

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1583-1
(10/2007)

Calcul des brouillages produits par un système à satellites non géostationnaire du service mobile par satellite ou du service de radionavigation par satellite au niveau des sites de radioastronomie

Série M

Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés



Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

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

Séries des Recommandations UIT-R

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

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

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

Publication électronique
Genève, 2010

© UIT 2010

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

RECOMMANDATION UIT-R M.1583-1*

**Calcul des brouillages produits par un système à satellites non géostationnaire
du service mobile par satellite ou du service de radionavigation
par satellite au niveau des sites de radioastronomie**

(Question UIT-R 236/8)

(2002-2007)

Domaine d'application

La présente Recommandation décrit une méthodologie à utiliser pour calculer l'importance de la perte de données due aux brouillages produits par un système à satellites non géostationnaire (non OSG) du service mobile par satellite ou de radionavigation par satellite au niveau d'un site de radioastronomie. Cette méthodologie est basée sur le calcul de la puissance surfacique équivalente (epfd) produite par le système actif considéré au niveau du site de radioastronomie.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, dans certains cas, des bandes de fréquences proches ou adjacentes ont été attribuées au service de radioastronomie et aux services spatiaux (espace vers Terre);
- b) que l'exploitation du service de radioastronomie est fondée sur la réception d'émissions à des niveaux de puissance bien inférieurs à ceux généralement utilisés pour d'autres services de radiocommunication;
- c) qu'en raison de ces faibles niveaux de puissance reçue, le service de radioastronomie est généralement plus susceptible que d'autres services d'être brouillé par des rayonnements non désirés;
- d) que, du fait des caractéristiques des systèmes à satellites non géostationnaires (non OSG) et notamment de la nature non stationnaire de leurs émissions, les niveaux de brouillages causés par ce type de satellites aux radiotélescopes ne peuvent être évalués de la même manière que pour le cas de satellites OSG,

recommande

1 que la méthode décrite dans l'Annexe 1 soit utilisée pour déterminer les niveaux de rayonnements non désirés produits par un système à satellites non OSG du service de radionavigation par satellite ou du service mobile par satellite au niveau de sites de radioastronomie;

2 que le diagramme d'antenne présenté dans la Recommandation UIT-R RA.1631 serve à modéliser les antennes de radioastronomie pour déterminer les niveaux de rayonnements susmentionnés;

* La présente Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 7 des radiocommunications.

3 que le pourcentage de temps durant lequel on observe un dépassement d'un niveau de seuil de puissance surfacique équivalente (epfd) soit également déterminé conformément à la méthode décrite dans l'Annexe 2.

Annexe 1

Calculs des niveaux de rayonnements non désirés produits par un système à satellites non OSG du service de radionavigation par satellite ou du service mobile par satellite au niveau des sites de radioastronomie

La méthode décrite ici, fondée sur le concept de «puissance surfacique équivalente» (epfd), vise à permettre le calcul des niveaux de puissance surfacique produits par les rayonnements non désirés d'un système à satellites non OSG et subis par des radiotélescopes, compte tenu des caractéristiques du système à satellites et de l'antenne du radiotélescope considérés. Cette epfd correspond à la somme des rayonnements produits par tous les satellites; on la modélise par la puissance surfacique rayonnée par une source unique équivalente située sur l'axe de visée (valeur maximale du faisceau principal) du radiotélescope.

1 Paramètres requis

Du fait des caractéristiques propres aux systèmes à satellites non OSG, il est clair que les niveaux de brouillages causés par ce type de satellites et subis par un radiotélescope ne peuvent être évalués de la même manière que pour le cas de satellites OSG. Il est nécessaire d'utiliser une méthode statistique tenant compte de l'aspect évolutif lié aux satellites non OSG.

L'estimation des brouillages causés par les satellites et subis par un radiotélescope pendant la durée d'intégration (2 000 s) doit être fondée sur des calculs statistiques et doit tenir compte des paramètres associés aux satellites ou au radiotélescope.

Les paramètres à considérer pour les systèmes à satellites non OSG sont les suivants:

- le nombre de satellites visibles dans le ciel depuis la station de radioastronomie;
- les caractéristiques orbitales détaillées des satellites;
- la puissance surfacique rayonnée par chaque satellite au niveau du radiotélescope dans la bande de radioastronomie considérée, qui peut être estimée en utilisant un modèle de gabarit de rayonnements non désirés.

Les paramètres à considérer pour le radiotélescope sont les suivants:

- l'emplacement de l'antenne;
- le diagramme d'antenne et le gain d'antenne;
- les directions de pointage utilisées dans la pratique;
- la direction de pointage suivant l'axe de visée;
- les angles hors axe entre l'axe de visée de l'antenne de la station de radioastronomie et les directions d'émission des satellites;
- la durée d'intégration (2 000 s).

2 Calcul des niveaux d'epfd au niveau des sites de radioastronomie

Le gain de réception d'un radiotélescope en direction d'un satellite non OSG varie dans le temps (contrairement au cas d'un satellite OSG), essentiellement parce que le satellite se déplace sur son orbite et que le diagramme des lobes latéraux du radiotélescope présente une structure angulaire fine. Le gain du télescope en direction d'un satellite donné est parfois bien supérieur à 0 dBi, ou peut être inférieur à cette valeur.

Par ailleurs, dans le cas d'un système non OSG à plusieurs satellites, il faut tenir dûment compte des contributions des différents satellites.

On peut pour ce faire utiliser le concept d'epfd défini initialement pour évaluer les conditions de partage possibles entre systèmes OSG et non OSG. Ce concept est développé au paragraphe ci-dessous dans le cas d'une station de radioastronomie brouillée par des satellites non OSG.

2.1 Définition de l'epfd

Soit une antenne recevant dans sa largeur de bande de référence une puissance émanant de plusieurs émetteurs situés à des distances diverses suivant des directions variées et émettant différents niveaux de puissance surfacique incidente. La puissance epfd reçue par cette antenne est égale à la puissance surfacique qui, générée par un émetteur unique situé dans le champ lointain de l'antenne suivant la direction de gain maximal de celle-ci, produirait à l'entrée de l'antenne une puissance égale à la somme des différentes puissances effectivement reçues en provenance des divers émetteurs.

On calcule l'epfd instantanée en utilisant la formule suivante:

$$epfd = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} \right] \quad (1)$$

où:

- N_a : nombre de stations spatiales non OSG visibles depuis le radiotélescope
- i : index de la station spatiale non OSG considérée
- P_i : puissance radioélectrique de rayonnements non désirés à l'entrée de l'antenne (ou puissance radioélectrique rayonnée dans le cas d'une antenne active) générée par la station spatiale émettrice considérée du système non OSG (dBW) dans la largeur de bande de référence
- θ_i : angle (degrés) entre l'axe de visée de la station spatiale émettrice considérée appartenant au système non OSG et la direction du radiotélescope
- $G_t(\theta_i)$: gain (exprimé par un rapport de puissances) de l'antenne d'émission de la station spatiale considérée appartenant au système non OSG en direction du radiotélescope
- d_i : distance (m) entre la station émettrice considérée appartenant au système non OSG et le radiotélescope
- φ_i : angle hors axe (degrés) entre la direction de pointage du radiotélescope et la direction de la station spatiale émettrice considérée appartenant au système non OSG
- $G_r(\theta_i)$: gain (exprimé par un rapport de puissances) de l'antenne de réception du radiotélescope en direction de la station spatiale d'émission considérée appartenant au système non OSG (voir la Recommandation UIT-R RA.1631)

$G_{r,max}$: gain (exprimé par un rapport de puissances) maximal du radiotélescope

$epfd$: puissance surfacique équivalente instantanée (dB(W/m²)) dans la largeur de bande de référence au niveau du radiotélescope.

On suppose pour le calcul de l'epfd suivant l'équation (1) que la puissance surfacique résultante de toutes les sources de brouillage est dirigée suivant l'axe de visée de l'antenne de réception (axe de gain maximal). Toutefois, le critère de protection de radioastronomie est fondé sur un contour d'antenne à 0 dBi. En utilisant la même approche que pour l'équation (1), on peut déterminer comme suit la puissance surfacique produite par l'ensemble des sources de brouillage pointant vers le gain à 0 dBi de l'antenne de réception:

$$epfd_{G_r=0 \text{ dBi}} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot G_r(\varphi_i) \right] \quad (2)$$

Les valeurs $epfd_{G_r=0 \text{ dBi}}$ résultant de l'équation (2) après établissement des valeurs moyennes sous forme linéaire pour une durée d'intégration de 2000 s, peuvent être comparées aux niveaux des puissances surfaciques (définis en supposant un gain de l'antenne en réception de 0 dBi en direction des brouillages, pour cette durée d'intégration).

NOTE 1 – On suppose que chaque émetteur est situé dans le champ lointain du radiotélescope (c'est-à-dire à une distance supérieure à $2D^2/\lambda$, où D est le diamètre réel du radiotélescope et λ la longueur d'onde d'observation). Bien qu'elle ne soit pas satisfaisante dans toutes les conditions, on considère qu'il s'agit là d'une bonne approximation.

NOTE 2 – La direction de gain maximal (c'est-à-dire l'axe de visée) de certains télescopes ne coïncide pas toujours avec l'axe géométrique de l'instrument.

NOTE 3 – Dans le cas d'antennes actives, P_i correspond à la puissance radioélectrique rayonnée et non à la puissance à l'entrée de l'antenne.

NOTE 4 – La valeur à utiliser pour le gain d'antenne $G_t(\theta_i)$ de la station émettrice est celle qui correspond à la fréquence d'observation du radiotélescope. Elle peut être différente de celle associée aux fréquences d'exploitation de la station.

Annexe 2

Distribution des niveaux d'epfd

On décrit dans la présente Annexe une méthode permettant de calculer des statistiques de puissance epfd sur la globalité du ciel.

1 Division du ciel en cellules d'angles solides à peu près égaux

La première étape consiste à diviser le ciel en M anneaux parallèles à l'horizon, espacés régulièrement suivant l'axe de l'angle d'élévation (qui varie entre 0° et 90°). La largeur de chaque anneau est de $90/M^\circ$. On divise ensuite ces anneaux en cellules, dont la largeur suivant l'axe azimutal (choisie de telle manière qu'un anneau contienne un nombre entier de cellules) est approximativement égale à:

$$\frac{90 / M}{\cos(\text{élévation})} \quad \text{degrés}$$

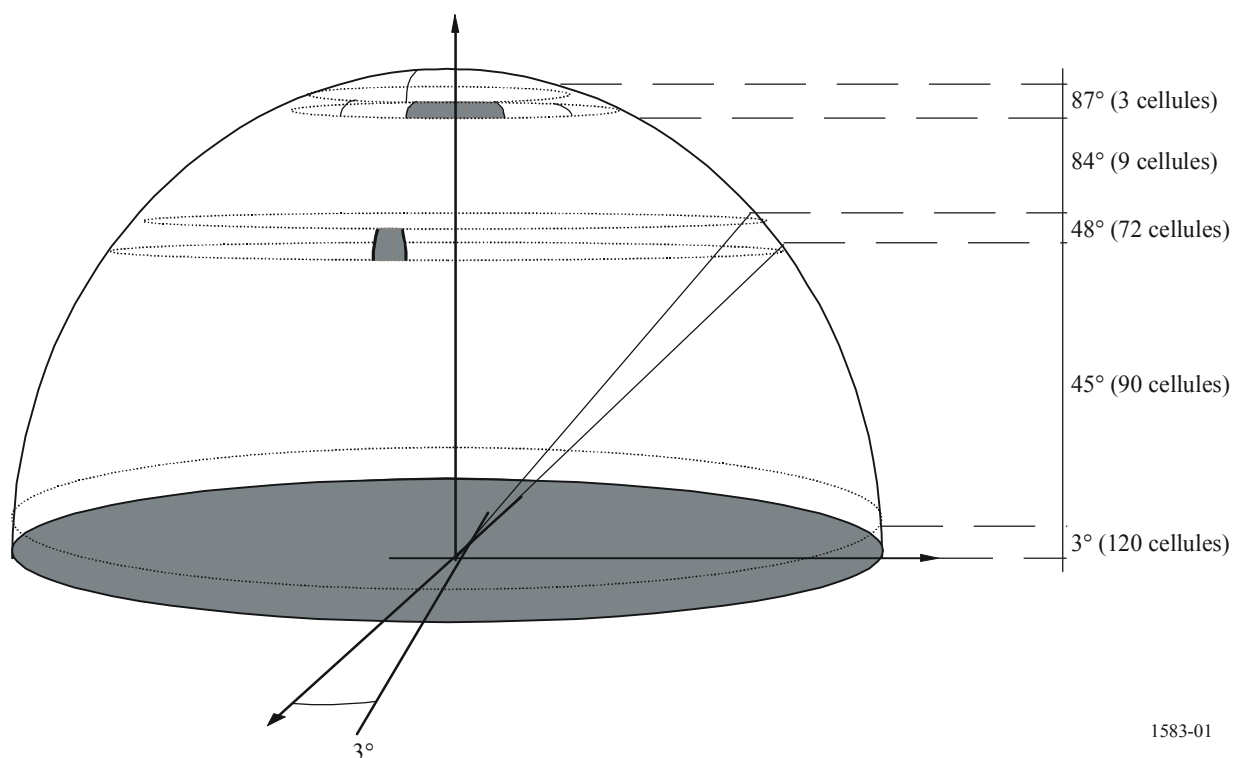
Sur la Fig. 1 le pas de division choisi suivant l'axe de l'angle d'élévation est de 3°, ce qui conduit à diviser le ciel en 30 anneaux. La largeur d'une cellule suivant l'axe azimutal est donc d'environ:

$$\frac{90 / 30}{\cos(\text{élévation})} \quad \text{degrés}$$

Le terme élévation apparaissant dans la formule précédente correspond à l'élévation moyenne de l'anneau considéré.

FIGURE 1

Exemple de division du ciel en cellules d'environ 9 degrés carrés d'angle solide



1583-01

On divise ainsi le ciel en 2 334 cellules d'environ 9 degrés carrés d'angle solide. Le Tableau 1 indique notamment le nombre de cellules des différents anneaux de notre exemple.

TABLEAU 1

Exemple de division du ciel en cellules rectangulaires d'environ 9 degrés carrés d'angle solide

Angle d'élévation de la partie inférieure de l'anneau (degrés)	Angle solide de l'anneau (degrés carrés)	Angle solide cumulé (degrés carrés)	Pas azimutal (degrés)	Nombre de cellules dans l'anneau	Angle solide d'une cellule (degrés carrés)	Nombre de cellules cumulées	Pourcentage d'angle solide (%)	Angle solide cumulé (%)
0	1 079,51	1 079,51	3	120	9,00	120	5,23	5,23
3	1 076,55	2 156,05	3	120	8,97	240	5,22	10,45
6	1 070,64	3 226,69	3	120	8,92	360	5,19	15,64
9	1 061,79	4 288,49	3	120	8,85	480	5,15	20,79

TABLEAU 1 (*fin*)

Angle d'élévation de la partie inférieure de l'anneau (degrés)	Angle solide de l'anneau (degrés carrés)	Angle solide cumulé (degrés carrés)	Pas azimutal (degrés)	Nombre de cellules dans l'anneau	Angle solide d'une cellule (degrés carrés)	Nombre de cellules cumulées	Pourcentage d'angle solide (%)	Angle solide cumulé (%)
12	1 050,04	5 338,53	3	120	8,75	600	5,09	25,88
15	1 035,41	6 373,93	3	120	8,63	720	5,02	30,90
18	1 017,94	7 391,87	3	120	8,48	840	4,94	35,84
21	997,68	8 389,55	3	120	8,31	960	4,84	40,67
24	974,68	9 364,23	3	120	8,12	1 080	4,73	45,40
27	949,01	1 0313,24	3	120	7,91	1 200	4,60	50,00
30	920,75	11 233,99	4	90	10,23	1 290	4,46	54,46
33	889,95	12 123,94	4	90	9,89	1 380	4,31	58,78
36	856,72	12 980,66	4	90	9,52	1 470	4,15	62,93
39	821,14	13 801,81	4	90	9,12	1 560	3,98	66,91
42	783,31	14 585,12	4	90	8,70	1 650	3,80	70,71
45	743,34	15 328,46	4	90	8,26	1 740	3,60	74,31
48	701,32	16 029,79	5	72	9,74	1 812	3,40	77,71
51	657,39	16 687,17	5	72	9,13	1 884	3,19	80,90
54	611,65	17 298,82	5	72	8,50	1 956	2,97	83,87
57	564,23	17 863,06	6	60	9,40	2 016	2,74	86,60
60	515,27	18 378,33	6	60	8,59	2 076	2,50	89,10
63	464,90	18 843,23	6	60	7,75	2 136	2,25	91,35
66	413,25	19 256,48	8	45	9,18	2 181	2,00	93,36
69	360,47	19 616,95	9	40	9,01	2 221	1,75	95,11
72	306,70	19 923,65	10	36	8,52	2 257	1,49	96,59
75	252,09	20 175,74	12	30	8,40	2 287	1,22	97,81
78	196,79	20 372,53	18	20	9,84	2 307	0,95	98,77
81	140,95	20 513,49	24	15	9,40	2 322	0,68	99,45
84	84,73	20 598,21	40	9	9,41	2 331	0,41	99,86
87	28,27	20 626,48	120	3	9,42	2 334	0,14	100,00

2 Distribution de l'epfd pour une cellule

On choisit aléatoirement une direction de pointage de l'antenne du service de radioastronomie, qui pointe alors vers une des cellules du ciel définies ci-dessus. On choisit ensuite aléatoirement l'instant de début d'exploitation de la constellation de satellites. La valeur d'epfd est alors évaluée à différents instants de cette durée d'intégration de 2000 s. On calcule enfin la valeur moyenne de puissance epfd obtenue durant ce temps d'intégration, pour la direction de pointage et l'instant de début d'exploitation choisis.

Ce processus est répété pour obtenir une distribution statistique de l'epfd produite par la cellule visée. On procède ainsi à un certain nombre de tirages aléatoires, conduisant chacun au calcul d'epfd moyenne pour une durée d'intégration de 2000 s. Plus le nombre de tirages est grand, et plus la distribution obtenue est précise. Le nombre de tirages doit être suffisamment élevé pour conférer

aux résultats obtenus le degré de confiance requis. En particulier, le produit du nombre de tirages par la durée d'intégration de 2000 s doit être bien supérieur à la période orbitale de la constellation. Il faut également s'assurer que ces tirages correspondent à un échantillonnage régulier de cette période orbitale. Lorsque de nouveaux tirages ne modifient pratiquement plus la distribution existante, on considérera que le nombre de tirages effectués est suffisant. Cette vérification peut être automatique et intégrée à la simulation ou manuelle (par interruption régulière de celle-ci).

3 Résultat en termes de pourcentage de données perdues

La méthode de calcul de l'epfd décrite au § 2 permet de déterminer la distribution de puissance epfd produite par une cellule du ciel donnée. Cette distribution peut être comparée aux niveaux de seuil utilisés pour les mesures de radioastronomie. Le dépassement de ces niveaux entraînera la perte de certaines données de radioastronomie. Le pourcentage de données perdues est défini comme la somme des données perdues durant les différents essais. La Fig. 2 donne un exemple du pourcentage de données perdues par cellule du ciel pour une constellation de satellites non OSG du service de radionavigation par satellite.

FIGURE 2

