dans le temps et entraînera donc un signal de brouillage variable dans le temps au niveau des satellites géostationnaires voisins. La présente annexe décrit une méthode permettant d'analyser et de quantifier le brouillage variable dans le temps résultant des stations terriennes à bord de véhicules (VMES). Les effets du brouillage émanant de sources variables dans le temps ont été traités dans la Recommandation UIT-R S.1323; la présente Recommandation établit en outre la tolérance de temps maximale admissible pour les niveaux de brouillage à court terme. La présente annexe suit les lignes directrices établies dans la Recommandation UIT-R S.1323 et décrit une méthode d'analyse du brouillage dû aux erreurs de pointage d'antenne de terminaux à bord de véhicules, erreurs qui sont variables dans le temps. La méthode décrite sera utile pour déterminer le niveau approprié de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée de ces terminaux afin que ces derniers respectent les tolérances de brouillage des autres systèmes à satellites et respectent les divers objectifs de qualité de fonctionnement de ces systèmes.

2 Critères d'évaluation des brouillages

La qualité de fonctionnement d'un système du SFS dépend dans une large mesure du brouillage qu'il reçoit des autres systèmes. La Recommandation UIT-R S.1432 récapitule diverses considérations sur le brouillage présentées dans d'autres Recommandations de l'UIT-R. Les critères de brouillage utilisés dans ces Recommandations pertinentes de l'UIT-R sont basés sur le niveau de brouillage qui peut être toléré tant sur de longues périodes que sur des intervalles de temps courts. Dans le premier cas, on parle de critère à long terme car on fait la moyenne du brouillage sur une période relativement longue. Dans le deuxième cas, le critère spécifie le niveau de brouillage sur des intervalles de temps courts, qui varie généralement dans le temps et qui est donc généralement représenté par une distribution de probabilité.

La Recommandation UIT-R S.1323 traite des effets du brouillage variable dans le temps et établit les niveaux maximaux admissibles du brouillage émanant de différentes sources. Cependant, elle n'établit pas de tolérance de temps spécifique d'indisponibilité de liaison des réseaux du SFS liée au brouillage variable dans le temps produit par les stations VMES de systèmes à satellites géostationnaires. La tolérance de temps d'indisponibilité de liaison due au brouillage causé par ces stations est simplement une valeur donnée à titre d'exemple. Dans la méthode, il est possible d'utiliser toute tolérance de temps qui aura pu être convenue par des administrations ou qui sera déterminée dans une future Recommandation de l'UIT-R. L'hypothèse sous-jacente est que la liaison par satellite est conçue avec une marge de liaison suffisante pour prendre en considération les dégradations de propagation comme les évanouissements du signal dus à la pluie, les variations de bruit du récepteur et les effets du brouillage à long terme causé par les autres réseaux à satellite. Pour tenir compte de l'impact de ces dégradations, les objectifs de qualité de fonctionnement des liaisons par satellite sont donnés en termes de temps d'interruption associé à un taux d'erreurs sur les bits ou à un rapport porteuse sur bruit (C/N). Par exemple, pour un ensemble donné de paires constituées d'un rapport (C/N) et de la tolérance de temps d'interruption correspondante, $\{(C/N)_i, p_i \%$, $i = 1, 2, \dots, I$, le rapport (C/N) doit être inférieur à $(C/N)_i$ uniquement pendant $p_i \%$ du temps (durant n'importe quel mois).

Conformément à la Recommandation UIT-R S.1323, les effets de propagation ne devraient pas représenter plus de 90% de l'indisponibilité de liaison. L'énoncé ci-dessus peut alors être réexprimé comme suit: le rapport (C/N) calculé en l'absence de brouillage variable dans le temps devrait être inférieur à $(C/N)_i$ pendant au plus $p_i\% \times 90\%$ du temps. Les 10% restants de la tolérance de temps d'indisponibilité de liaison sont attribués à la dégradation supplémentaire due au brouillage variable dans le temps causé par les émissions des stations terriennes et des stations spatiales de tous les autres réseaux à satellite fonctionnant dans la même bande de fréquences. Par conséquent, le rapport (C/N) global, calculé en présence d'effets de propagation et de brouillage variable dans le temps, devrait être inférieur à $(C/N)_i$ uniquement pendant $p_i\%$ du temps, comme demandé.

Le présent document traite de l'augmentation du brouillage causé aux systèmes à satellites voisins résultant des erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps. Cette augmentation de brouillage est donnée par rapport à un terminal ayant exactement les mêmes caractéristiques mais fonctionnant dans un environnement stationnaire et en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne. Dans ce cas statique, on suppose que le terminal respecte le gabarit d'émission de p.i.r.e. hors axe établi dans la Recommandation UIT-R S.728 et satisfait les nombreuses exigences énoncées dans les Recommandations applicables en ce qui concerne le brouillage. Pour déterminer l'augmentation de brouillage à long terme, on peut faire la moyenne du brouillage résultant des erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps sur une période T_{avg} et comparer ce résultat à la valeur correspondante dans le cas statique. Le paramètre de brouillage à long terme T_{avg} devrait correspondre à une période suffisamment longue pour contenir les variations temporelles caractéristiques du signal de brouillage. Pour ce cas, la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée du terminal permet de contrôler le niveau de brouillage. Cette méthode sera décrite en détail au § 4.

Afin de satisfaire les objectifs à court terme, on peut employer la méthode donnée dans la Recommandation UIT-R S.1323. Cependant, il convient de noter que cette Recommandation a été établie précisément pour le cas où le brouillage variable dans le temps est dû à des systèmes à satellites non géostationnaires. En effet, d'après la Note 1 de cette Recommandation, les 10% attribués aux interruptions de liaison dues aux sources de brouillage, comme examiné ci-dessus, ne s'appliquent pas au brouillage entre systèmes à satellites géostationnaires du SFS. Etant donné que le présent document traite du brouillage causé par des systèmes à satellites géostationnaires du SFS, la tolérance de temps attribuée aux interruptions de liaison dues au brouillage variable dans le temps sera représentée par le paramètre $T_{allow}\%$, et non 10% comme dans la Recommandation UIT-R S.1323. L'objectif du présent document est d'évaluer les effets du brouillage variable dans le temps par rapport au cas statique, qui inclut les effets de propagation et le brouillage en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.

On considère donc le cas statique comme cas de référence pour évaluer les effets du brouillage variable dans le temps. Il est à noter que, dans le cas de référence correspondant considéré dans la Recommandation UIT-R S.1323, la dégradation est due uniquement aux effets de propagation. L'objectif de qualité de fonctionnement est alors tel que $(100 - T_{allow})\%$ au plus de la tolérance de temps sont attribués aux interruptions de liaison dans le cas statique. Si on utilise l'expression donnée précédemment, le rapport (C/N) calculé avec les effets de propagation et le brouillage dans le cas statique, devrait être inférieur à $(C/N)_i$ pendant au plus $p_i\% \times (100 - T_{allow})\%$ du temps. Par conséquent, le rapport (C/N) global, calculé en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps et avec les effets de propagation, est inférieur à $(C/N)_i$ pendant $p_i\%$ du temps, comme demandé. Comme dans le cas du brouillage à long terme, la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée de l'antenne permet de contrôler les interruptions de liaison; cet aspect est examiné en détail au § 4.

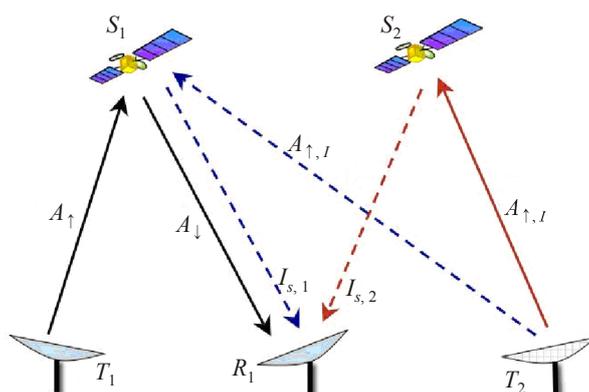
3 Cadre de référence pour l'analyse de brouillage

Le présent paragraphe définit un cadre de référence utilisé pour évaluer le brouillage et il donne la liste des paramètres et notations utilisés dans les équations qui suivent.

La Fig. 7 illustre les réseaux à satellite utile et brouilleur. Le satellite utile est désigné par S_1 et les terminaux associés d'émission et de réception sont désignés respectivement par T_1 et R_1 . Le terminal brouilleur est T_2 et le satellite qui lui est associé est S_2 . Le récepteur brouillé, R_1 , reçoit des signaux en provenance des deux satellites, S_1 et S_2 , comme indiqué sur la Fig. 7.

FIGURE 7

Réseaux à satellite utile et brouilleur. Les terminaux T_1 et R_1 et le satellite S_1 sont dans le réseau utile; le terminal T_2 et le satellite S_2 sont dans le réseau brouilleur



1857-07

La liste qui suit donne les paramètres et les notations adoptés dans la présente Recommandation.

- φ : angle hors axe du terminal T_2 au satellite S_1 en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne
- θ : angle hors axe du terminal R_1 au satellite S_2
- A_{\uparrow} : évanouissements dus à la pluie sur la liaison montante du terminal T_1 au satellite S_1
- A_{\downarrow} : évanouissements dus à la pluie sur la liaison descendante du satellite S_1 au terminal R_1
- $A_{\uparrow,I}$: évanouissements dus à la pluie sur la liaison montante de la source de brouillage T_2 au satellite S_1 ou S_2
- B_s : densité de p.i.r.e. (W/Hz) dans la direction de l'axe de visée dans le cas statique, qui est la valeur en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps au niveau du terminal T_2 . Ici, l'axe de visée est la direction dans laquelle le gain d'antenne est maximal.
- B_t : densité de p.i.r.e. (W/Hz) dans la direction de l'axe de visée au niveau du terminal T_2 en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps. Il est à noter que ce paramètre correspond à E_B dans l'équation (3).
- ΔB : réduction de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée, $\Delta B = B_s / B_t$
- $(C/N)_{cs}$: rapport porteuse sur bruit au niveau du terminal R_1 par temps clair. C est la puissance de la porteuse utile reçue par le terminal R_1 en provenance du terminal T_1 .
- $(C/N)_s$: rapport (C/N) au niveau du terminal R_1 dans le cas statique, qui résulte des évanouissements dus à la pluie et du brouillage causé par le terminal T_2 en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.

- $(C/N)_t$: rapport (C/N) au niveau du terminal R_1 résultant des évanouissements dus à la pluie et du brouillage causé par le terminal T_2 en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.
- $G_1(\theta)$: gain directif normalisé de l'antenne du terminal R_1 dans la direction hors axe θ ($G_1(0) = 1$)
- $G_2(\varphi)$: gain directif normalisé de l'antenne du terminal T_2 dans la direction hors axe φ ($G_2(0) = 1$). Il est à noter que ce paramètre correspond à $G(\varphi)$ dans l'équation (2) de l'Annexe 1.
- $G_{2,t}(\varphi)$: gain directif normalisé de l'antenne du terminal T_2 dans la direction de φ en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.
- G_{S1} : faible gain du signal au niveau du satellite S_1 . (p.i.r.e. en S_1 en direction de R_1) = (puissance surfacique en provenance de T_2) $\times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times G_{S1}$, λ étant la longueur d'onde sur la liaison montante.
- G_{S2} : faible gain du signal au niveau du satellite S_2 . (p.i.r.e. en S_2 en direction de R_1) = (puissance surfacique en provenance de T_2) $\times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times G_{S2}$, λ étant la longueur d'onde sur la liaison montante.
- $(G/T)_1$: gain de l'antenne de réception/température de bruit au niveau du terminal R_1
- $(G/T)_{S1}$: gain de l'antenne de réception/température de bruit au niveau du satellite S_1 lorsque la direction de réception est la direction du terminal T_2
- $(G/T)_{S2}$: gain de l'antenne de réception/température de bruit au niveau du satellite S_2 lorsque la direction de réception est la direction du terminal T_2
- $I_{s,1}$: puissance de brouillage en provenance du terminal T_2 reçue au niveau du terminal R_1 , via le satellite S_1 , en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.
- $I_{s,2}$: puissance de brouillage en provenance du terminal T_2 reçue au niveau du terminal R_1 , via le satellite S_2 , en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.
- $I_{t,1}$: puissance de brouillage en provenance du terminal T_2 reçue au niveau du terminal R_1 , via le satellite S_1 , en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.
- $I_{t,2}$: puissance de brouillage en provenance du terminal T_2 reçue au niveau du terminal R_1 , via le satellite S_2 , en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps.
- k : constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
- $\log(X)$: $\log_{10}(X)$
- L_u : affaiblissement sur la liaison montante (temps clair) du terminal T_2 au satellite S_1 ou S_2
- L_d : affaiblissement sur la liaison descendante (temps clair) du satellite S_1 ou S_2 au terminal R_1
- N_{\downarrow} : puissance de bruit du récepteur au niveau du terminal R_1 , correspondant à la température de bruit T_{\downarrow}
- N_{\uparrow} : puissance de bruit provenant du satellite S_1 reçue par le terminal R_1

$N_{\uparrow,2}$: puissance de bruit provenant du satellite S_2 reçue par le terminal R_1

N_r : bruit (du ciel) dû à la pluie au niveau du récepteur R_1 correspondant à la température de la pluie T_r (liaison descendante)

$p_X(x)$: fonction de densité de probabilité (pdf) de X

$P_X(x) = \Pr\{X \leq x\}$: fonction de distribution cumulative (cdf) de X

\bar{X} : variable exprimée en dB, $10 \log_{10} X$

$\langle X \rangle$: valeur moyenne de la variable aléatoire X

Z_s : $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$, dégradation du rapport (C/N) due aux effets des évanouissements dus à la pluie et au brouillage dans le cas statique causé par le terminal T_2

Z_t : $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$, dégradation du rapport (C/N) due aux effets des évanouissements dus à la pluie et au brouillage variable dans le temps causé par le terminal T_2 .

4 Effets du brouillage à court terme: dégradation du rapport (C/N)

Dans le présent paragraphe, on calcule la dégradation du rapport (C/N) au niveau du terminal R_1 résultant des évanouissements dus à la pluie et du brouillage causé par le terminal T_2 . Les évanouissements dus à la pluie introduiront des variations statistiques du rapport (C/N) reçu². On considère d'abord les évanouissements dus à la pluie et le brouillage causé par le terminal T_2 en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps et on calcule la fonction cdf de Z_s , qui est la dégradation du rapport (C/N) au niveau du terminal R_1 . C'est ce qui est examiné au § 4.1. Les erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps sont ensuite introduites au niveau du terminal T_2 et on détermine la fonction cdf de la dégradation résultante du rapport (C/N) au niveau du terminal R_1 , qui est désignée par Z_t . On utilise ensuite ces fonctions cdf pour calculer l'augmentation relative de l'indisponibilité de liaison due aux erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps. C'est ce qui est examiné au § 4.2.

Dans l'analyse contenue dans le présent paragraphe, on suppose qu'un seul satellite adjacent cause des brouillages au récepteur brouillé; si les brouillages causés par d'autres satellites voisins ne sont pas négligeables, il faut en tenir compte d'une manière analogue.

4.1 Cas statique: le terminal T_2 émet en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps

Le rapport porteur sur bruit par temps clair au niveau du récepteur R_1 pour le réseau à satellite représenté sur la Fig. 1 est donné par:

$$(C/N)_{CS} = \frac{C}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + I_{S,1} + I_{S,2} + N_{\uparrow,2}} \quad (14)$$

² Les liaisons par satellite sont généralement conçues avec des marges d'évanouissement afin de tenir compte de ces dégradations.

Les termes de brouillage $I_{s,1}$ et $I_{s,2}$ sont liés au fait que le terminal T_2 émet avec une densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée B_s dans le cas statique, autrement dit en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps. Lorsque T_2 est une microstation, on peut supposer que la valeur de B_s respecte le gabarit de p.i.r.e. hors axe donné dans la Recommandation UIT-R S.728 et est conforme aux Recommandations applicables relatives au brouillage. Il est à noter que, dans l'équation (14), le terme $N_{\uparrow} + I_{s,1}$ correspond au satellite S_1 et le terme $I_{s,2} + N_{\uparrow,2}$ au satellite S_2 . En présence d'évanouissements du signal utile dus à la pluie sur les liaisons montantes et sur les liaisons descendantes, le rapport (C/N) devient:

$$(C/N)_S = \frac{C/A_{\uparrow} A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} / A_{\downarrow} + N_r (1 - 1/A_{\downarrow}) + (I_{S,1} + I_{S,2}) / (A_{\uparrow,1} A_{\downarrow}) N_{\uparrow,2} / A_{\downarrow}} \quad (15)$$

On suppose ici que les satellites S_1 et S_2 sont très proches de sorte que les composantes d'évanouissements dus à la pluie sur les liaisons montantes depuis le terminal T_2 vers ces satellites sont pratiquement identiques. On suppose aussi que les composantes d'évanouissements dus à la pluie sur les liaisons descendantes depuis les satellites S_1 et S_2 vers le terminal R_1 sont analogues. Lorsque les satellites S_1 et S_2 ne sont pas très proches, il est possible que ces hypothèses ne soient pas valables, auquel cas il faudra tenir compte de la corrélation entre les composantes respectives des évanouissements. Il est à noter que le terme $N_r (1 - 1/A_{\downarrow})$, ($A_{\downarrow} \geq 1$), présent au dénominateur désigne le bruit additionnel du récepteur dû à la température de la pluie T_r .

Cela étant, la dégradation du rapport (C/N) en présence d'évanouissements dus à la pluie sur les liaisons montantes et sur les liaisons descendantes peut s'écrire:

$$Z_S = (A_{\uparrow} / A_{\uparrow,1}) \times (A_{\downarrow} A_{\uparrow,1} d_1 + A_{\uparrow,1} d_2 + d_3) \quad (16)$$

où les variables de liaison $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, d_1, d_2$ et d_3 sont définies comme suit:

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{I_{s,2}}{I_{s,1}}; c_2 = \frac{I_{s,1}}{N_{\uparrow}}; c_3 = \frac{N_{\uparrow}}{N_{\downarrow}}; c_4 = \frac{N_r}{N_{\downarrow}}; c_5 = \frac{N_{\uparrow,2}}{I_{s,2}} \\ d_1 &= \frac{1 + c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ d_2 &= \frac{c_1 c_2 c_3 c_5 + c_3 - c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ d_3 &= \frac{c_1 c_2 c_3 + c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \end{aligned} \quad (17)$$

Ces variables peuvent être déterminées pour un ensemble donné de variables de liaison. Plus précisément:

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \frac{G_2(0)}{G_2(\varphi)} \frac{G_{S2}}{G_{S2}} \frac{G_1(\theta)}{G_1(0)} \\
 c_2 &= \frac{B_s G_2(\varphi) (G/T)_{S1}}{k L_u} \\
 c_3 &= \frac{(G/T)_1 G_{S1}}{(G/T)_{S1} L_d} \\
 c_4 &= \frac{T_r}{T_\downarrow} \\
 c_5 &= \frac{k L_u}{B_s G_2(0) (G/T)_{S2}}
 \end{aligned} \tag{18}$$

où, pour simplifier les expressions, on suppose qu'en l'absence d'évanouissements dus à la pluie, les affaiblissements de propagation sur les liaisons montantes depuis le terminal T_2 vers les satellites S_1 et S_2 sont identiques. La même hypothèse est faite pour les affaiblissements de propagation sur les liaisons descendantes depuis les satellites S_1 et S_2 vers le terminal R_1 .

En prenant le logarithme de Z_s dans l'équation (16), on obtient:

$$\bar{Z}_s = \bar{A}_\uparrow - \bar{A}_{\uparrow,l} + 10 \log \left(10^{(\bar{A}_\downarrow + \bar{A}_{\uparrow,l})/10} d_1 + 10^{(\bar{A}_{\uparrow,l})/10} d_2 + d_3 \right) \tag{19}$$

Il est plus facile de déterminer analytiquement la fonction cdf de \bar{Z}_s dans le cas particulier où la composante des évanouissements dus à la pluie sur la liaison montante $\bar{A}_{\uparrow,l}$ est ignorée, autrement dit $\bar{A}_{\uparrow,l} = 0$. Il est à noter que ce cas particulier est uniquement pris en considération dans un souci de simplicité analytique; dans le cas plus général, la composante des évanouissements dus à la pluie ne doit pas être ignorée. Dans ce cas, la fonction cdf de la dégradation peut s'écrire:

$$P_s(\bar{z}) = \Pr(\bar{Z}_s \leq \bar{z}) = \iint_{R_{\bar{z}}} p_{\bar{A}_\downarrow}(u) p_{\bar{A}_\uparrow}(v) \, dv \, du$$

où la région de l'intégrale est telle que, pour $\bar{A}_\downarrow, \bar{A}_\uparrow \in R_{\bar{z}}$, la valeur de \bar{Z}_s satisfait $\bar{Z}_s \leq \bar{z}$. Dans ce qui précède, on suppose que les composantes d'évanouissements dus à la pluie \bar{A}_\downarrow and \bar{A}_\uparrow sont indépendantes l'une de l'autre.

Etant donné que \bar{Z}_s est une fonction croissante de $\bar{A}_\downarrow (\geq 0)$ et $\bar{A}_\uparrow (\geq 0)$, la région $R_{\bar{z}}$ peut être exprimée comme la région limitée par $0 \leq \bar{A}_\uparrow \leq \bar{z} - 10 \log(10^{\bar{A}_\downarrow/10} d_1 + d_2 + d_3)$ et $0 \leq \bar{A}_\downarrow \leq 10 \log((10^{\bar{z}/10} - d_2 - d_3) / d_1)$.

L'intégrale ci-dessus est alors évaluée comme suit:

$$\begin{aligned}
 p_s(\bar{z}) &= \iint_{R_{\bar{z}}} p_{A_{\downarrow}}^-(u) p_{A_{\uparrow}}^-(v) dv du \\
 &= \int_{u=0}^{u'} p_{A_{\downarrow}}^-(u) \int_{v=0}^{u=\bar{z}-10 \log(10^{u/10} d_1 + d_2 + d_3)} p_{A_{\uparrow}}^-(v) dv du \\
 &= \int_{u=0}^{u'} p_{A_{\downarrow}}^-(u) p_{A_{\uparrow}}^-(\bar{z} - 10 \log(10^{u/10} d_1 + d_2 + d_3)) du
 \end{aligned} \tag{20}$$

où $u' = 10 \log ((10^{\bar{z}/10} - d_2 - d_3) / d_1)$.

4.2 Le terminal T_2 émet en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps

Dans ce cas, des erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps sont introduites au niveau de l'émetteur T_2 . Afin de limiter le brouillage additionnel en présence d'erreurs de pointage d'antenne, la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée doit être ramenée de B_t à B_s . Compte tenu de l'équation (2), le rapport (C/N) en présence d'évanouissements dus à la pluie et d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps est le suivant:

$$(C/N)_t = \frac{C/A_{\uparrow} A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow}/A_{\downarrow} + N_r (1 - 1/A_{\downarrow}) + (I_{t,1} + I_{t,2})/(A_{\uparrow,1} A_{\downarrow}) + N_{\uparrow,2}/A_{\downarrow}} \tag{21}$$

où les termes de brouillage variable dans le temps $I_{t,1}$ et $I_{t,2}$ peuvent être exprimés sous la forme de fractions par rapport à leurs valeurs correspondantes dans le cas statique:

$$\begin{aligned}
 \frac{I_{t,1}}{I_{s,1}} &= \frac{B_t G_{2,t}(\varphi)}{B_s G_2(\varphi)} \\
 \frac{I_{t,2}}{I_{s,2}} &= \frac{B_t G_{2,t}(0)}{B_s G_2(0)}
 \end{aligned} \tag{22}$$

Les facteurs de gain d'antenne ci-dessus G_2 et $G_{2,t}$ peuvent être obtenus à partir de la connaissance du diagramme de gain d'antenne. Le diagramme de gain d'antenne normalisé peut par exemple s'écrire:

$$G(\varphi) = \left(\frac{2^{n+1} (n+1)! j_{n+1}(\pi d / \lambda \times \sin \varphi)}{(\pi d / \lambda \times \sin \varphi)^{n+1}} \right) \tag{23}$$

où φ est l'angle hors axe, J_{n+1} est la fonction de Bessel de la première espèce et d'ordre $(n+1)$, d est le diamètre de l'ouverture circulaire et λ est la longueur d'onde. Dans ce qui précède, n est le paramètre d'éclairage de l'ouverture de l'antenne avec les valeurs suivantes: $n = 0$, uniforme idéal; $n = 1$, parabolique et $n = 2$, parabolique carré. Le lobe principal de nombreux systèmes d'ouverture utilisées dans la pratique se situe entre les diagrammes de gain correspondant à $n = 0$ et $n = 2$. Il est à noter que les lobes latéraux des antennes utilisées dans la pratique ne sont peut-être pas représentés de façon exacte par l'équation (23).

Conformément à la notation utilisée dans l'équation (22), le facteur de gain d'antenne en l'absence d'erreurs de pointage est $G_2(\varphi) = G(\varphi)$. En présence d'erreurs de pointage d'antenne, ces erreurs peuvent être caractérisées par les erreurs en élévation et en azimut désignées respectivement par ϕ_e et ϕ_a . L'erreur angulaire requise, qui correspond à l'angle entre la direction de l'axe de visée de l'antenne et la direction depuis le terminal T_2 vers le satellite S_1 , peut alors s'écrire $\Phi(\varphi, \phi_e, \phi_a)$, où la fonction Φ peut être déterminée pour une géométrie spécifique comme indiqué au § 3 de l'Annexe 1. Le facteur de gain d'antenne de l'équation (22) s'écrit à présent:

$$I_{t,1} \leq \frac{1}{\Delta B} \frac{1}{G_2(\varphi)} I_{s,1} \quad (24)$$

En présence d'erreurs de pointage d'antenne, étant donné que le pointage du faisceau principal du terminal T_2 est éloigné du satellite S_2 , on a $I_{t,2} < I_{s,2}$. En d'autres termes, en ce qui concerne le brouillage reçu par le terminal R_1 via le satellite S_2 , la dégradation due aux erreurs de pointage d'antenne est toujours inférieure au brouillage correspondant dans le cas statique. En ce qui concerne le brouillage reçu via le satellite S_1 , il ressort de l'équation (22) que la valeur maximale de la composante de brouillage se produit pour $G_{2,t}(\varphi)$, autrement dit lorsque l'axe de visée de l'antenne est aligné avec la direction allant du terminal T_2 au satellite S_1 . Ceci montre que, pour le système à deux satellites considéré ici, une limite supérieure peut être établie pour la puissance de brouillage variable dans le temps, quelle que soit la valeur de l'erreur de pointage.

D'après les équations (14) et (21), la dégradation du rapport (C/N) en présence d'erreurs de pointage d'antenne est donnée par:

$$Z_t = (A_{\uparrow} / A_{\uparrow,J}) \times (A_{\downarrow} / A_{\uparrow,J} e_1 + A_{\uparrow,J} e_2 + G_{2,t}(\varphi) / \Delta B e_3 + G_{2,t}(0) / \Delta B e_4) \quad (25)$$

où les variables de liaison sont définies par:

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{1 + c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ e_2 &= \frac{c_1 c_2 c_3 c_5 + c_3 - c_4}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ e_3 &= \frac{1}{G_2(\varphi)} \frac{c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \\ e_4 &= \frac{1}{G_2(0)} \frac{c_1 c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3} \end{aligned} \quad (26)$$

Si on exprime l'équation (25) sous forme logarithmique, on obtient:

$$\bar{Z}_t = \bar{A}_{\uparrow} - \bar{A}_{\uparrow,J} + 10 \log \left(10^{(\bar{A}_{\downarrow} + \bar{A}_{\uparrow,J})/10} e_1 + 10^{\bar{A}_{\uparrow,J}/10} e_2 + 10^{(\bar{G}_{2,t}(\varphi) - \bar{\Delta B})/10} e_3 + 10^{(\bar{G}_{2,t}(0) - \bar{\Delta B})/10} e_4 \right) \quad (27)$$

Comme dans le cas statique, dans un souci de simplicité analytique, on considère le cas particulier où $\bar{A}_{\uparrow,t} = 0$. Dans ce cas, la fonction cdf de \bar{Z}_t peut s'écrire:

$$P_t(\bar{z}) = \Pr(\bar{Z}_t \leq \bar{z}) \\ = \int_{R_{\bar{z}}} p_{\bar{G}_{2,t}(0)}(w) p_{\bar{G}_{2,t}(\varphi)}(v) p_{\bar{A}_{\downarrow}}(u) p_{\bar{A}_{\uparrow}}(t) dt du dv dw$$

où la région de l'intégrale est telle que, pour $\bar{G}_{2,t}(0), \bar{G}_{2,t}(\varphi), \bar{A}_{\downarrow}, \bar{A}_{\uparrow} \in R_{\bar{z}}; \bar{Z}_t \leq \bar{z}$. On suppose ici que les variables aléatoires respectives sont indépendantes statistiquement. Il est à noter que, dans les conditions générales, les variables aléatoires $\bar{G}_{2,t}(0)$ et $\bar{G}_{2,t}(\varphi)$ ne sont pas nécessairement indépendantes statistiquement, auquel cas il convient de tenir compte de la distribution conjointe de ces deux variables aléatoires dans l'expression ci-dessus. \bar{Z}_t étant une fonction croissante des variables $\bar{G}_{2,t}(0), \bar{G}_{2,t}(\varphi), \bar{A}_{\downarrow}$ et \bar{A}_{\uparrow} , l'intégrale ci-dessus peut s'écrire:

$$P_t(\bar{z}) = \int_{w=-\infty}^{w'} p_{\bar{G}_{2,t}(0)}(w) \int_{v=-\infty}^{v'} p_{\bar{G}_{2,t}(\varphi)}(v) \int_{u=0}^{u'} p_{\bar{A}_{\downarrow}}(u) \\ p_{\bar{A}_{\uparrow}}(\bar{z} - 10 \log(10^{u/10} e_1 + e_2 + 10^{(v-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_3 + 10^{(w-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_4)) du dv dw \quad (28)$$

où les limites supérieures des intégrales sont les suivantes:

$$u' = 10 \log \left(\frac{10^{\bar{z}/10} - e_2 - 10^{(v-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_3 - 10^{(w-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_4}{e_1} \right) \\ v' = 10 \log \left(\frac{10^{\bar{z}/10} - e_1 - e_2 - 10^{(w-\bar{\Delta}\bar{B})/10} e_4}{e_3} \right) + \bar{\Delta}\bar{B} \\ w' = 10 \log \left(\frac{10^{\bar{z}/10} - e_1 - e_2 - 10^{-\bar{\Delta}\bar{B}/10} e_3}{e_4} \right) + \bar{\Delta}\bar{B} \quad (29)$$

L'augmentation relative de l'indisponibilité de liaison due aux erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps par rapport à l'indisponibilité totale de liaison $R(\bar{z})$ (%) peut s'écrire:

$$R(\bar{z})\% = 100\% \times \frac{(1 - P_t(\bar{z})) - (1 - P_s(\bar{z}))}{(1 - P_t(\bar{z}))} \quad (30)$$

Il est à noter que l'on peut déduire de la discussion qui a mené à l'équation (24) que, pour des valeurs plus grandes de $\bar{\Delta}\bar{B}$, $P_t(\bar{z})$ pourrait être supérieur à $P_s(\bar{z})$. Il s'ensuit que, dans certains cas, $R(\bar{z}) < 0$, autrement dit, en réduisant la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée, il est possible de rendre le brouillage variable dans le temps inférieur au brouillage correspondant en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps. Pour calculer $R(\bar{z})$ selon l'équation (30), on suppose que l'indisponibilité totale de liaison correspond à $p_i\%$ et que $(100 - T_{allow})\%$ de cette valeur sont attribués au brouillage dans le cas statique. La marge d'évanouissement nécessaire dans

les conditions statiques pour cette indisponibilité de liaison, \bar{z}^* , est calculée à partir de $(1 - P_s(\bar{z}^*)) = p_i \% \times (100 - T_{allow})\%$. L'indisponibilité globale de la liaison pour cette marge d'évanouissement en présence de brouillage variable dans le temps correspond à $(1 - P_i(\bar{z}^*))$. Cela étant, l'augmentation relative de l'indisponibilité de liaison pour cette marge d'évanouissement, $R(\bar{z}^*)\%$, peut être calculée à partir de l'expression donnée dans l'équation (30).

TABLEAU 1

Paramètres de la liaison du terminal T_2 au terminal R_1

| | |
|--|---|
| Fréquence sur la liaison montante (GHz) | 14,2 |
| Affaiblissements sur la liaison montante/sur la liaison descendante (dB) | 207/205,3 (Ankara) 207,2/205,3 (Londres) |
| Constante de Boltzmann (dBW/Hz/K) | -228,6 |
| Faible gain du signal au niveau du satellite S_1 , G_{S1} (dB) | 175,2 |
| $(G/T)_{S1}$ (dB/K) | 2 (Ankara) 4 (Londres) |
| Fréquence sur la liaison descendante (GHz) | 11,7 |
| T_r (K) | 285 |
| Angle hors axe, du terminal T_2 au satellite S_1 | 2,22° (Ankara) 2,18° (Londres) |

TABLEAU 2

Paramètres pour calculer l'affaiblissement dû à la pluie

| | |
|--|--|
| Emplacement du satellite S_1 (Eutelsat W1) | 10° E |
| Emplacement du satellite S_2 | 12° E |
| Emplacement du terminal T_1 (îles Canaries) | Latitude: 27,76° N Longitude: -15,63° E |
| Altitude du terminal T_1 au-dessus du niveau moyen de la mer (m) | 205 |
| Emplacement du terminal R_1 (Matera, Italie) | Latitude: 40,39° N Longitude: 16,42° E |
| Altitude du terminal R_1 au-dessus du niveau moyen de la mer (m) | 527 |
| Emplacement du terminal T_2 (Ankara, Turquie) | Latitude: 39,8° N Longitude: 32,8° E |
| Emplacement du terminal T_2 (Londres, Angleterre) | Latitude: 51,5° N Longitude: -0,12° E |
| Altitude du terminal T_2 au-dessus du niveau moyen de la mer (m) | 200 (Ankara) 200 (Londres) |

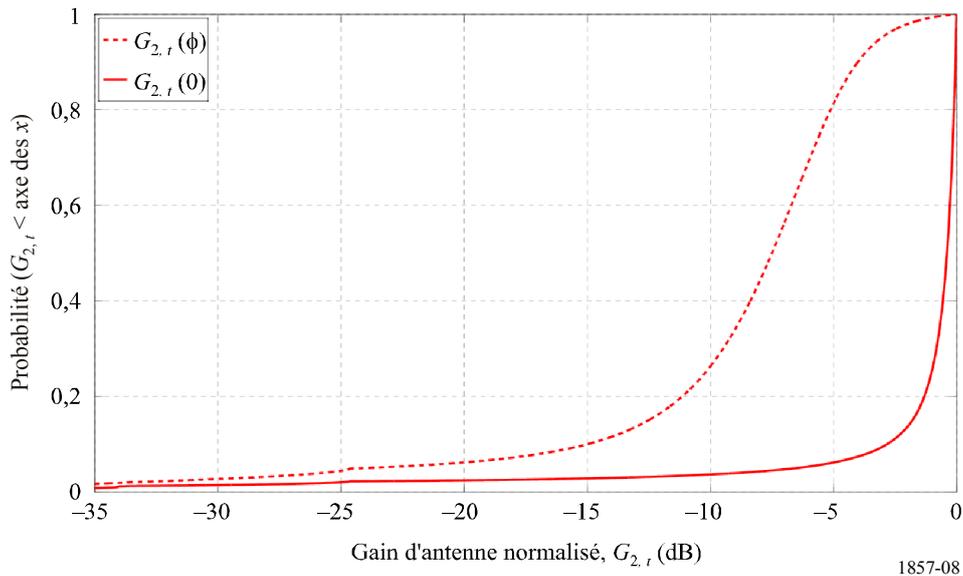
5 Exemple de calcul à l'aide de la méthode ci-dessus

Le présent paragraphe donne un exemple de calcul pour illustrer la méthode décrite au § 4. Le Tableau 1 donne les paramètres de liaison utilisés dans cet exemple. Les composantes d'affaiblissement dû à la pluie A_{\uparrow} , A_{\downarrow} et $A_{\uparrow,t}$ sont calculées conformément à la Recommandation UIT-R P.618 en utilisant les paramètres donnés dans le Tableau 2. Dans cet exemple, on suppose que le récepteur R_1 est doté d'une antenne à grande ouverture. Etant donné que le gain d'antenne est tel que $G_1(\theta) \ll G_1(0)$, le brouillage causé par le satellite S_2 au récepteur R_1 est négligeable dans cet exemple.

La Fig. 8 illustre les fonctions cdf des variables aléatoires $G_{2,t}(0)$ et $G_{2,t}(\varphi)$ en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps. Les erreurs de pointage d'antenne correspondent aux erreurs en azimut et en élévation générées à partir d'une distribution $S\alpha S$ (voir le § 2 de l'Annexe 1) dont les paramètres sont $\alpha = 1,5$ et $c = 0,35^\circ$. Le diagramme de gain d'antenne spécifique utilisé est donné dans l'équation (23) avec $n = 1$ et $d = 0,51$ m. Dans cet exemple, l'angle hors axe du terminal T_2 au satellite S_1 , φ , est de $2,22^\circ$ et le gain d'antenne normalisé correspondant est $G_2(\varphi) = -6,7$ dB. Cette figure montre les fluctuations de $G_{2,t}(\varphi)$ en présence d'erreurs de pointage d'antenne. Il est à noter que, par rapport au cas statique, on aura une augmentation du brouillage causé au satellite S_1 lorsque $G_{2,t}(\varphi) > G_2(\varphi)$ et une diminution lorsque $G_{2,t}(\varphi) < G_2(\varphi)$.

FIGURE 8

Fonctions cdf des gains d'antenne normalisés $G_{2,t}(0)$ et $G_{2,t}(\varphi)$ en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps (T_2 situé à Ankara, Turquie)



1857-08

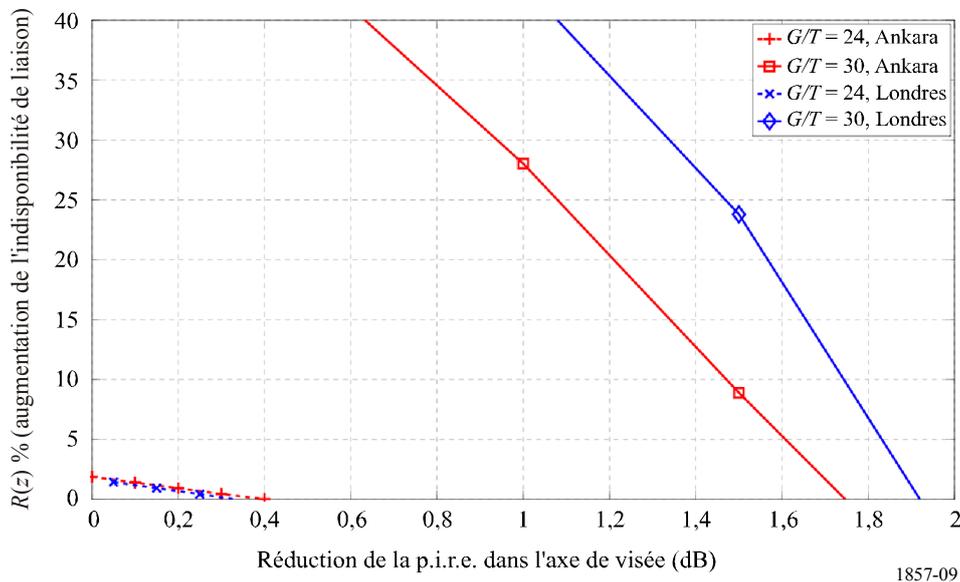
La Fig. 9 illustre $R(\bar{z})\%$ pour différentes valeurs de la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée de l'antenne. Dans cet exemple, on procède à une simulation de Monte-Carlo pour les variables de dégradation \bar{Z}_s et \bar{Z}_t données par les équations (19) et (27) afin de déterminer les probabilités $P_s(\bar{z})$ et $P_t(\bar{z})$. Dans cet exemple, on considère, à titre d'illustration, une condition de disponibilité de liaison de 98%. Comme examiné au § 2, il s'agit d'une condition nécessaire pour assurer la protection des satellites voisins. Pour cet exemple, on a donc $p_i\% = 2\%$. On suppose que 90% ($T_{allow}\% = 10\%$) de l'indisponibilité de liaison sont attribués aux évanouissements dus à la pluie et au brouillage dans le cas statique, autrement dit $(1 - P_s(\bar{z})) = (1 - 0,98) \times 90\%$. On détermine la marge d'évanouissement correspondante \bar{z}_{margin} , telle que $(1 - P_s(\bar{z}_{margin})) = (1 - 0,98) \times 90\%$. On détermine ensuite l'indisponibilité globale de la liaison pour cette marge d'évanouissement en

présence d'erreurs de pointage d'antenne $1 - P_t(\bar{z}_{margin})$. La valeur de $R(\bar{z}_{margin})$ peut être obtenue à partir de l'équation (30).

Ainsi qu'il ressort de la Fig. 9, en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps, on peut nettement réduire l'indisponibilité de liaison en réduisant la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée. Il est à noter que, comme indiqué ci-dessus, pour les valeurs plus grandes de $\overline{\Delta B}$, l'augmentation de l'indisponibilité de liaison pourrait être telle que $R(\bar{z}) < 0$. Par ailleurs, pour les grandes valeurs du rapport (G/T) du récepteur, celui-ci est plus sensible au brouillage reçu du satellite; il s'ensuit une augmentation du brouillage et par conséquent une augmentation de l'indisponibilité de la liaison.

FIGURE 9

$R(\bar{z})$ pour les paramètres de liaison donnés dans les Tableaux 1 et 2.
 Dans la légende, on donne le rapport (G/T) (dB/K) au niveau du récepteur R_1



6 Effets du brouillage à long terme

Comme indiqué plus haut, pour calculer la puissance de brouillage à long terme, on prend la moyenne de la puissance de brouillage sur une période suffisamment longue pour contenir toutes les variations représentatives du signal de brouillage variable dans le temps. Dans les Recommandations pertinentes de l'UIT-R dans lesquelles des limites sont imposées à la puissance de brouillage moyenne, on considère le rapport entre la puissance de brouillage reçue et la puissance totale de bruit du système de réception. En l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps, si on considère le brouillage causé par l'émetteur T_2 qui est reçu par le récepteur R_1 via les satellites S_1 et S_2 , ce rapport peut s'écrire:

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{I_{s,1} + I_{s,2}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + I_{s,1} + I_{s,2} + N_{\uparrow,2}} \\
 &= \frac{c_2 c_3 + c_1 c_2 c_3}{1 + c_1 c_2 c_3 (1 + c_5) + c_2 c_3 + c_3}
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

Des erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps sont ensuite introduites par rapport au cas statique ci-dessus et on prend la moyenne de la puissance de brouillage sur T_{avg} pour obtenir les valeurs des termes de brouillage $I_{t,1}$ et $I_{t,2}$ moyennées dans le temps, qui sont désignées par $\langle I_{t,1} \rangle$ et $\langle I_{t,2} \rangle$. La fraction donnant la puissance moyenne de brouillage rapportée à la puissance totale de bruit du système peut alors s'écrire:

$$f_t = \frac{\langle I_{t,1} \rangle + \langle I_{t,2} \rangle}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + \langle I_{t,1} \rangle + \langle I_{t,2} \rangle + N_{\uparrow,2}} \quad (32)$$

$$= \frac{c_2 c_3 \langle G_{2,t}(\varphi) \rangle / (\Delta B G_2(\varphi)) + c_1 c_2 c_3 \langle G_{2,t}(0) \rangle / (\Delta B G_2(0))}{1 + c_3 + c_2 c_3 \langle G_{2,t}(\varphi) \rangle / (\Delta B G_2(\varphi)) + c_1 c_2 c_3 \langle G_{2,t}(0) \rangle / (\Delta B G_2(0)) + c_1 c_2 c_3 c_5}$$

L'augmentation du brouillage moyen à long terme par rapport au brouillage total s'écrit alors:

$$R_L (\%) = 100 \% \times \frac{f_t - f_s}{f_t} \quad (33)$$

7 Exemple de procédure de mise en œuvre de cette méthode

Le présent paragraphe décrit une procédure par étapes de mise en œuvre des calculs donnés au § 4. Plus précisément, cette procédure consiste, sur la base de simulations de Monte-Carlo, à calculer l'augmentation d'indisponibilité de liaison résultant d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps. Il est à noter que cette procédure est uniquement donnée à titre d'illustration, d'autres procédures pouvant être utilisées.

7.1 Données utilisées pour le calcul

Paramètres de liaison: longitudes et latitudes des terminaux T_1 , R_1 et T_2 ; longitudes des satellites S_1 et S_2 ; θ , $G_1(\theta)$, $(G/T)_1$, T_{\downarrow} ; φ , diagramme de gain d'antenne normalisé du terminal T_2 , $G_2(\varphi)$; G_{S1} , G_{S2} , $(G/T)_{S1}$, $(G/T)_{S2}$; L_d , L_u , T_r .

Paramètres relatifs à la pluie: intensité de pluie (0,01% mm/h), altitude au-dessus du niveau moyen de la mer et hauteur de pluie (pour les terminaux T_1 , R_1 et T_2). Pour calculer ces paramètres, on peut aussi utiliser les Recommandations UIT-R P.837 et UIT-R P.839.

Indisponibilité de liaison: pourcentages de temps requis pour l'indisponibilité de liaison, p_i %. Tolérance de temps attribuée aux interruptions de liaison dues aux brouillages variables dans le temps, T_{allow} %.

Paramètre relatif aux simulations de Monte-Carlo: longueur des vecteurs aléatoires, N .

Caractéristiques des erreurs de pointage d'antenne: vecteurs d'erreurs en azimut et en élévation de longueur N , ϕ_e et ϕ_a , générés comme examiné au § 2 de l'Annexe 1.

7.2 Dégradation du rapport (C/N) en l'absence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps

Etape 1: Déterminer B_s , la densité de p.i.r.e. dans l'axe de visée du terminal T_2 , compte tenu de $G_2(\varphi)$ et de la Recommandation UIT-R S.728. On suppose que cette valeur de B_s respecte les divers critères de brouillage et de coordination récapitulés dans la Recommandation UIT-R S.1432.

Etape 2: Calculer les variables de liaison.

- a) En utilisant les paramètres de liaison, calculer les variables c_1, c_2, c_3, c_4 et c_5 données par l'équation (18).
- b) Calculer d_1 et d_2 données par l'équation (17).

Etape 3: Déterminer les évanouissements dus à la pluie sur les liaisons montantes et sur les liaisons descendantes.

- a) En utilisant les paramètres relatifs à la pluie, déterminer les fonctions cdf des évanouissements dus à la pluie sur les liaisons montantes et sur les liaisons descendantes, $\bar{A}_\uparrow, \bar{A}_\downarrow$ et $\bar{A}_{\uparrow,I}$, conformément à la Recommandation UIT-R P.618.
- b) A partir de ces fonctions cdf, déterminer trois vecteurs de variables aléatoires, chacun de longueur N , pour $\bar{A}_\uparrow, \bar{A}_\downarrow$ et $\bar{A}_{\uparrow,I}$.

Etape 4: En utilisant l'équation (19), générer le vecteur de variables aléatoires pour \bar{Z}_s .

Etape 5: Déterminer la fonction cdf de \bar{Z}_s , $P_s(\bar{z})$, en utilisant ce vecteur de variables aléatoires.

Etape 6: Calculer la marge d'évanouissement \bar{z}_i requise pour une indisponibilité de liaison de $p_i\% \times (100 - T_{allow})\%$. Cette marge requise satisfait: $(1 - P_s(\bar{z})) = p_i / 100 \times (100 - T_{allow}) / 100$.

7.3 Dégradation du rapport (C/N) en présence d'erreurs de pointage d'antenne variables dans le temps

Etape 7: Déterminer les paramètres de liaison e_1, e_2, e_3 et e_4 donnés par l'équation (13).

Etape 8: Générer deux vecteurs aléatoires, chacun de longueur N , pour $G_{2,t}(0)$ et $G_{2,t}(\varphi)$.

- a) Comme examiné au § 2 de l'Annexe 1, générer deux vecteurs aléatoires, chacun de longueur N , pour les variables d'erreurs de pointage ϕ_ε et ϕ_a .
- b) En utilisant les longitudes et latitudes relatives et les erreurs de pointage, calculer les vecteurs d'angle entre la direction de l'axe de visée du terminal T_2 et les directions des satellites S_1 et S_2 , $\Phi(\varphi, \phi_\varepsilon, \phi_a)$ et $\Phi(0, \phi_\varepsilon, \phi_a)$, comme indiqué au § 3 de l'Annexe 1. Il est à noter que, conformément à la notation figurant dans l'Annexe 1, $\Phi(\varphi, \phi_\varepsilon, \phi_a)$ correspond à θ_{BS_φ} exprimé dans l'équation (4).
- c) Déterminer les vecteurs aléatoires de longueur N pour $G_{2,t}(0)$ et $G_{2,t}(\varphi)$ comme suit: $G_{2,t}(\varphi) = G_2(\Phi(\varphi, \phi_\varepsilon, \phi_a))$.

Etape 9: Poser ΔB comme paramètre.

Etape 10: Générer \bar{Z}_t donné par l'équation (12), qui est un vecteur aléatoire de longueur N .

Etape 11: Déterminer la fonction cdf de \bar{Z}_t , $P_t(\bar{z})$, en utilisant ce vecteur de variables aléatoires.

Etape 12: Déterminer la disponibilité de liaison pour la marge d'évanouissement \bar{z}_i calculée à l'étape 6, qui est $P_t(\bar{z}_i)$.

Etape 13: Déterminer l'augmentation relative d'indisponibilité de liaison $R(\bar{z}_i)$, donnée par l'équation (30).

8 Résumé

Dans la présente annexe, on a décrit une méthode permettant d'évaluer les effets des brouillages pour les satellites voisins résultant des erreurs de pointage d'antenne de station VMES variables dans le temps.

On s'est plus précisément intéressé à l'augmentation de brouillage par rapport au cas d'un terminal statique, dans lequel les caractéristiques sont exactement les mêmes que dans le cas d'un terminal à bord d'un véhicule, mais sans les erreurs de pointage d'antenne liées aux mouvements. L'approche suivie est analogue à celle établie dans la Recommandation UIT-R S.1323, dans laquelle les effets de propagation tels que les évanouissements dus à la pluie et les variations de bruit du récepteur sont responsables d'au plus 90% de la tolérance de temps pour les interruptions de liaison. Dans la présente Recommandation, on suppose que les effets de propagation et le brouillage dû à un terminal statique sont responsables de $(100 - T_{allow})\%$ de la tolérance de temps correspondante. Une méthode permettant d'évaluer l'augmentation du brouillage à long terme par rapport au cas statique est également présentée. Dans l'analyse du brouillage à long terme, le signal est moyenné sur une période T_{avg} , qui est supposée être suffisamment longue pour que les caractéristiques statistiques du brouillage soient raisonnablement bien représentées pendant cette période.
