

RECOMMANDATION UIT-R S.1588

Méthodes de calcul de la puissance surfacique équivalente sur la liaison descendante cumulative produite par plusieurs systèmes non géostationnaires du service fixe par satellite en direction d'un réseau géostationnaire du service fixe*

(Question UIT-R 236/4)

(2002)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Conférence mondiale des radiocommunications (Istanbul, 2000) (CMR-2000) a adopté un ensemble de limites de puissance surfacique équivalente sur la liaison descendante ($epfd_{\downarrow}$) de validation pour une seule source de brouillage, opérationnelles pour une seule source de brouillage et, pour certaines dimensions d'antenne, opérationnelles additionnelles pour une seule source de brouillage, figurant dans l'Article 22 du Règlement des radiocommunications (RR), ainsi que les limites de puissance cumulative indiquées dans la Résolution 76 (CMR-2000), qui s'appliquent aux systèmes non géostationnaire (OSG) du service fixe par satellite (SFS), en vue de protéger les réseaux OSG dans certaines parties de la gamme de fréquences 10,7-30 GHz;
- b) que la CMR-2000 a adopté la Résolution 76 (CMR-2000) selon laquelle il a été décidé «que, en cas de dépassement des niveaux de brouillage cumulatif des Tableaux 1A à 1D, les administrations exploitant des systèmes non OSG du SFS dans ces bandes de fréquences doivent prendre rapidement toutes les mesures nécessaires pour ramener les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative à ceux indiqués dans les Tableaux 1A à 1D ou à des niveaux plus élevés si ceux-ci sont acceptables pour l'administration dont les systèmes OSG sont affectés»;
- c) que les limites d' $epfd_{\downarrow}$ de validation pour une seule source de brouillage, indiquées dans l'Article 22 du RR, ont été calculées à partir des gabarits d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative figurant dans la Résolution 76 (CMR-2000), dans l'hypothèse d'un nombre effectif maximal de systèmes non OSG du SFS de 3,5;
- d) que l'UIT-R évaluera, à l'aide d'un logiciel spécifié dans la Recommandation UIT-R S.1503, la conformité de chacun des systèmes non OSG du SFS avec les limites d' $epfd_{\downarrow}$ de validation pour une seule source de brouillage;
- e) que le logiciel mentionné au *considérant* d) tient compte des conditions de fonctionnement des systèmes non OSG du SFS correspondant au cas le plus défavorable;
- f) que, conformément au numéro 22.5K du RR, les administrations qui exploitent ou envisagent d'exploiter des systèmes non OSG du SFS dans certaines parties de la gamme de fréquences 10,7-30 GHz font en sorte que le brouillage cumulatif réel causé aux réseaux OSG du SFS et aux réseaux OSG du service de radiodiffusion par satellite (SRS) par de tels systèmes fonctionnant à la même fréquence dans ces bandes de fréquences n'entraîne pas un dépassement des niveaux de puissance cumulative indiqués dans la Résolution 76 (CMR-2000);

* La présente Recommandation devrait être portée à l'attention du Groupe de travail 6S des radiocommunications.

- g) que les statistiques des brouillages réels en termes d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative causés par des systèmes non OSG du SFS à des réseaux OSG du SFS et à des réseaux OSG du SRS ne peuvent être établies que par des calculs;
- h) que les administrations nécessitent des méthodes permettant de déterminer la conformité avec les limites d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative;
- j) que les systèmes non OSG du SFS possèdent diverses caractéristiques orbitales et opérationnelles nécessitant une coordination au titre des dispositions du numéro 9.12 du RR, et sont susceptibles de mettre en œuvre des techniques de réduction des brouillages afin de permettre le partage de fréquences entre eux;
- k) que certaines des caractéristiques techniques des constellations non OSG du SFS sont disponibles dans l'Appendice 4 du RR, dans les Recommandations de l'UIT-R et dans d'autres documents portant sur les systèmes non OSG du SFS;
- l) que les techniques détaillées de réduction des brouillages utilisées par chacun des systèmes non OSG du SFS, telles que mentionnées dans le *considérant j*), ainsi que d'autres informations confidentielles, telles que celles portant sur la stratégie de commutation des faisceaux ou sur le chargement du trafic sur chaque faisceau du système non OSG du SFS, peuvent ne pas être disponibles au public;
- m) que le brouillage maximal en termes d' $epfd_{\downarrow}$ causé par différents systèmes non OSG du SFS se produira probablement en différents points de la Terre, et, qu'en raison de leurs caractéristiques d' $epfd_{\downarrow}$ propres, il est probable que plus de 3,5 systèmes non OSG réels pourraient fonctionner et être toujours au-dessous des limites d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative indiquées dans la Résolution 76 (CMR-2000);
- n) que les méthodes indiquées dans la présente Recommandation pourraient être utilisées notamment pour comparer les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative produites par plusieurs systèmes non OSG avec les limites d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative lorsqu'il sera procédé à la vérification de la conformité d'au moins quatre systèmes non OSG en exploitation ou qu'il est prévu d'exploiter;
- o) que dans la Résolution 76 (CMR-2000), l'UIT-R est invité à élaborer d'urgence une méthode appropriée permettant de calculer l' $epfd_{\downarrow}$ cumulative produite par tous les systèmes non OSG du SFS exploités ou qu'il est prévu d'exploiter sur une même fréquence, dans certaines parties de la gamme de fréquences 10,7-30 GHz en direction de réseaux OSG du SFS et OSG du SRS, ainsi qu'une recommandation sur la modélisation précise du brouillage causé par des systèmes non OSG du SFS,

recommande

1 que la ou les méthodes décrites dans l'Annexe 1 (voir la Note 1) soient employées pour calculer l' $epfd_{\downarrow}$ cumulative produite par plusieurs systèmes non OSG du SFS exploités ou qu'il est prévu d'exploiter sur une même fréquence dans les bandes de fréquences indiquées dans la Résolution 76 (CMR-2000), dans une station terrienne de réseaux OSG du SFS, afin de déterminer si ces systèmes sont conformes aux niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative donnés dans la Résolution 76 (CMR-2000);

2 que les Méthodes 1A ou 1B soient employées pour effectuer une évaluation initiale permettant de déterminer le dépassement des niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative figurant dans la Résolution 76 (CMR-2000) à l'aide de l'approche en puissance surfacique du satellite de la Recommandation UIT-R S.1503, lorsque différents points de mesure de la station terrienne sont disponibles pour chacun des systèmes non OSG du SFS;

3 que, si l'évaluation mentionnée au *recommande 2* indique un dépassement des niveaux d'epfd_↓ cumulative donnés dans la Résolution 76 (CMR-2000), une autre évaluation soit effectuée à l'aide des Méthodes 2A ou 2B sur le même ensemble de points de mesure de la station terrienne;

4 que, lorsque l'évaluation mentionnée au *recommande 3* indique un dépassement des niveaux d'epfd_↓ cumulative, une évaluation plus précise soit effectuée à l'aide des Méthodes 3A ou 3B, en tenant compte des stratégies de coordination, d'exploitation et de réduction des brouillages entre systèmes non OSG et en identifiant des niveaux maximums de puissance surfacique susceptibles de se produire sur la Terre.

NOTE 1 – Comme il est suggéré aux *recommande 2, 3 et 4*, les méthodes indiquées à l'Annexe 1 peuvent être employées séparément ou successivement. Pour déterminer le dépassement des niveaux d'epfd_↓, il convient d'employer la méthode la plus précise figurant aux *recommande 2 et 4*, compte tenu de la disponibilité d'informations détaillées sur les systèmes non OSG.

ANNEXE 1

Méthodes de calcul de l'epfd_↓ cumulative

1 Introduction

Trois méthodes de calcul de l'epfd_↓ cumulative par simple simulation ou par simulation et convolution sont décrites dans la présente Annexe. Les Méthodes 1 et 2, fondées sur la Recommandation UIT-R S.1503, permettent de vérifier la conformité d'un système non OSG avec les limites de validation figurant à l'Article 22 du RR (Tableaux 22-1A, 22-1B et 22-1C); elles diffèrent dans le choix de l'ensemble de points de mesures. La Méthode 3 propose une modélisation plus détaillée conforme à la Recommandation UIT-R S.1325, qui permet de réaliser des simulations simultanées de l'ensemble des systèmes non OSG.

Dans chaque méthode, une ou plusieurs options basées sur la convolution sont proposées. Ces options nécessitent l'emploi d'un outil permettant de produire des courbes de l'epfd_↓ pour une seule source de brouillage, en des points donnés de la Terre. Le logiciel additionnel permettant de réaliser la convolution effectue simplement une fonction mathématique. Il n'est pas nécessaire d'établir une recommandation propre à ce logiciel.

Toutefois, ces options de convolution sont potentiellement moins précises que la méthode classique de simulation simultanée appliquée aux systèmes non OSG. Elles débouchent sur des probabilités extrêmement faibles des niveaux d'epfd_↓ de puissance la plus élevée. Il est donc proposé de tronquer la courbe de puissance cumulative calculée pour les niveaux d'epfd_↓ dépassés pour le plus petit pourcentage de temps, en un point quelconque avant le point 0% de la courbe d'epfd_↓ de puissance cumulative.

Ces options de convolution supposent qu'il n'y a pas de corrélation entre les brouillages causés par plusieurs systèmes non OSG. Cette hypothèse n'est peut-être pas correcte étant donné que tous les systèmes non OSG doivent employer des techniques de réduction des brouillages occasionnés à des systèmes OSG et à d'autres systèmes non OSG. Dans ce cas, des simulations simultanées doivent être utilisées.

Les trois méthodes décrites dans la présente Annexe sont de plus en plus précises et donc de plus en plus complexes à exécuter. Le choix de la méthode à employer dépend probablement des informations dont dispose la personne qui effectue les calculs. Dans le cas des Méthodes 1 et 2, le calcul

repose sur les informations fournies par le Bureau des radiocommunications (BR). La Méthode 3, qui donne plus de détails sur le système non OSG, est différente de l'approche des gabarits de puissance surfacique de satellite, décrite dans la Recommandation UIT-R S.1503, permettant de réaliser des simulations qui tiennent compte des stratégies de coordination, d'exploitation et de réduction des brouillages convenues entre opérateurs de systèmes non OSG.

2 Méthode 1: convolution de l'enveloppe des courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage, en plusieurs points de mesure

Cette méthode consiste à produire des courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage à l'aide de la Recommandation UIT-R S.1503. On obtiendra facilement ces courbes à partir de l'évaluation par le BR de la validation de chaque système non OSG. Le BR vérifiera la conformité d'un système non OSG en un seul point de mesure, tel que défini dans la Recommandation UIT-R S.1503. Toutefois, cette méthode tiendra compte aussi du cas où plusieurs points seraient mesurés pour un système non OSG donné, auquel cas il serait nécessaire d'obtenir les courbes correspondantes de l'epfd_↓ pour une seule source de brouillage. Etant donné que cette option ne porte pas sur des points de mesure communs à tous les systèmes non OSG, on ne peut l'employer que pour procéder à une évaluation préliminaire des limites de puissance cumulative.

Cette méthode peut être appliquée de deux façons différentes. La première consiste à effectuer la convolution avec elle-même de la courbe d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage de chaque système non OSG, afin d'obtenir un gabarit de puissance cumulative. Ainsi, si N systèmes non OSG sont évalués, chaque courbe d'epfd_↓ cumulative correspond à la convolution de N courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage. Le résultat de cette convolution est comparé avec la limite de puissance cumulative, afin de déterminer tout dépassement. Cette méthode nécessiterait la convolution de la courbe d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage, à partir de chaque point de mesure de chaque système non OSG, avec la courbe d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage, à partir de chaque point de mesure de tous les autres systèmes non OSG. Ainsi, si l'on compte M points de mesure pour chacun des N systèmes non OSG, M^N convolutions sont nécessaires. En l'occurrence, M désigne les points de mesure examinés par le BR.

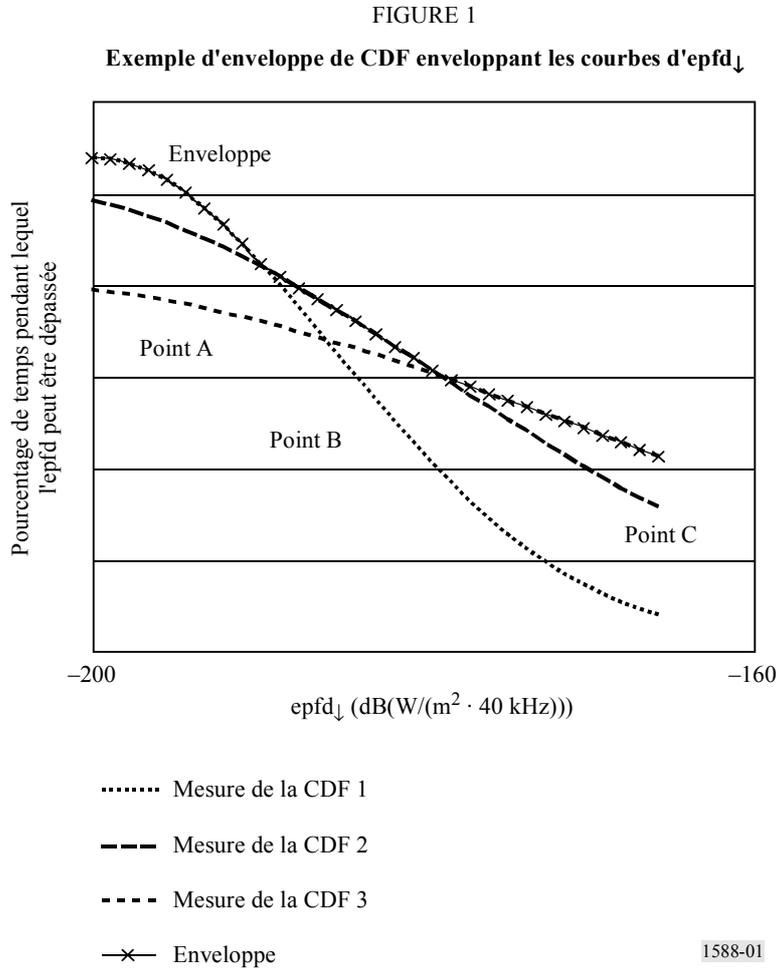
A titre d'exemple, considérons deux systèmes non OSG associés chacun à trois courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage produites à l'aide de l'approche du gabarit de puissance surfacique de satellite figurant dans la Recommandation UIT-R S.1503, en trois points de mesure différents. Le premier système non OSG est évalué sur les points de mesure A, B et C et le second système sur les points de mesure D, E et F. Dans ce cas, neuf convolutions sont nécessaires (voir le Tableau 1). Avant d'effectuer la convolution des courbes d'epfd_↓, on doit remplacer les valeurs de puissance exprimées en dBW par des valeurs numériques. Si aucun dépassement pour une quelconque convolution résultante n'est détecté, les systèmes non OSG mesurés respectent les limites de puissance cumulative. Si en revanche, un dépassement des limites est détecté, une évaluation plus approfondie à l'aide de la Méthode 2 ou 3 est nécessaire.

TABLEAU 1

Exemple de matrice de convolution M^N ($M = 3$, $N = 2$)

	A	B	C
D	A*D	B*D	C*D
E	A*E	B*E	C*E
F	A*F	B*F	C*F

Une seconde façon d'appliquer cette méthode est de produire, pour chaque système non OSG, une enveloppe correspondant à la fonction de densité cumulative (CDF) enveloppant toutes les courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage (c'est-à-dire les courbes correspondant à tous les points de mesure). Ceci est illustré à la Fig. 1 pour un système non OSG présentant trois points de mesure.



Dans ce second mode d'application, on calcule un gabarit de mesure de puissance cumulative sur la base de la convolution de l'enveloppe de toutes les courbes CDF d'epfd_↓ des systèmes non OSG examinés. On compare la convolution des courbes CDF de l'enveloppe d'epfd_↓ avec les limites de puissance cumulative, afin de déterminer un éventuel dépassement.

L'exemple ci-dessous montre que cette seconde application est équivalente à la première et présente l'avantage de n'exiger qu'une convolution entre les deux systèmes non OSG. Dans le cas de *n* systèmes non OSG, il y aurait *n* - 1 convolutions.

2.1 Exemple de méthode

A titre d'exemple, les courbes d'epfd_↓ de deux systèmes à satellites non OSG sont représentées dans les Fig. 2 et 3. Chaque Figure représente les courbes tracées en trois points distincts, ainsi que l'enveloppe des trois courbes. A titre indicatif, les limites de puissance cumulative sont également représentées.

FIGURE 2

Courbe de l'epfd_↓ du système 1 non OSG

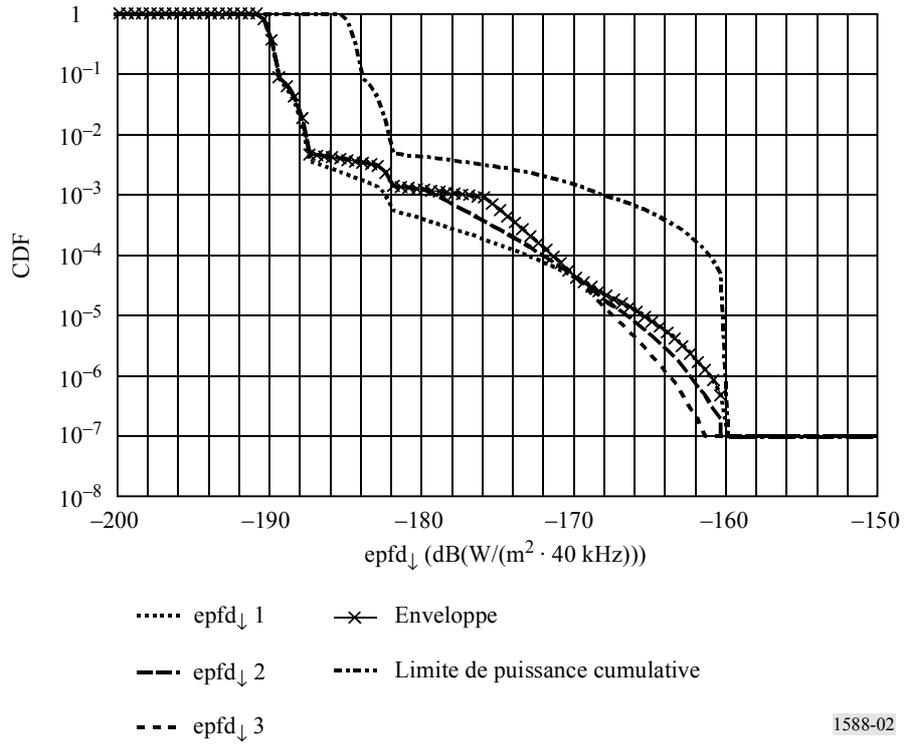
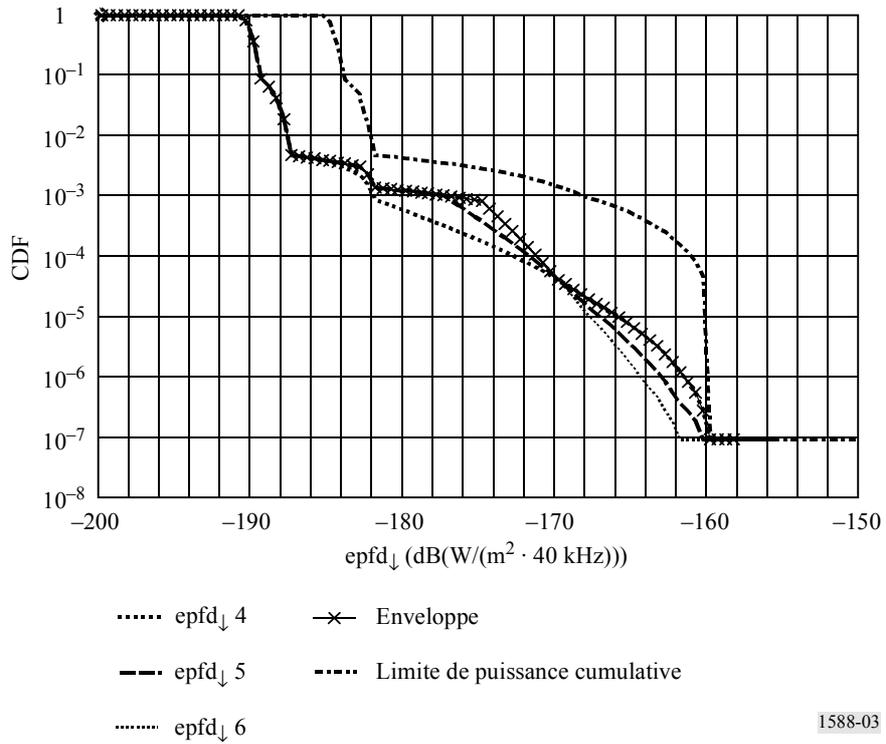
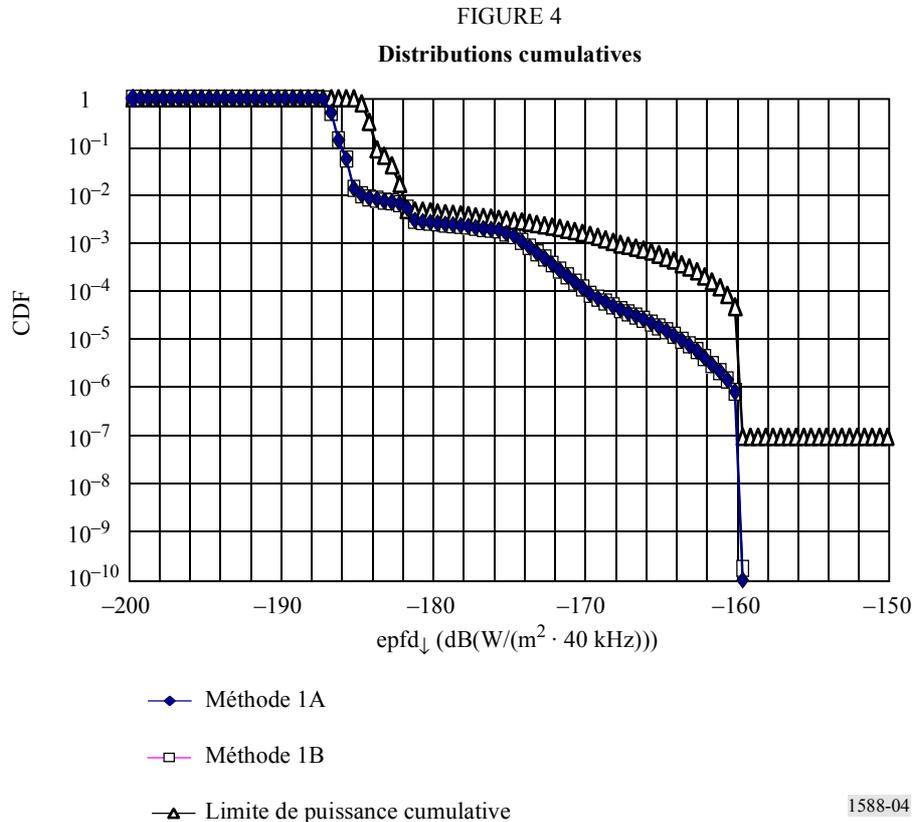


FIGURE 3

Courbe de l'epfd_↓ du système non OSG 2



La première application de cette méthode examinée plus haut nécessite neuf convolutions. La Fig. 4 représente les résultats finaux obtenus à l'aide des deux modes d'application. Dans le premier, on trace l'enveloppe de chacune des neuf convolutions. Dans le second, on trace la convolution des deux enveloppes représentées plus haut dans les Fig. 2 et 3. On constate que dans les deux modes, on obtient les mêmes résultats.



3 Méthode 2: Convolution ou simulation permettant de calculer l'epfd_d cumulative aux mêmes points de mesure de la station terrienne

Cette méthode peut être applicable de deux façons différentes à l'aide de la Recommandation UIT-R S.1503. La première (Méthode 2A) nécessite de produire les courbes d'epfd_d au même point de mesure de la station terrienne OSG du SFS, pour chaque système non OSG conformément à la Recommandation UIT-R S.1503 (logiciel du BR). Dans ce cas, on effectuerait la convolution de la courbe d'epfd_d d'un système non OSG, pour un point de mesure donné, avec les courbes d'epfd_d de tous les autres systèmes non OSG, au même point de mesure. On choisirait des points de mesure appropriés en fonction des caractéristiques de chaque constellation. La seconde façon (Méthode 2B) consisterait à entrer les données de plusieurs systèmes non OSG dans le logiciel du BR (pour une seule constellation présentant différents plans orbitaux et gabarits de puissance surfacique de satellite), afin de produire un gabarit d'epfd_d cumulative.

Bien que les niveaux d'epfd_d sur la courte durée ou les plus élevés d'un système non OSG soient généralement les plus importants, ils ne tiennent pas toujours compte de la distribution des niveaux d'epfd_d sur la longue durée de chaque constellation. En d'autres termes, le cumul du brouillage d'epfd_d sur la courte durée, en un point donné, ne signifie pas que ce point subit aussi du brouillage sur la longue durée correspondant au cas le plus défavorable.

Des points de mesure appropriés seraient choisis en fonction de l'objectif du calcul effectué et/ou des caractéristiques de chaque constellation.

Etant donné que les mêmes points de mesure sont utilisés pour chaque système non OSG, cette méthode est plus représentative des niveaux de puissance cumulative maximums pouvant être reçus en un point donné de la station terrienne que la Méthode 1.

3.1 Hypothèses et données d'entrée pour la Méthode 2

Les courbes d' $epfd_{\downarrow}$ pour une seule source de brouillage de chaque système non OSG peuvent être obtenues conformément à la Recommandation UIT-R S.1503. Le logiciel du BR ainsi que les données d'entrée requises figurant dans la Recommandation UIT-R S.1503 permettront d'évaluer les limites de validation pour une seule source de brouillage. Afin de calculer les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative, un ensemble commun de points de mesure de station terrienne OSG, pour chaque système non OSG, serait évalué à l'aide du logiciel du BR. Deux méthodes peuvent être employées pour le calcul des niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative. Dans la première Méthode (2A), les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ correspondant à chaque point de mesure de chaque constellation seraient obtenus à l'aide du logiciel du BR. L' $epfd_{\downarrow}$ cumulative serait calculée à partir de la convolution de chacune des courbes d' $epfd_{\downarrow}$, au même point de mesure. Dans la seconde Méthode (2B), les données de constellation des systèmes multiples non OSG du SFS seraient entrées dans le logiciel du BR, pour une constellation donnée.

3.2 Exemple de Méthode 2 conformément à la Recommandation UIT-R S.1503

L'exemple de Méthode 2 donné représente les résultats obtenus à l'aide des options des Méthodes 2A et 2B, pour un ensemble commun de points de station terrienne conformément à la Recommandation UIT-R S.1503, afin d'obtenir les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$. Les données techniques conformes à la Recommandation UIT-R S.1503 ont été élaborées pour trois constellations non OSG du SFS hypothétiques. Les caractéristiques orbitales de base des constellations non OSG du SFS utilisées dans le logiciel pour l' $epfd_{\downarrow}$ sont données dans le Tableau 2. Les trois systèmes non OSG du SFS sont les suivants: le système LEO1 composé de 80 satellites, le système LEO2, intercalé avec le premier système et composé aussi de 80 satellites, et le système MEO1 composé de 20 satellites. Les gabarits de puissance surfacique de satellite non OSG utilisés pour obtenir les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ de validation étaient hypothétiques. Ils ont été calculés de manière à obtenir un gabarit de courbe d' $epfd_{\downarrow}$ qui respecte les limites d' $epfd_{\downarrow}$ pour une seule source de brouillage indiquées dans l'Article 22 du RR (Tableaux 22-1A, 22-1B et 22-1C).

TABLEAU 2

Constellations non OSG

Constellation du satellite	Inclinaison orbitale (degrés)	Apogée (km)	Périgée (km)	Nombre de satellites par plan	Nombre de plans
LEO1 non OSG	53	1 469,3	1 469,3	4	20
LEO2 non OSG	53	1 669,3	1 669,3	4	20
MEO1 non OSG	55	10 348,66	10 348,66	5	4

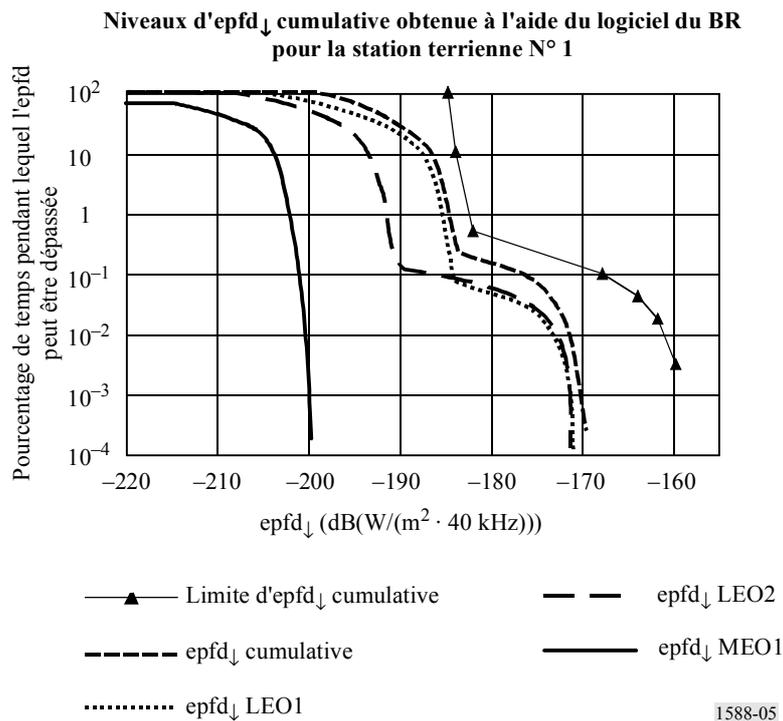
La première étape a consisté à calculer chaque distribution d' $epfd_{\downarrow}$, à l'aide du logiciel de validation d' $epfd_{\downarrow}$, pour chacune des constellations, en un point donné de station terrienne OSG du SFS. Chaque station terrienne était censée pointer vers un satellite OSG. Le Tableau 3 donne la position d'une station terrienne opérationnelle et du satellite d'exploitation présentant un diamètre d'antenne hypothétique de 3 m. Les niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ correspondant aux trois constellations non OSG du SFS ont été obtenus à l'aide du logiciel conforme à la Recommandation UIT-R S.1503. Les courbes d' $epfd_{\downarrow}$ de la station terrienne sont représentées à la Fig. 5.

TABLEAU 3

Points de mesure de la station terrienne

Nom de site de station terrienne (exemple)	Latitude (degrés N)	Longitude (degrés O)	Position du satellite OSG (degrés O)
N° 1 (CLK)	39:13'06"	77:16'15"	18

FIGURE 5

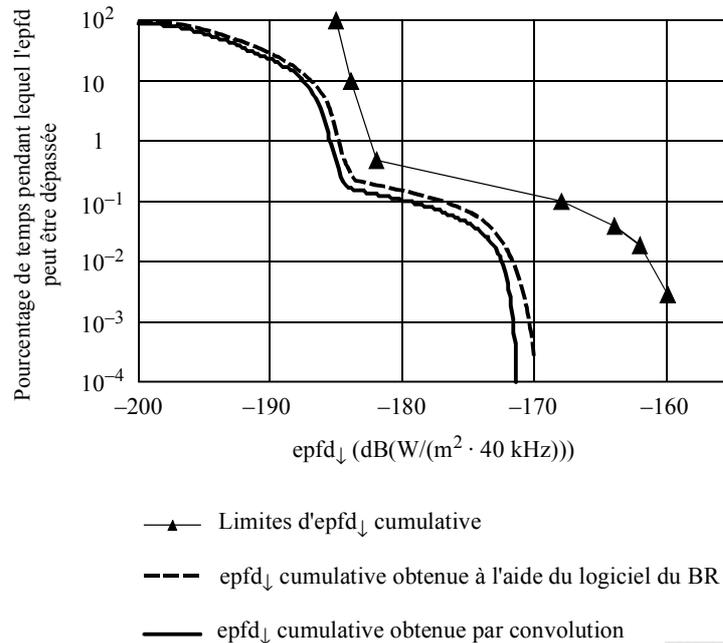


On a ensuite effectué la convolution de chaque courbe d' $epfd_{\downarrow}$ correspondant à chaque constellation non OSG du SFS, à savoir LEO1, LEO2 et MEO1, afin de tracer la courbe d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative, telle que représentée à la Fig. 6.

Dans la Méthode 2B, on a entré un ensemble de données cumulées d'une constellation relatives aux trois systèmes non OSG du SFS dans le logiciel conforme à la Recommandation UIT-R S.1503 et l'on a tracé la courbe d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative. Dans la Fig. 5, la courbe d' $epfd_{\downarrow}$ cumulative simulée est la quatrième courbe à partir de la gauche.

FIGURE 6

Comparaison entre l'epfd_↓ cumulative obtenue par convolution et l'epfd_↓ cumulative obtenue à l'aide du logiciel du BR pour la station terrienne N° 1



La Fig. 6 montre que les options de convolution et de simulation donnent des résultats très proches. Des résultats semblables ont été obtenus pour quatre sites additionnels de station terrienne situés en Amérique du Nord. Les résultats de l'exemple ci-dessus indiquent l'absence de corrélation entre les brouillages produits par les trois constellations. Les études du Groupe de travail 4A des radiocommunications ont montré que l'option de convolution était appropriée s'il n'y avait aucune corrélation entre les distributions de probabilité de toutes les constellations. En revanche, en cas de corrélation, l'option de simulation serait idéale pour vérifier la conformité avec les limites de puissance cumulative.

Il convient de noter que le logiciel conforme à la Recommandation UIT-R S.1503 est actuellement destiné à des calculs de l'epfd_↓ pour une seule constellation, en seul point de mesure de station terrienne. Pour calculer l'epfd_↓ pour plusieurs constellations non OSG vers plusieurs points de mesure de station terrienne, il serait nécessaire d'apporter quelques modifications mineures au logiciel.

3.3 Résultats des Méthodes 2A et 2B

Comme il a été mentionné plus haut, l'option de convolution ou de simulation faisant appel au logiciel du BR permettrait d'obtenir le niveau d'epfd_↓ cumulative en une position donnée de station terrienne OSG du SFS. Si ces méthodes révèlent un dépassement de la limite d'epfd_↓ cumulative et si des informations plus détaillées sur la constellation non OSG sont disponibles, il convient alors d'employer la Méthode 3 pour déterminer les niveaux d'epfd_↓ cumulative.

4 Méthode 3: simulation opérationnelle

Cette méthode ne repose pas sur l'utilisation de gabarits de puissance surfacique de satellite à l'aide du logiciel du BR conforme à la Recommandation UIT-R S.1503, mais sur l'utilisation de simulations plus détaillées (comme celles figurant dans la Recommandation UIT-R S.1325) permettant la modélisation des caractéristiques opérationnelles et des contraintes du système non OSG.

Cette Méthode se décompose en deux options:

- La première option consisterait à produire les courbes d' $epfd_{\downarrow}$ pour une seule source de brouillage correspondant à chaque système non OSG, et à effectuer leur convolution.
- La seconde option consisterait à effectuer des simulations simultanées de tous les systèmes non OSG en service, pour lesquels on calcule le brouillage cumulatif.

4.1 Méthode 3A: convolution de courbes d' $epfd_{\downarrow}$ pour une seule source de brouillage

Cette Méthode consiste à produire les courbes d' $epfd_{\downarrow}$ correspondant à chaque système non OSG, aux mêmes points de mesure de station terrienne et à effectuer la convolution de la courbe d' $epfd_{\downarrow}$ d'un système non OSG donné, en un point de mesure donné, avec les courbes d' $epfd_{\downarrow}$ de tous les autres systèmes non OSG examinés, au même point de mesure. Des points de mesure appropriés seraient choisis en fonction de l'objectif du calcul effectué et/ou des caractéristiques de chaque constellation. Cette Méthode peut être appliquée à plusieurs points de mesure de station terrienne ou seulement aux points sur lesquels sont situées les stations terriennes, de façon à évaluer l' $epfd_{\downarrow}$ cumulative pour une liaison particulière.

4.1.1 Hypothèses pour les simulations

La courbe d' $epfd_{\downarrow}$ pour une seule source de brouillage correspondant à chaque système non OSG peut être tracée à l'aide de la Recommandation UIT-R S.1325.

Ladite Recommandation exige l'entrée de données détaillées susceptibles d'avoir une incidence sur le résultat des simulations. Il importe de définir les hypothèses utilisées lors de la simulation, afin d'obtenir des résultats cohérents à partir des courbes pour une seule source de brouillage, qui seront employées pour la convolution.

Dans la Méthode 3A, il est proposé de prendre pour hypothèse:

- un nombre maximal de faisceaux non OSG;
- la puissance maximale produite par les faisceaux non OSG;
- aucune technique de réduction des brouillages entre les systèmes non OSG (étant donné que, dans la Méthode 3A, il est envisagé d'utiliser une convolution des courbes pour une seule source de brouillage, de manière à limiter la complexité des calculs, il est proposé de ne pas tenir compte de l'interdépendance des systèmes non OSG);
- les paramètres de système de référence communiqués au BR au titre de l'Appendice 4 du RR;
- une stratégie de commutation de référence telle que la plus longue visibilité du satellite, la meilleure élévation, etc.

4.1.2 Description des systèmes non OSG utilisés dans les exemples de simulation

Les quatre systèmes non OSG examinés sont ROSTELESAT, FSATMULTI-1B, USAKu-L2 et USAKu-M1 fonctionnant sur la même fréquence dans la bande 11-13 GHz. Les systèmes FSATMULTI-1B, USAKu-L2 et ROSTELESAT ont été choisis car ils présentent une distribution d' epfd_\downarrow assez analogue, en particulier sur la courte durée. Le système USAKu-M1 a été ajouté, de manière à compléter l'analyse par un système non OSG présentant une distribution d' epfd_\downarrow plus régulière.

Les paramètres utilisés pour modéliser la constellation non OSG sont ceux qui figurent dans la Recommandation UIT-R S.1328. Quelques modifications ont été apportées aux paramètres lorsque les données disponibles étaient incomplètes ou difficiles à interpréter. C'est en particulier le cas du système ROSTELESAT pour lequel la puissance surfacique au sol ainsi que le diagramme d'antenne figurant dans la Recommandation UIT-R S.1328 ont été modifiés, de manière à produire des courbes d' epfd_\downarrow conformes aux limites spécifiées dans l'Article 22 du RR (Tableaux 22-1A, 22-1B et 22-1C), à l'aide de l'outil de simulation.

Afin d'effectuer la convolution, telle qu'indiquée au § 4.1, les quatre systèmes non OSG ont été simulés séparément et les statistiques d' epfd_\downarrow obtenues pour chaque système ont été calculées au point de station terrienne OSG.

Deux différents points de mesure ont été choisis:

- Le point A a été choisi car l'un des satellites FSATMULTI-1B est aligné avec le réseau OSG au cours du cycle d'exécution de la simulation, et produit des niveaux élevés d' epfd_\downarrow en direction de celui-ci.
- Le point B a été choisi car l'un des satellites ROSTELESAT est aligné avec le réseau OSG au cours du cycle d'exécution de la simulation, et produit des niveaux élevés d' epfd_\downarrow en direction de celui-ci.

Même si le temps d'exécution de la simulation devrait être fixé à un multiple de la période orbitale des quatre systèmes non OSG, on peut utiliser une plus petite période pour analyser la manière dont les différents paramètres interagissent. Ainsi, le temps d'exécution de la simulation est fixé arbitrairement à 115 min, ce qui correspond à la période orbitale du système FSATMULTI-1B.

4.2 Méthode 3B: Simulations simultanées

La simulation des systèmes multiples non OSG du SFS sur la base de la Recommandation UIT-R S.1325 peut être la méthode la plus précise pour déterminer le niveau de brouillage d' epfd_\downarrow cumulative causé par des systèmes non OSG du SFS à des stations terriennes OSG du SFS. Cependant, cette méthode de simulation exige davantage de ressources informatiques comparée aux autres méthodes. Son intérêt principal réside dans le fait qu'elle peut tenir compte des accords de coordination conclus entre systèmes non OSG. Ainsi, la modélisation de ces systèmes est plus approfondie et permet un meilleur calcul de l' epfd_\downarrow cumulative. A des fins d'analyse, d'éventuelles stratégies de coordination analysées au sein de l'UIT peuvent être expérimentées.

La simulation simultanée précise des systèmes non OSG peut nécessiter l'emploi de logiciels spécifiques ainsi que la disponibilité de données d'entrée détaillées non accessibles au public et d'informations sur les résultats de la coordination entre ces systèmes. Bien qu'elle soit potentiellement plus précise, cette méthode est suffisamment complexe pour qu'on ne l'envisage qu'après avoir essayé les Méthodes 1 et 2.

L'inconvénient de cette méthode réside dans le temps d'exécution du programme qui peut être long. Celui-ci devra être examiné de façon plus approfondie. Il peut être réduit au moyen de techniques

telles que l'incrément de temps double ou aléatoire, l'échantillonnage à pas plus importants ou des méthodes analytiques.

Etant donné que cette option permet de modéliser des systèmes non OSG d'une façon plus efficace, en cas de problèmes, on trouvera plus facilement des solutions opérationnelles qu'au moyen des Méthodes 1, 2 et même 3A.

4.2.1 Hypothèses et données d'entrée pour la Méthode 3B

Dans cette méthode, on se propose d'utiliser les caractéristiques techniques de base des systèmes non OSG du SFS, étant donné qu'elles ont déjà été communiquées au BR dans le cadre des renseignements à fournir au titre de l'Appendice 4 du RR. Elle se fonde sur plusieurs hypothèses simplificatrices permettant de minimiser la complexité et le temps d'exécution des simulations, et reste un moyen approprié de déterminer les niveaux les plus élevés d'epfd_j cumulative susceptible de se produire. Un exemple d'application de cette méthode à un ensemble de systèmes non OSG du SFS est donné ci-dessous.

Comme dans la Méthode 3A, l'utilisation de la Recommandation UIT-R S.1325 exige la définition des données d'entrée nécessaires à l'établissement des simulations.

Dans la Méthode 3B, il est proposé d'utiliser les hypothèses qui suivent, en tenant compte des techniques de réduction des brouillages convenues lors de la coordination de systèmes non OSG avec des systèmes non OSG:

- le trafic maximal représentatif acheminé par les faisceaux lors du déploiement complet du système;
- la puissance maximale produite par les faisceaux non OSG;
- la stratégie de commutation choisie parmi une liste de stratégies de commutation pour systèmes non OSG ou la stratégie de commutation opérationnelle; et
- les accords de coordination systèmes non OSG/systèmes non OSG.

Sur la base des divers types de constellations non OSG du SFS qui ont été étudiés par l'UIT-R jusqu'à présent, on peut tirer des conclusions générales sur les distributions d'epfd_j prévues. Les systèmes non OSG LEO du SFS à pointage de faisceau de poursuite/verrouillé permettront de produire les distributions d'epfd_j de niveaux élevés, sur des courtes durées, qui seront concentrées dans des régions plus petites et qui dépendront davantage de la latitude. C'est le cas du système USAKu-L2.

Les systèmes non OSG LEO et MEO du SFS utilisant un pointage de faisceau fixe/à balayage permettront de produire des distributions d'epfd_j couvrant des régions plus vastes aux contours d'epfd_j de faibles niveaux.

4.3 Comparaison des résultats obtenus à l'aide de la Méthode 3A et à l'aide de la Méthode 3B

Afin d'évaluer les simulations, les Fig. 7 et 8 suivantes permettent de comparer les résultats obtenus au moyen des Méthodes 3A et 3B, sur quatre systèmes non OSG. Les hypothèses utilisées dans les deux ensembles de simulation sont données aux § 4.1 et 4.2.

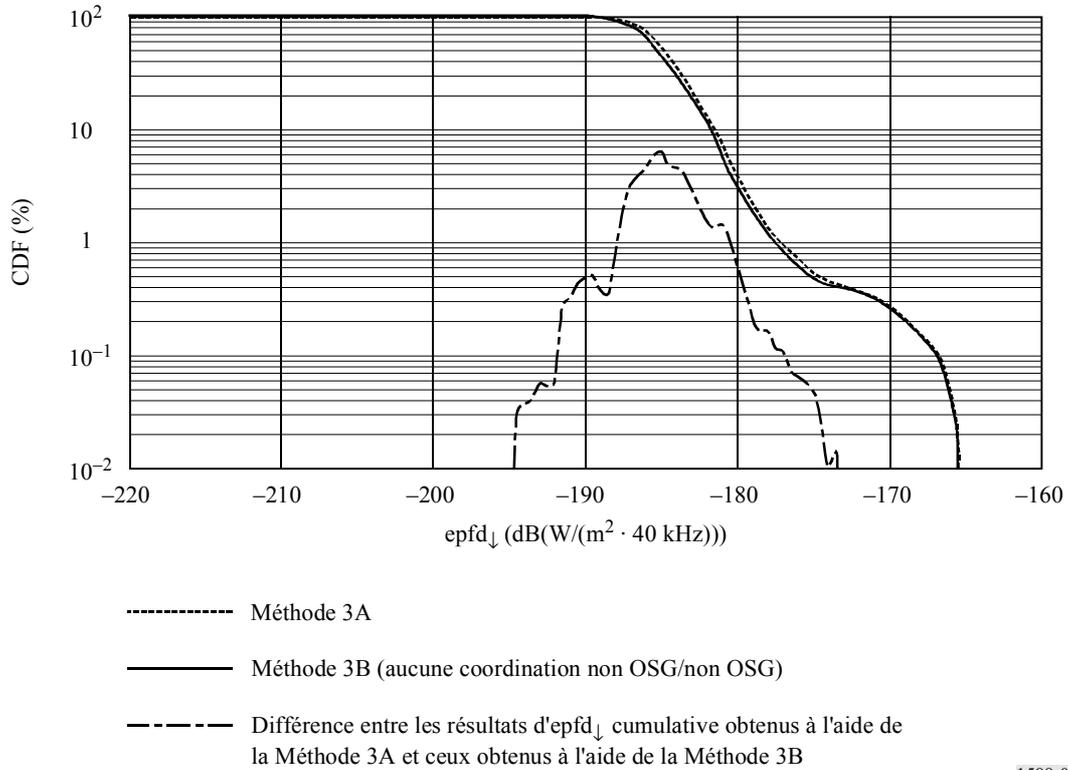
- *Première comparaison:* comparaison entre la Méthode 3A et la Méthode 3B en utilisant les mêmes hypothèses.

La Méthode 3B devrait donner les résultats les plus précis. Elle permet ainsi d'utiliser des paramètres d'entrée plus précis par rapport à la Méthode 3A. Il est toutefois possible d'utiliser les mêmes données d'entrée simplifiées que la Méthode 3A, afin de comparer les deux méthodes entre

elles. Selon ces hypothèses, les constellations non OSG peuvent être considérées comme étant entièrement indépendantes l'une de l'autre. Dans ce cas, on peut vérifier que la Méthode 3A et la Méthode 3B donnent des résultats très proches, avec une différence maximale de 4% à un niveau d' $epfd_{\downarrow}$ donné.

FIGURE 7

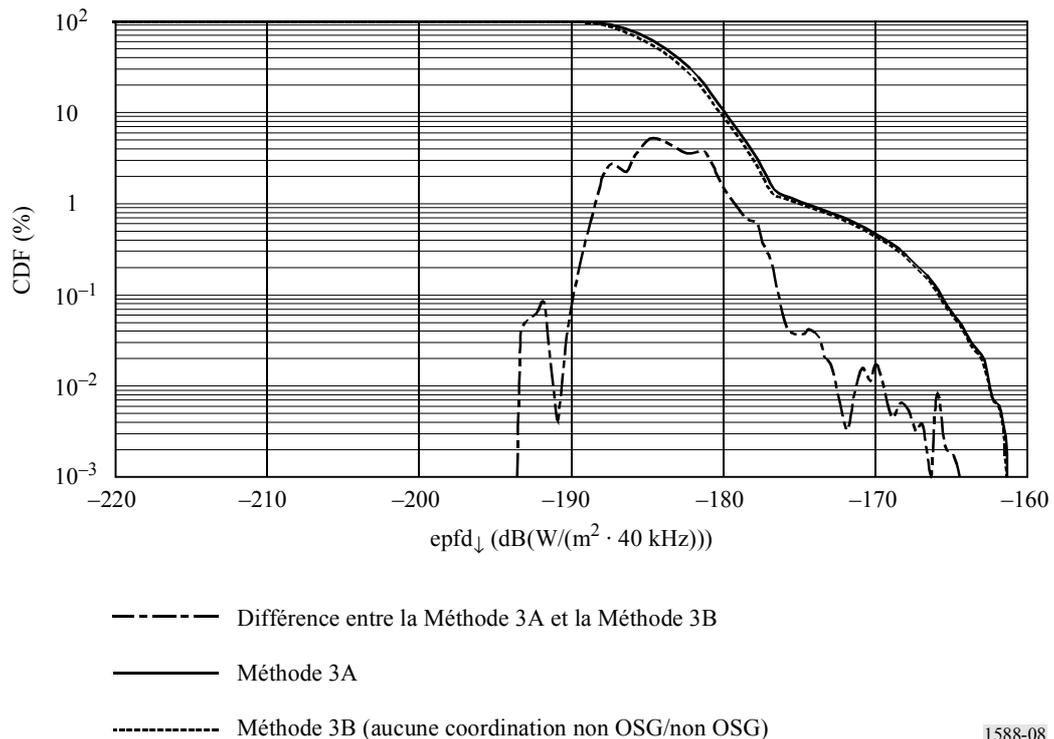
Comparaison entre la Méthode 3A et la Méthode 3B en utilisant les hypothèses de simulation de la Méthode 3A pour les deux méthodes, au point A



1588-07

FIGURE 8

Comparaison entre la Méthode 3A et la Méthode 3B en utilisant les hypothèses de simulation de la Méthode 3A pour les deux méthodes, au point B



1588-08

- *Seconde comparaison*: comparaison entre la Méthode 3A et la Méthode 3B en utilisant des hypothèses différentes, telles qu'indiquées ci-dessous.

TABLEAU 4

Bases de la simulation dans les Méthodes 3A et 3B

Hypothèses	FSATMULTI-1B		USAKu-L2		USAKu-M1		ROSTELESAT	
	Méthode 3A	Méthode 3B	Méthode 3A	Méthode 3B	Méthode 3A	Méthode 3B	Méthode 3A	Méthode 3B
Mise en œuvre du trafic	Non	Oui	_(1)	_(1)	_(1)	_(1)	_(1)	_(1)
Puissance de faisceau	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum
Angle d'évitement (degrés)	-	-	-	10	-	10	-	10

(1) Aucun modèle n'a été proposé dans la liste de paramètres de la Recommandation UIT-R S.1328.

On constate une différence importante entre les niveaux d'epfd_↓ obtenus au moyen de la Méthode 3A, à partir des hypothèses simplifiées, et les résultats obtenus au moyen de la Méthode 3B, à partir d'hypothèses plus précises. Les Fig. 9 et 10 montrent la différence absolue entre les deux méthodes aux points A et B.

FIGURE 9
Comparaison entre la Méthode 3A et la Méthode 3B, au point A

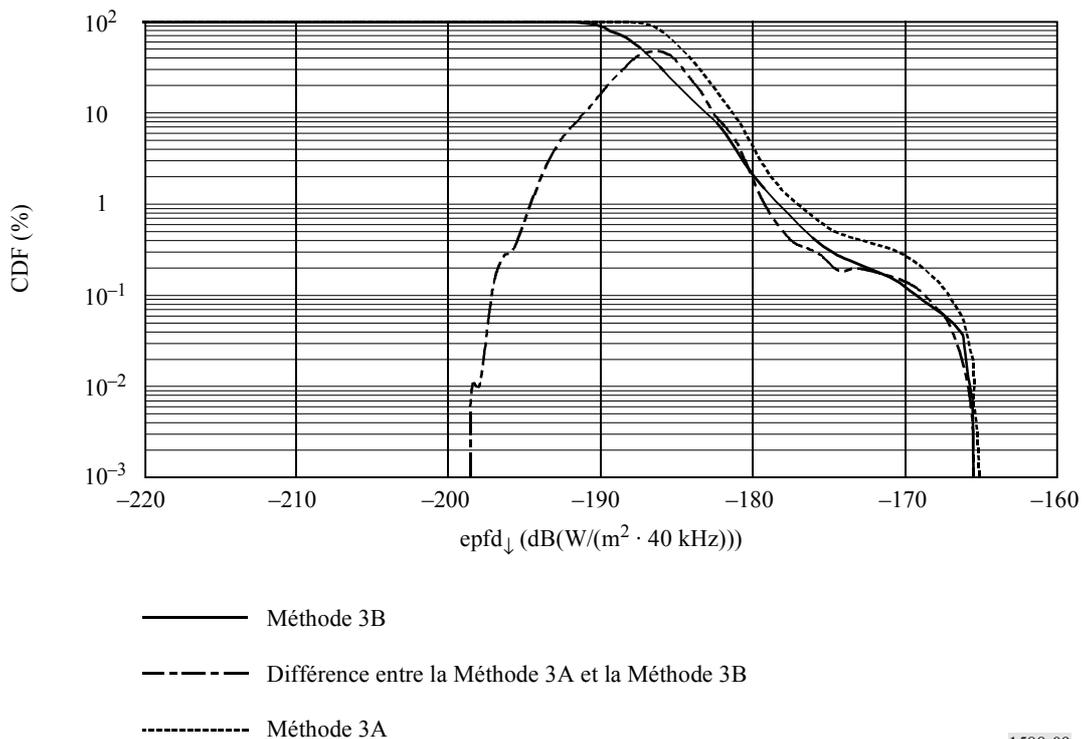
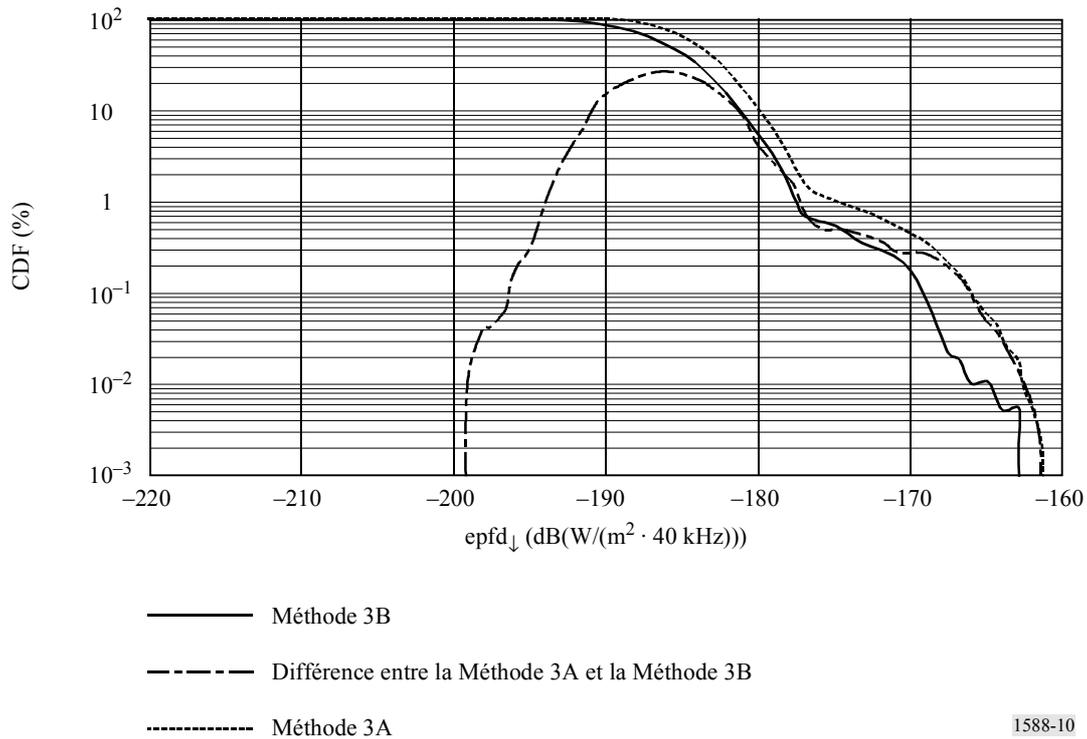


FIGURE 10

Comparaison entre la Méthode 3A et la Méthode 3B, au point B



1588-10

Comme le montrent les Fig. 9 et 10, les résultats obtenus au moyen de la Méthode 3A et de la Méthode 3B peuvent varier jusqu'à 50% du temps sur la longue durée et jusqu'à 0,2% du temps sur la courte durée pour les mêmes niveaux d' $epfd_{\downarrow}$. Ainsi, lors de la vérification de la conformité avec les limites de puissance cumulative, au cas où les Méthodes 1 et 2 auraient conduit à des conclusions négatives, la Méthode 3B devra être appliquée afin d'obtenir des niveaux d' $epfd_{\downarrow}$ plus précis que les niveaux de puissance cumulative prévus par les deux premières méthodes.

4.4 Conclusion sur la comparaison entre la Méthode 3A et la Méthode 3B

Des calculs semblables à ceux décrits au § 4.3, qui ont été effectués au moyen d'une taille différente d'antenne de station terrienne OSG, ont confirmé les résultats susmentionnés. En outre, des cycles de simulation exécutés sur d'autres points de mesure ont donné des résultats similaires.

La comparaison entre les différents cycles de simulation décrits dans le présent paragraphe permet de tirer des conclusions importantes dans le cadre d'études sur la puissance cumulative:

- les Méthodes 3A et 3B donnent des résultats similaires si les mêmes paramètres d'entrée sont utilisés pour les systèmes non OSG et si aucun résultat concernant la coordination systèmes non OSG/systèmes non OSG n'est utilisé.
- La différence générale entre la Méthode 3A et la Méthode 3B, dans l'exemple utilisé, peut différer sur une longue période, pendant une durée pouvant atteindre 50% du temps, et sur une courte période, pendant une durée pouvant atteindre 0,2% du temps.

Quelles que soient les hypothèses ou les caractéristiques qui sont finalement utilisées dans l'outil de calcul, cette analyse montre que les choix de certains paramètres opérationnels influence les résultats du calcul de l' $epfd_{\downarrow}$ cumulative. Cette comparaison montre les avantages de la Méthode 3B, même si les simulations sont plus complexes à établir et à exécuter. Lorsque la

modélisation utilisée diffère de celle de la méthode figurant dans la Recommandation UIT-R S.1503, plus le modèle sera détaillé, plus les résultats seront précis et plus les opérateurs de systèmes non OSG disposeront d'informations pour évaluer l'influence potentielle des paramètres opérationnels sur les résultats obtenus.

5 Comparaison des méthodes

Le Tableau 5 permet de comparer les avantages et les inconvénients entre les différentes méthodes.

TABLEAU 5

Avantages et inconvénients des méthodes permettant d'assurer une conformité avec les limites de puissance cumulative

Méthode	Description	Production des courbes d'epfd _↓	Avantages	Inconvénients
1A Méthode de convolution appliquée lorsque chaque système non OSG utilise des points de mesure de station terrienne différents	<ul style="list-style-type: none"> On effectue la convolution de chaque courbe d'epfd_↓ des systèmes non OSG à chaque point de mesure de la station terrienne avec la courbe d'epfd_↓ sur chaque point de mesure de la station terrienne des autres systèmes non OSG 	Les courbes d'epfd _↓ pour une seule source de brouillage sont calculées à l'aide du logiciel du BR (Recommandation UIT-R S.1503)	<ul style="list-style-type: none"> On utilise le logiciel de validation du BR pour une seule source de brouillage 	<ul style="list-style-type: none"> Exige beaucoup de temps en raison des nombreuses convolutions requises Surestime le brouillage Si les systèmes non OSG ne peuvent vérifier la limite de puissance cumulative, on devra appliquer les Méthodes 2 et/ou 3 Nécessite de tronquer les résultats
1B Méthode de convolution appliquée lorsque chaque système non OSG utilise l'enveloppe des courbes d'epfd _↓ aux différents points de mesure de station terrienne	<ul style="list-style-type: none"> On calcule l'enveloppe des courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage sur les points de mesure de station terrienne de chaque système On effectue la convolution de toutes les courbes d'epfd_↓ de l'enveloppe 	On calcule les courbes d'epfd _↓ pour une seule source de brouillage à l'aide du logiciel du BR (Recommandation UIT-R S.1503)	<ul style="list-style-type: none"> On utilise le logiciel de validation du BR pour une seule source de brouillage Permet une estimation rapide des niveaux d'epfd_↓ cumulative 	<ul style="list-style-type: none"> Surestime le brouillage Si les systèmes non OSG ne peuvent vérifier la limite de puissance cumulative, on devra appliquer les Méthodes 2 et/ou 3 Nécessite de tronquer les résultats

TABLEAU 5 (suite)

Méthode	Description	Production des courbes d'epfd _j	Avantages	Inconvénients
<p>2A</p> <p>Méthode de convolution conforme à la Recommandation UIT-R S.1503 permettant de calculer l'epfd_j aux mêmes points de mesure de station terrienne</p>	<ul style="list-style-type: none"> – On calcule un ensemble de courbes d'epfd_j pour une seule source de brouillage à l'aide de la Recommandation UIT-R S.1503 – On calcule les courbes pour une seule source de brouillage aux mêmes points de mesure – On effectue la convolution des courbes d'epfd_j à chaque point de mesure 	<p>On produit les courbes d'epfd_j pour une seule source de brouillage à l'aide du logiciel du BR (Recommandation UIT-R S.1503)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Plus précise que la Méthode 1 – Nécessite moins d'informations que la Méthode 3 (il n'est pas nécessaire de disposer d'informations confidentielles sur la constellation non OSG) – Plus simple que la Méthode 2B 	<ul style="list-style-type: none"> – Ne tient pas compte de la corrélation temporelle entre systèmes non OSG – Nécessite de tronquer les résultats de la méthode de convolution
<p>2B</p> <p>Méthode de simulation de l'epfd_j cumulative conforme à la Recommandation UIT-R S.1503, aux mêmes points de mesure de station terrienne</p>	<ul style="list-style-type: none"> – On calcule un ensemble de courbes d'epfd_j pour une seule source de brouillage à l'aide de la Recommandation UIT-R S.1503 – On calcule les courbes pour une seule source de brouillage aux mêmes points de mesure – On utilise le logiciel conforme à la Recommandation UIT-R S.1503 pour obtenir une epfd_j cumulative à chaque point de mesure 	<p>On calcule les courbes d'epfd_j cumulative à l'aide du logiciel du BR (Recommandation UIT-R S.1503)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Plus précise que les Méthodes 1 et 2A – Nécessite moins d'informations que la Méthode 3 (étant donné qu'elle repose uniquement sur les renseignements fournis au titre de l'Appendice 4 du RR) – Tient compte de la corrélation temporelle possible – Plus simple et plus rapide que la Méthode 3 	<ul style="list-style-type: none"> – Moins précise que la Méthode 3 – Une modification du logiciel du BR peut être nécessaire

TABLEAU 5 (*fin*)

Méthode	Description	Production des courbes d'epfd _↓	Avantages	Inconvénients
<p>3A</p> <p>Convolution de points représentatifs</p>	<ul style="list-style-type: none"> – On calcule un ensemble de courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage à l'aide de la Recommandation UIT-R S.1503 – On calcule les courbes pour une seule source de brouillage au même point de mesure – On utilise le logiciel conforme à la Recommandation UIT-R S.1503 pour obtenir une epfd_↓ cumulative à chaque point de mesure 	<ul style="list-style-type: none"> – On calcule les courbes d'epfd_↓ pour une seule source de brouillage au moyen d'une méthode de simulation détaillée (par exemple celle de la Recommandation UIT-R S.1325) 	<ul style="list-style-type: none"> – Plus précise que les Méthodes 1 et 2 – Nécessite moins d'informations que la Méthode 3B – Peut être plus simple à mettre en œuvre que la Méthode 3B, en fonction des hypothèses utilisées 	<ul style="list-style-type: none"> – Ne tient pas compte de la corrélation temporelle possible entre systèmes non OSG – Peut nécessiter des informations confidentielles sur les constellations
<p>3B</p> <p>Simulations simultanées</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Simulations conformes à la Recommandation UIT-R S.1325 – Tous les systèmes non OSG en service sont simulés simultanément et indiquent directement la distribution d'epfd_↓ cumulative à n'importe quel point donné 	<ul style="list-style-type: none"> – Simulations conformes à la Recommandation UIT-R S.1325 – Les résultats de la coordination systèmes non OSG/systèmes non OSG sont pris en considération 	<ul style="list-style-type: none"> – La méthode la plus précise compte tenu des données appropriées – Evite la troncation – Contient des informations techniques détaillées pouvant être ajustées, de manière à faire varier les résultats d'epfd_↓ cumulative – Tient compte des corrélations temporelles et de la coordination systèmes non OSG/systèmes non OSG 	<ul style="list-style-type: none"> – Nécessite des logiciels plus complexes que les Méthodes 1 et 2 – Nécessite des ressources informatiques importantes – Peut nécessiter des informations confidentielles sur les constellations