

RECOMMANDATION UIT-R F.1766-0^{*,**}

Méthode permettant de déterminer sur la base du calcul de zones d'exclusion, la probabilité pour qu'un observatoire de radioastronomie subisse des brouillages, afin d'assurer une protection contre les brouillages causés par des applications à haute densité du service fixe point à multipoint exploitées dans les bandes au voisinage de 43 GHz

(2006)

Domaine de compétence

La présente Recommandation décrit une méthode qui permet de calculer des zones d'exclusion autour de sites de radioastronomie en ce qui concerne les stations d'émission des applications à haute densité du service fixe (HDFS) point à multipoint (P-MP), et que les administrations peuvent utiliser dans le cadre de discussions aux niveaux national et bilatéral pour protéger les sites de radioastronomie des brouillages susceptibles d'être causés par des stations de systèmes HDFS P-MP.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la bande de fréquences 42,5-43,5 GHz est utilisée ou doit être utilisée pour les observations du continuum;
- b) que les bandes de fréquences 42,77-42,87 GHz, 43,07-43,17 GHz et 43,37-43,47 GHz sont utilisées par les radioastronomes pour observer les raies spectrales de monoxyde de silicium;
- c) que ces observations peuvent être effectuées au moyen d'une seule antenne ou d'un réseau d'antennes utilisant les techniques d'interférométrie à très grande base (VLBI);
- d) que les observatoires utilisent des antennes à gain très élevé et à des amplificateurs à très faible bruit pour recevoir des rayonnements radioélectriques cosmiques extrêmement faibles sur lesquels les astronomes n'ont aucun contrôle;
- e) que les applications à haute densité du service fixe (HDFS) point à multipoint (P-MP) pourraient exiger l'utilisation de nombreux terminaux qu'il serait impossible de coordonner de manière individuelle;
- f) que les administrations souhaitant protéger un site de radioastronomie (SRA) des brouillages susceptibles d'être causés par des stations HDFS P-MP peuvent envisager l'utilisation d'une zone d'exclusion autour du site SRA dans leurs discussions aux niveaux national et bilatéral;
- g) qu'il serait possible de mieux déterminer la taille de la zone d'exclusion en tenant compte des données topologiques et démographiques relevées autour des sites SRA,

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

** La Commission d'études 5 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en 2017 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

reconnaisant

- a) que la bande de fréquences 42,5-43,5 GHz est attribuée au service de radioastronomie (SRA) à l'échelle mondiale et à titre primaire;
- b) que le numéro 5.149 du Règlement des radiocommunications (RR) dispose que «en assignant des fréquences aux stations des autres services auxquels les bandes 42,5-43,5 GHz, 42,77-42,87 GHz, 43,07-43,17 GHz, 43,37-43,47 GHz sont attribuées, les administrations sont instamment priées de prendre toutes les mesures pratiquement réalisables pour protéger le service de radioastronomie contre les brouillages préjudiciables»;
- c) que la bande 42,5-43,5 GHz est, de plus, attribuée au service fixe à titre primaire;
- d) qu'aux termes du numéro 5.547 du RR, la bande 42,5-43,5 GHz est disponible pour les applications à haute densité du service fixe et que les administrations devraient prendre en considération ce qui précède lorsqu'elles examinent les dispositions réglementaires applicables à cette bande,

notant

- a) qu'aux termes de la Résolution 79 (CMR-2000), l'UIT-R est invitée à «mener des études sur la distance de coordination entre des stations de radioastronomie fonctionnant dans la bande 42,5-43,5 GHz et des stations HDFS P-MP dans le but d'élaborer des Recommandations UIT-R»;
- b) que la Recommandation UIT-R F.1760 décrit une méthode de calcul de la distribution de puissance isotrope rayonnée équivalente cumulative (p.i.r.e.c.) produite par des applications à haute densité du service fixe point à multipoint fonctionnant dans des bandes au-dessus de 30 GHz,

recommande

- 1 d'utiliser l'Annexe 1 pour déterminer, sur la base des distributions de la p.i.r.e.c., la probabilité pour qu'un observatoire SRA subisse des brouillages de la part de stations HDFS P-MP installées à l'extérieur d'une zone d'exclusion donnée;
- 2 d'utiliser l'Annexe 2 pour déterminer la zone d'exclusion autour du site SRA, définie par un affaiblissement de propagation depuis ce site, à l'extérieur de laquelle des stations HDFS P-MP peuvent être installées sans risquer de causer des brouillages inacceptables au service SRA, en utilisant la méthode décrite dans l'Annexe 1 pour calculer la probabilité de brouillage.

Annexe 1

Méthode permettant de déterminer, sur la base des distributions de la p.i.r.e.c., la probabilité pour qu'un observatoire de radioastronomie subisse des brouillages de la part de stations HDFFS P-MP installées à l'extérieur d'une zone d'exclusion donnée

1 Introduction

Afin d'être en mesure d'assurer le niveau de protection requis au service de radioastronomie, il est nécessaire de prévoir les niveaux de brouillages susceptibles d'être causés à un site de radioastronomie par des stations HDFFS P-MP. Ce niveau de brouillage dépendra des caractéristiques supposées pour chaque service ainsi que du terrain sur lequel est situé le site de radioastronomie et de l'écho environnant.

Un certain nombre de paramètres d'entrée ne sont pas disponibles sous la forme de constantes numériques, mais sous la forme d'une distribution. Par exemple, l'affaiblissement de propagation entre deux points dépend d'un certain nombre de paramètres comprenant le pourcentage de temps. La méthode décrite dans la présente Annexe est fondée sur des techniques Monte-Carlo consistant à effectuer la convolution des distributions d'entrée à partir d'une équation de brouillage afin d'obtenir une distribution des brouillages par rapport à la probabilité de dépassement de ces niveaux de brouillage.

Cette méthode permet d'effectuer une comparaison par rapport aux seuils SRA indiqués dans la Recommandation UIT-R RA.769, qui sont définis en fonction d'un seuil de brouillage (puissance moyenne au cours de l'observation) et de la probabilité pour qu'une observation subisse des brouillages.

Le calcul passe par trois étapes:

- 1 définition du modèle SRA;
- 2 définition du modèle HDFFS P-MP;
- 3 calcul des brouillages.

Chacune de ces étapes est décrite dans les paragraphes qui suivent.

2 Modèle SRA

2.1 Seuil de brouillage

Le modèle SRA repose sur les critères de protection applicables aux mesures en radioastronomie, décrits dans la Recommandation UIT-R RA.769. Afin d'assurer la protection du service de radioastronomie, il est nécessaire d'obtenir une probabilité de $(100 - x)\%$ pour qu'une observation soit exempte de brouillages.

Une observation est exempte de brouillages si la puissance brouilleuse moyenne au cours de la période d'intégration T est inférieure aux niveaux définis dans l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R RA.769. Une valeur de $T = 2\,000$ s est généralement utilisée dans le cadre de la présente Recommandation et dans le cadre d'autres analyses de partage avec le service de SRA.

Cette période d'intégration permet en outre de déterminer la sensibilité du récepteur et, ainsi, le seuil ou le niveau moyen de brouillage. Ces derniers varient en fonction du type d'observation, selon qu'il s'agit d'observations du continuum ou d'observations de raies spectrales. Les observations du

continuum étant plus sensibles que celles des raies spectrales, elles exigent un seuil de brouillage plus faible. Le fonctionnement d'un télescope faisant partie intégrante d'un système VLBI entraîne des seuils élevés de brouillage en raison de la faible corrélation des sources de brouillage.

Les valeurs indiquées dans le Tableau 1 de la Recommandation UIT-R RA.769 définissent des seuils moyens de brouillage en termes de densité spectrale de puissance surfacique, en prenant pour hypothèse un gain dans le récepteur de 0 dBi. Cela correspond à une antenne dont les lobes latéraux, tels que spécifiés dans la Recommandation UIT-R SA.509, présentent un angle hors axe de 19°. Afin de pouvoir modéliser des télescopes SRA pour des angles d'élévation plus faibles et de prendre en considération d'autres diagrammes de gain pour le télescope, il est nécessaire de définir le seuil en termes de brouillage au niveau du récepteur, c'est-à-dire en utilisant ΔP_H tel que défini dans l'équation (4) de cette Recommandation.

Comme il a été souligné ci-dessus, une probabilité de $(100 - x)\%$ est nécessaire pour qu'une observation soit exempte de brouillages, c'est-à-dire pour que ce seuil ne soit pas dépassé. La Recommandation UIT-R RA.1513 définit cette probabilité pour un réseau unique; dans le cas d'un déploiement de stations HDFS P-MP, il convient d'utiliser une valeur de $x = 2\%$.

2.2 Emplacement

L'emplacement de l'antenne SRA est défini par sa latitude, sa longitude et sa hauteur au-dessus du sol.

2.3 Diagramme de gain

Il convient de modéliser l'antenne SRA au moyen d'un diagramme de gain approprié, tel que celui qui est spécifié dans les Recommandations UIT-R S.1238 ou UIT-R RA.1630, ou, selon le cas, au moyen de données mesurées. Comme il est indiqué ci-dessus, le seuil de brouillage est fondé sur le brouillage moyen calculé en règle générale au cours d'une période d'observation de 2 000 s. En supposant que l'environnement de propagation et le déploiement de stations HDFS P-MP ne varient pas pendant cette période, le brouillage moyen sera celui qui sera calculé à l'aide du gain moyen au cours de l'observation.

On peut déterminer le gain moyen d'un télescope SRA en procédant comme suit:

- placer un certain nombre de points de mesure (par exemple, tous les 3°) sur l'horizon autour du site SRA soumis à l'essai;
- utiliser pour l'antenne SRA le diagramme de gain sélectionné comme il est décrit ci-dessus;
- fixer l'élévation de l'antenne à la valeur minimale pour les observations effectuées sur ce site (par exemple 5°) et l'azimut à 0°;
- augmenter l'élévation de l'antenne à une vitesse égale à la vitesse de rotation de la Terre pendant 2 000 s;
- déterminer le gain moyen à chaque point de mesure pendant cette période. A noter que pour déterminer cette moyenne, il convient d'employer des unités linéaires plutôt que des dBi, même si les valeurs données dans le tableau qui en résulte peuvent être exprimées en dBi.

Le tableau représentant le {(gain moyen pendant 2 000 s), (angle par rapport à la direction de l'azimut SRA)} peut être utilisé pour représenter le diagramme de gain moyen de l'antenne SRA en direction de l'horizon au cours d'une observation donnée.

2.4 Résumé

Les paramètres d'entrée nécessaires pour définir le service SRA dans le modèle sont résumés dans le Tableau 1.

TABLEAU 1
Paramètres relatifs au modèle SRA

Paramètre d'entrée	Source
Seuil de brouillage	Brouillage moyen pendant une période d'observation de 2 000 s, calculé à partir de la Recommandation UIT-R RA.769 pour le type d'observation considéré.
Probabilité acceptable pour qu'une observation subisse des brouillages	En provenance d'un réseau HDFS P-MP, 2% d'après la Recommandation UIT-R RA.1513
Latitude du site SRA	Depuis l'emplacement du site SRA
Longitude du site SRA	Depuis l'emplacement du site SRA
Hauteur d'antenne SRA au-dessus du sol	Depuis l'emplacement du site SRA
Gain moyen au cours de l'observation	Tableau représentant le {(gain moyen pendant 2 000 s), (angle par rapport à la direction à l'azimut SRA)}, calculé au moyen de l'algorithme décrit ci-dessus

3 Modèle applicable aux systèmes HDFS P-MP

3.1 Distribution(s) de puissance p.i.r.e.c.

Les systèmes HDFS P-MP peuvent présenter diverses caractéristiques et être employés dans une large gamme de services et d'architectures. Pour faciliter la réglementation de la bande concernée, il est possible d'élaborer des modèles de référence fondés sur des caractéristiques telles que la taille maximale de cellule, la p.i.r.e., la hauteur d'antenne, etc. A partir de ces modèles de référence, il est possible de calculer les distributions de la p.i.r.e. cumulative (p.i.r.e.c.) définissant la probabilité pour que la p.i.r.e.c. à l'intérieur d'une zone ou d'un secteur ne dépasse une certaine valeur. L'algorithme permettant de calculer ces distributions de p.i.r.e.c. est décrit dans la Recommandation UIT-R F.1760 – Méthode de calcul de la distribution de puissance isotrope rayonnée équivalente cumulative (p.i.r.e.c.) produite par des applications à haute densité du service fixe point à multipoint fonctionnant dans des bandes au-dessus de 30 GHz identifiées pour de telles utilisations.

La p.i.r.e.c. est fonction des caractéristiques de tous les émetteurs situés à l'intérieur du secteur, y compris des aspects tels que la commande de puissance, les diagrammes de gain, l'agrégation et l'écho. Le déploiement de terminaux HDFS P-MP variera d'un secteur à l'autre: de nombreux secteurs sont susceptibles de produire une large gamme de p.i.r.e.c. telle que définie par la distribution.

Un scénario pourrait être fondé sur le déploiement généralisé d'un modèle de référence unique applicable aux stations HDFS P-MP, dont le paramètre d'entrée serait une distribution de p.i.r.e.c. unique. Toutefois, des déploiements plus complexes pourraient faire intervenir différents types de modèles de référence HDFS P-MP, pour lesquels des distributions de p.i.r.e.c. multiples seraient nécessaires.

3.2 Hauteur de l'émetteur

La hauteur de l'émetteur, qui sera la hauteur maximale pouvant être utilisée pour chaque modèle de référence, est associée à la distribution de p.i.r.e.c.

3.3 Zone de déploiement

La zone de déploiement, qui représente les emplacements auxquels pourraient se trouver des émetteurs HDFS P-MP, est généralement comprise entre:

- la zone d'exclusion autour du site SRA, à l'intérieur de laquelle le déploiement de stations HDFS P-MP n'est pas autorisé. Elle pourrait être définie en fonction de la distance depuis le site SRA, D , ou en fonction des emplacements pour lesquels l'affaiblissement de propagation fondé sur un modèle, tel que celui défini dans la Recommandation UIT-R P.452, est supérieur à une valeur spécifiée ($L_{452} > X$ dB);
- la distance maximale D_{max} à partir de laquelle un déploiement supplémentaire entraînerait une augmentation négligeable du niveau de brouillage calculé, qui n'aurait donc pas à être pris en considération.

Les zones d'exclusion fondées sur la distance sont représentées par des cercles centrés sur le site SRA, alors que les zones d'exclusion fondées sur l'affaiblissement de propagation peuvent être représentées par des polygones.

La distance maximale à prendre en considération variera en fonction de la taille de la zone d'exclusion. Par exemple, avec une zone d'exclusion définie par $D = 50$ km, il n'est pas nécessaire de tenir compte du déploiement de stations HDFS P-MP au-delà de $D_{max} = 110$ km. On peut déterminer la valeur de D_{max} en continuant à ajouter d'autres stations brouilleuses jusqu'à ce que l'augmentation du niveau de brouillage soit négligeable. Si la zone de déploiement est un anneau étroit autour du site SRA, il conviendrait alors probablement d'augmenter D_{max} .

A l'intérieur de la zone de déploiement, il convient de placer un ensemble de points de mesure à intervalles réguliers, chacun représentant un secteur. La zone utilisée pour calculer la p.i.r.e.c. détermine la distance de séparation entre les points de mesure.

La zone de déploiement pourrait contenir une répartition uniforme de secteurs, tous les secteurs représentant le même modèle de référence HDFS P-MP, ou des emplacements associés à différents types de service, d'architecture, etc., représentés par des distributions de p.i.r.e.c. différentes. La zone de déploiement pourrait aussi inclure des zones dans lesquelles des stations HDFS P-MP ne seraient pas déployées.

La distribution de p.i.r.e.c. pourrait représenter soit des émissions dans la bande, soit des émissions hors bande (OoB, *out-of-band*) provenant d'émetteurs HDFS P-MP. Dans le cas d'une analyse des OoB, un affaiblissement du signal par rapport aux émissions dans la bande, A_{OoB} , est possible.

L'Annexe 2 de la présente Recommandation décrit différentes méthodes et différents algorithmes permettant de définir une zone de déploiement.

3.4 Résumé

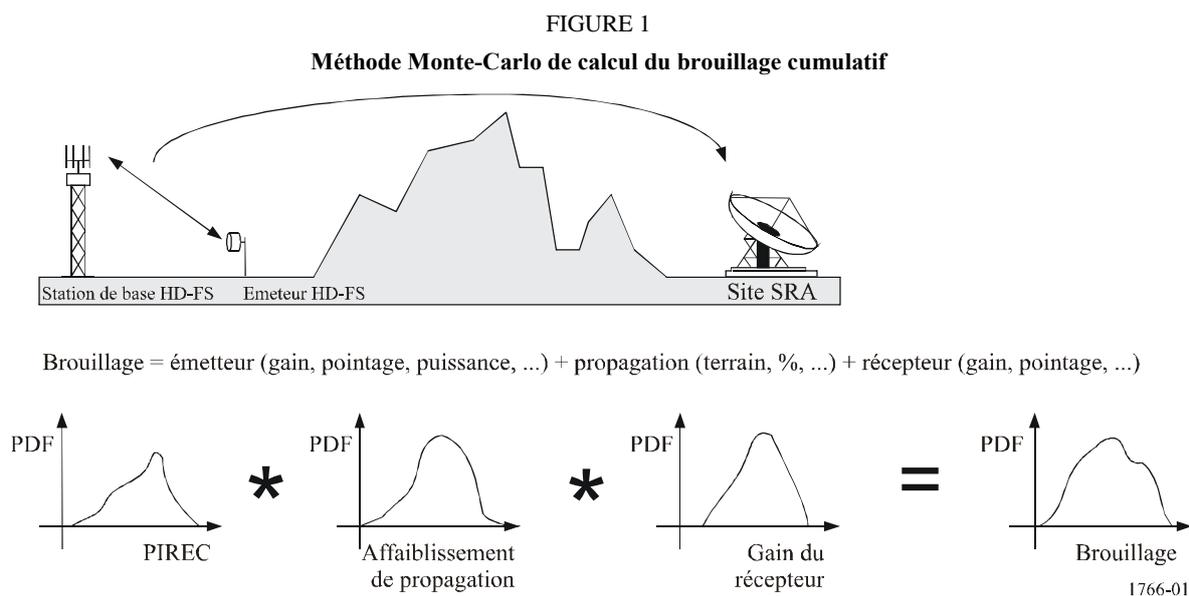
Les paramètres d'entrée nécessaires pour définir les stations HDFS P-MP dans le modèle sont récapitulés dans le Tableau 2.

TABLEAU 2
Paramètres du modèle HDFS point à multipoint

Paramètre d'entrée	Source
Distribution(s) de p.i.r.e.c.	Calculée(s) au moyen de l'algorithme défini dans la Recommandation UIT-R F.1760
Hauteur d'émetteur	Telle que définie pour chaque modèle de référence (variable d'une distribution de p.i.r.e.c. à l'autre)
Zone de déploiement	Ensemble de points de mesure compris entre la zone d'exclusion et la distance maximale à prendre en considération, D_{max} . Chaque point de mesure est associé à une hauteur d'émetteur et à une distribution de p.i.r.e.c.
Si nécessaire, A_{OoB}	Si nécessaire, un affaiblissement entre les émissions dans la bande et les émissions OoB est appliqué. Pour une analyse des émissions dans la bande, ce champ peut être mis à zéro

4 Calcul des brouillages

La méthode Monte-Carlo consiste à calculer le brouillage cumulatif moyen pour une série d'échantillons. Elle repose sur la convolution de trois paramètres d'entrée variables, à savoir le déploiement de stations HDFS P-MP, l'environnement de propagation et l'azimut du site SRA. Cette convolution est représentée dans la Fig. 1.



Pour chaque échantillon, on calcule le brouillage cumulatif moyen I comme suit:

$$I = \sum_j PIREC(p_{i,j}) - L_{452}(p_i, j) + G_{RAS}(j, az_i) - A_{OoB} \tag{1}$$

où:

i : i -ième numéro d'échantillon

- j : j -ième secteur
- $PIREC(p_{i,j})$: p.i.r.e. cumulative pour la probabilité $p_{i,j}$
- $p_{i,j}$: probabilité pour le i -ième échantillon pour le j -ième secteur
- $L_{452}(p_i, j)$: affaiblissement défini dans la Recommandation UIT-R P.452 pour la probabilité p_i pour le j -ième secteur
- p_i : probabilité d'utilisation dans la Recommandation UIT-R P.452 pour le i -ième échantillon
- $G_{SRA}(j, az_i)$: gain moyen de réception SRA au cours de l'observation en direction du j -ième secteur pour l'angle de pointage SRA az_i
- A_{OoB} : affaiblissement entre les émissions dans la bande et les émissions OoB. Dans le cas de l'analyse des émissions dans la bande, ce champ peut être ignoré ou mis à zéro.

A noter que L_{452} est censé être un nombre positif représentant un affaiblissement.

On utilise les hauteurs d'antenne de l'émetteur HDFS P-MP du récepteur SRA conformément au modèle de propagation de la Recommandation UIT-R P.452 afin de déterminer l'affaiblissement, le cas échéant.

A partir de l'équation (1), on calcule la probabilité pour qu'une observation subisse des brouillages en suivant les étapes ci-après:

Etape 1 Poser le nombre d'échantillons $N = 0$.

Etape 2 Poser les observations subissant des brouillages $M = 0$.

Etape 3 Si le nombre d'échantillons $N < N_{max}$, répéter les étapes 4 à 17.

Etape 4 Calculer l'azimut de l'antenne SRA $Az = \text{random}(-180, +180)$.

Etape 5 Calculer le pourcentage de temps $p_i = \text{random}(0, 100)$ d'après la Recommandation UIT-R P.452.

Etape 6 Poser le brouillage moyen cumulatif $I = 0$.

Etape 7 Pour chaque point de mesure à l'intérieur de la zone de déploiement, j , répéter les étapes 8 à 14.

Etape 8 Calculer la probabilité de déploiement de secteur pour le j -ième point de mesure $p_{i,j} = \text{random}(0, 1)$.

Etape 9a Dans le cas de systèmes AMRF, en utilisant la distribution de p.i.r.e.c. pour le j -ième point de mesure, déterminer la p.i.r.e.c. ($p_{i,j}$).

Etape 9b Dans le cas de systèmes AMRT, en utilisant la distribution de p.i.r.e.c. pour le j -ième point de mesure, déterminer la p.i.r.e.c. ($p_{i,j}$), en choisissant au hasard x échantillons où x représente le nombre de créneaux temporels de subdivision des systèmes AMRT, puis calculer la p.i.r.e.c. en prenant la moyenne des x échantillons.

Etape 10 Calculer l'affaiblissement UIT-R P.452 entre le j -ième point de mesure et le site SRA pour le pourcentage de temps p , $L_{452}(p_i, j)$.

Etape 11 Calculer la différence d'azimut ∇Az_j entre l'azimut du site SRA et l'azimut au niveau du site SRA en direction du j -ième point de mesure.

Etape 12 Calculer le gain moyen $G_{SRA, j}$ au niveau du site SRA en direction du j -ième point de mesure en recherchant le gain moyen associé à la différence d'azimut ∇Az_j , au moyen d'une interpolation linéaire si nécessaire.

Etape 13 Calculer les brouillages entre ce point de mesure et le site SRA comme suit (sachant que pour l'analyse dans la bande, $A_{OoB} = 0$):

$$I_j = \text{PIREC}(p_{i,j}) - L_{452}(p_{i,j}) + G_{SRA,j} - A_{OoB}$$

Etape 14 Incrémenter le brouillage moyen cumulatif I par I_j :

$$I \Rightarrow I + 10^{(I_j/10)}$$

Etape 15 Lorsque tous les points de mesure ont été inclus, convertir le brouillage moyen cumulatif I en dB:

$$I \Rightarrow 10 \log_{10}(I)$$

Etape 16 Si le brouillage moyen cumulatif I dépasse le seuil SRA, incrémenter le nombre d'observations subissant des brouillages, M .

Etape 17 Incrémenter le nombre d'échantillons, N .

Etape 18 Calculer la probabilité pour qu'une observation subisse des brouillages, $P_{ob} = 100M/N$.

NOTE 1 – Nombre d'échantillons requis – évaluer la signification statistique.

On peut déterminer la signification des résultats en appliquant l'essai de la distribution du t de Student. Cette méthode consiste à calculer l'écart par rapport à la moyenne de la population divisé par l'erreur type estimée, autrement dit:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s_{n-1} / \sqrt{n}}$$

où:

\bar{x} : moyenne calculée à partir de l'échantillon

μ : moyenne calculée à partir de la population totale

s_{n-1} : écart type de l'échantillon

n : taille de l'échantillon.

On peut ensuite comparer cela par rapport à la probabilité de distribution t d'une hypothèse (par exemple, l'hypothèse selon laquelle $\mu > 2\%$) pour le niveau requis de certitude.

Les étapes qui suivent montrent la manière d'implémenter cela dans l'algorithme:

Etape 1 Définir la simulation pour enregistrer la probabilité de dépassement de I tous les 1 000 pas de temps.

Etape 2 Exécuter 5 ensembles de 1 000 pas de temps.

Etape 3 Evaluer la signification t des données actualisées pour le niveau requis de certitude.

Etape 4 Si ces données ne sont pas significatives, exécuter 1 000 autres pas et passer à l'étape 3.

Etape 5 Si elles sont significatives, indiquer les résultats.

NOTE 2 – Utiliser la Recommandation UIT-R P.452.

Le pourcentage de temps P de la Recommandation UIT-R P.452 est un nombre aléatoire pris dans une distribution uniforme entre 0 et 100%. Pour assurer la compatibilité avec les intervalles de probabilité qu'autorise la méthode définie dans ladite Recommandation, il convient d'appliquer les limites suivantes:

- si P est supérieur à 50%, poser $P = 50\%$;
- si P est inférieur à 0,001%, poser $P = 0,001\%$.

Lorsqu'elles sont disponibles, les bases de données relatives au terrain et à l'écho doivent être utilisées pour le calcul de l'affaiblissement défini dans la Recommandation UIT-R P.452.

5 Résultat de la méthode

Le résultat que donne la méthode est une probabilité pour qu'une observation subisse des brouillages, P_{ob} .

Cette probabilité peut être comparée avec la probabilité pour qu'une observation subisse des brouillages acceptables, à savoir 2% pour un réseau HDFS P-MP.

Par conséquent, pour protéger le site SRA, la condition suivante doit être vraie:

$$P_{ob} \leq 2\% \quad (2)$$

Pièce jointe 1 à l'Annexe 1

Exemple de calcul

La présente Pièce jointe décrit un exemple d'utilisation de la méthode définie dans l'Annexe 1 permettant de déterminer la probabilité pour qu'une observation effectuée à l'observatoire Jodrell Bank soit exposée à des brouillages consécutifs au déploiement à grande échelle de réseaux HDFS P-MP.

Modèle SRA

Les paramètres donnés dans le Tableau 3 représentent les paramètres d'entrée du modèle de Jodrell Bank.

TABLEAU 3
Paramètres d'entrée SRA

Bande de fréquences	43 GHz
Type d'observation	Analyse du continuum
Élévation minimale	5°
Latitude du site	+53° 14' 1,2''
Longitude du site	-02° 18' 8,9''
Hauteur d'antenne	30 m au-dessus du sol
Modèle de diagramme de gain	Rec. UIT-R S.1428

En fonction du type et de la fréquence des observations, on a calculé les seuils de brouillage du Tableau 4 à partir des Recommandations UIT-R RA.769 et UIT-R RA.1513.

TABLEAU 4
Seuils SRA

Seuil du brouillage moyen durant une observation de 2 000 s	-220,6 dB(W/MHz)
Probabilité acceptable pour qu'une observation subisse des brouillages P_{ob}	2%

A partir de l'angle d'élévation minimal et d'une période d'observation de 2 000 s, on a calculé les plages des angles azimut et d'élévation d'antenne (Tableau 5).

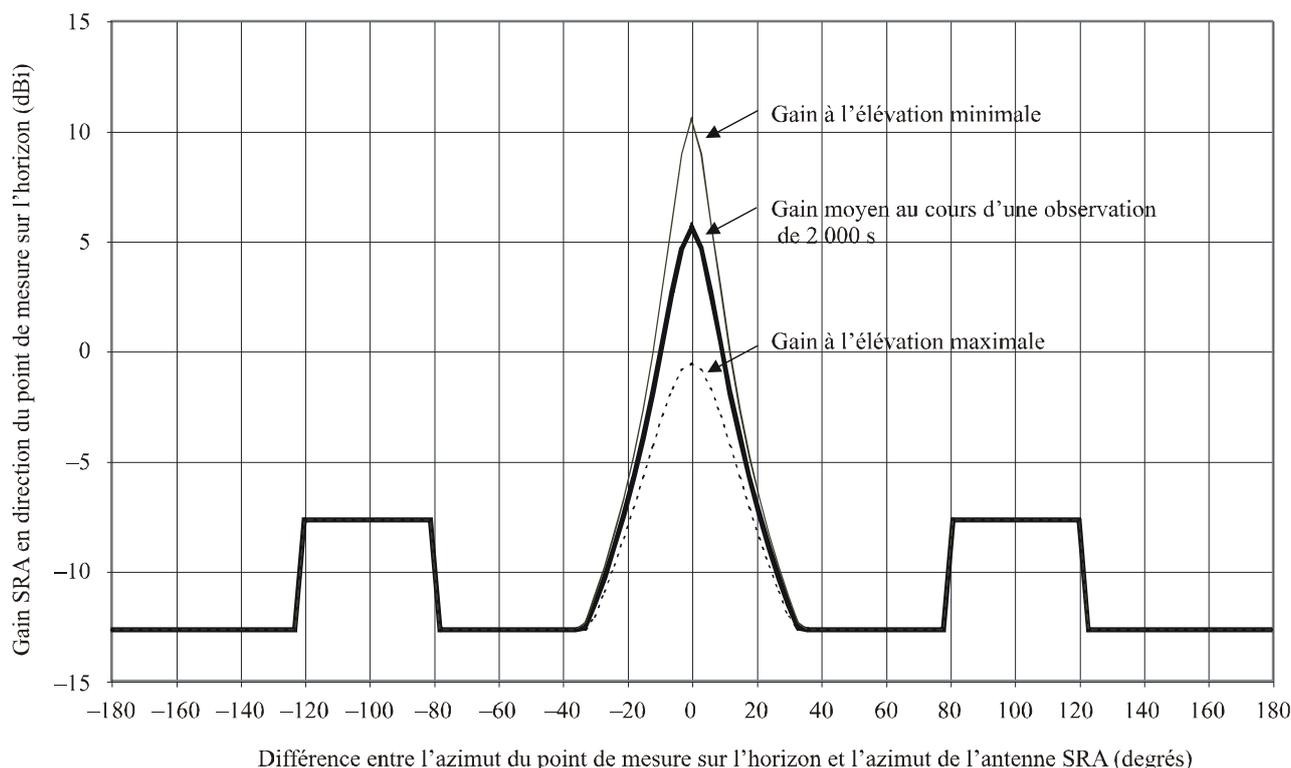
TABLEAU 5
Plages des angles d'azimut et d'élévation SRA

	Début	Fin
Azimut	0°	0°
Élévation	5°	13,33° ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Après 2 000 s, la Terre a effectué une rotation de 8,33° (13,33° = 5° + 8,33°).

A partir d'un ensemble de points de mesure espacés de 3° sur l'horizon, on a calculé le gain moyen pour le diagramme de gain défini dans la Recommandation UIT-R S.1428 (voir la Fig. 2).

FIGURE 2
Gain moyen d'une antenne SRA sur la base de la Recommandation UIT-R S.1428



Modèle HDF5 P-MP

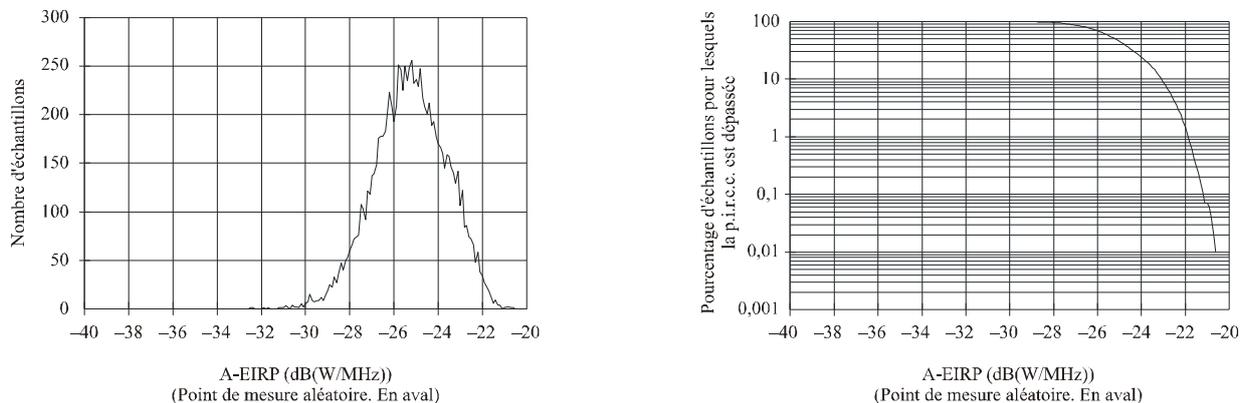
Le modèle de référence utilisé pour calculer la distribution de p.i.r.e.c. définit les caractéristiques des stations HDF5 P-MP. En l'occurrence, il s'agissait d'un réseau d'accès hertzien fixe à large bande utilisant des antennes de station de base situées à 20 m au-dessus du sol et desservant des clients commerciaux disposant d'antennes situées à 5 m au-dessus du sol, en considérant la transmission en amont entre le client et la station de base.

L'objectif de l'analyse consistait à déterminer si une zone d'exclusion définie sur la base d'un affaiblissement $L_{452}(10\%) \geq 161$ dB serait suffisante pour protéger le site SRA des émissions OoB consécutives au déploiement à grande échelle de ce type de réseau HDF5 P-MP.

L'algorithme défini dans la Recommandation UIT-R F.1760 a été utilisé pour calculer la distribution de p.i.r.e.c. représentée dans la Fig. 3 sous la forme d'un histogramme et d'une fonction de distribution cumulative (FDC).

FIGURE 3

Histogramme de la puissance p.i.r.e.c. et fonction de distribution cumulative pour le modèle de référence de stations HDF5 P-MP



1766-03

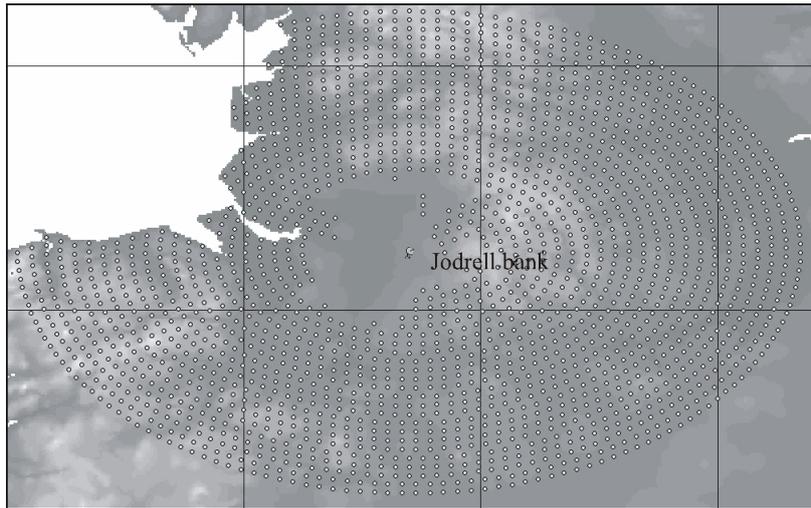
Chaque secteur représentait toutes les émissions à l'intérieur d'une zone de 4×4 km.

L'équipement du client était situé à 5 m au-dessus du sol et l'affaiblissement du signal OoB était de 46,79 dB par rapport aux émissions dans la bande.

La zone d'exclusion de $L_{452}(10\%) \geq 161$ dB correspond à une zone de déploiement constituée de points de mesure (voir la Fig. 4).

FIGURE 4

Zone de déploiement dans laquelle est définie une zone d'exclusion selon $L_{452}(10\%) \geq 161$ dB



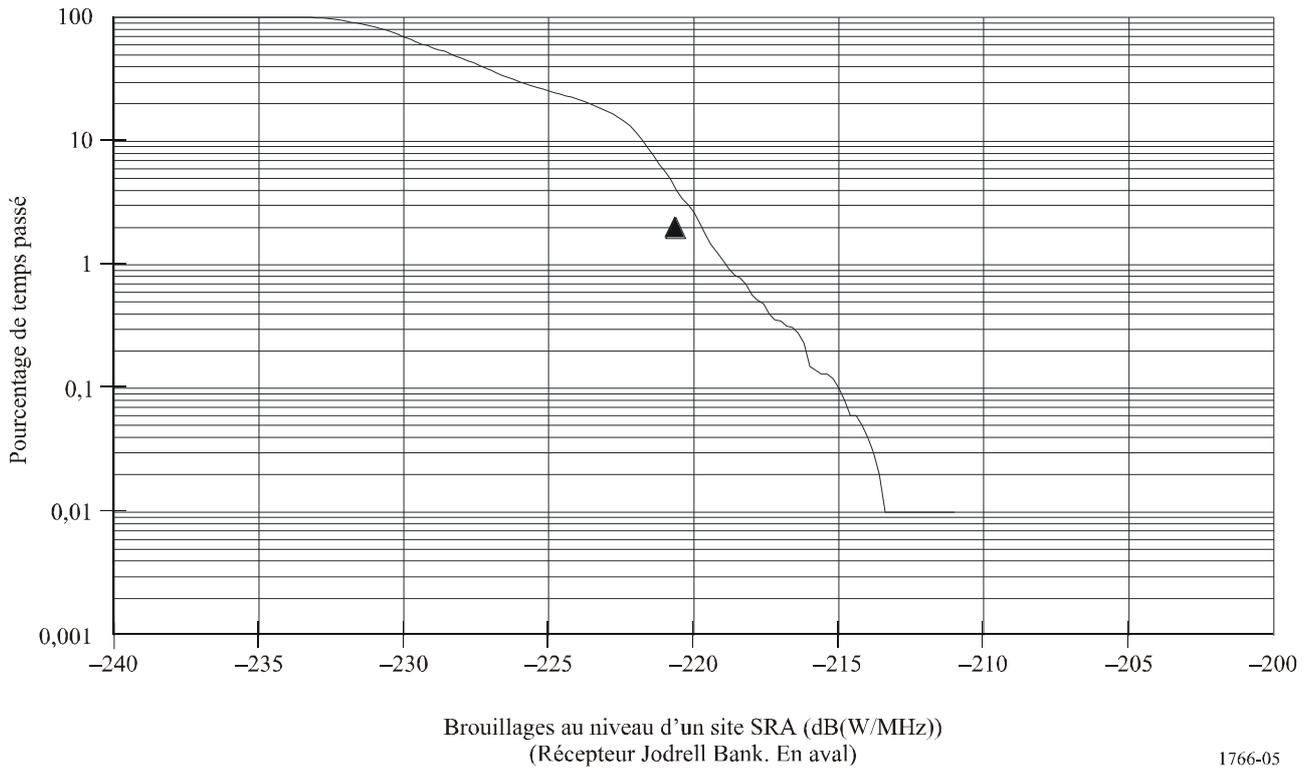
1766-04

Calcul des brouillages

A partir des paramètres définis ci-dessus, on a calculé une distribution du brouillage en fonction de la probabilité de dépassement du brouillage pour 10 000 échantillons. Le graphique ainsi obtenu est représenté dans la Fig. 5. Le seuil SRA est représenté sur ce graphique sous la forme d'un triangle.

FIGURE 5

Exemple de fonction de distribution cumulative des brouillages causés par des stations HDFS P-MP au service de radioastronomie



1766-05

Résultat de la méthode

La probabilité $P_{ob} = 4\%$ calculée est supérieure au niveau requis de 2%. Il faudrait par conséquent élargir la zone d'exclusion afin de protéger l'observatoire de SRA.

Annexe 2

Méthode permettant de déterminer la zone d'exclusion autour d'un site SRA, définie en fonction d'un affaiblissement de propagation depuis ce site, à l'extérieur de laquelle peuvent être déployées des stations à HDFS P-MP sans risquer de causer des brouillages au site SRA

La présente Annexe décrit une méthode qui permet de définir une zone d'exclusion autour d'un site SRA en ce qui concerne les stations d'émission des applications HDFS P-MP, et que les administrations peuvent utiliser dans le cadre de discussions au niveau national et bilatéral pour protéger les sites SRA des brouillages susceptibles d'être causés par des stations HDFS P-MP.

1 Définition d'une zone d'exclusion en fonction de l'affaiblissement de propagation

Une des méthodes visant à protéger des services, tels que le service SRA contre les brouillages consiste à définir une zone d'exclusion autour du site en question, à l'intérieur de laquelle la transmission n'est pas autorisée. Il est possible de définir la zone d'exclusion en fonction de la distance avec le risque d'obtenir une grande zone d'exclusion étant donné que les azimuts correspondant au cas le plus défavorable exigent souvent de grandes distances de séparation.

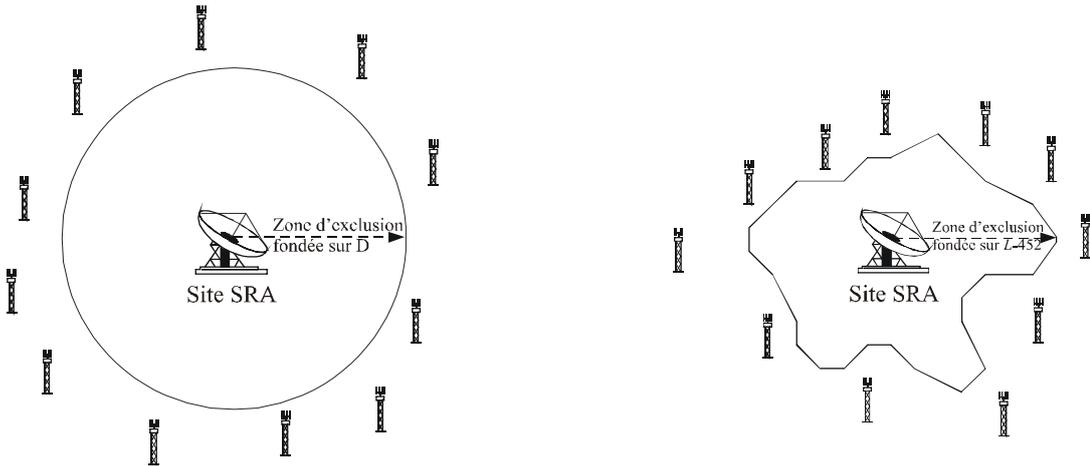
Une solution plus efficace consiste à définir la zone d'exclusion en fonction de l'affaiblissement de propagation, de telle façon que la distance de séparation requise varie en fonction de l'azimut. Les contours de coordination présentent un certain affaiblissement de propagation compte tenu des différentes caractéristiques de propagation des ondes radio sur la terre et la mer. Cette solution peut être appliquée au terrain local et à un modèle de propagation détaillé tel que celui qui est décrit dans la Recommandation UIT-R P.452.

On définit ensuite la zone d'exclusion en autorisant la transmission en des emplacements pour lesquels l'affaiblissement de propagation en direction du site SRA, tel que calculé conformément à la Recommandation UIT-R P.452, L_{452} , pendant un pourcentage de temps tel que 10%, est supérieur à une valeur définie, c'est-à-dire:

$$L_{452}(10\%) \geq X \text{ dB} \quad (3)$$

La Fig. 6 illustre le déploiement de stations HDFS P-MP à l'extérieur de zones d'exclusion définies en fonction de la distance et en fonction de L_{452} .

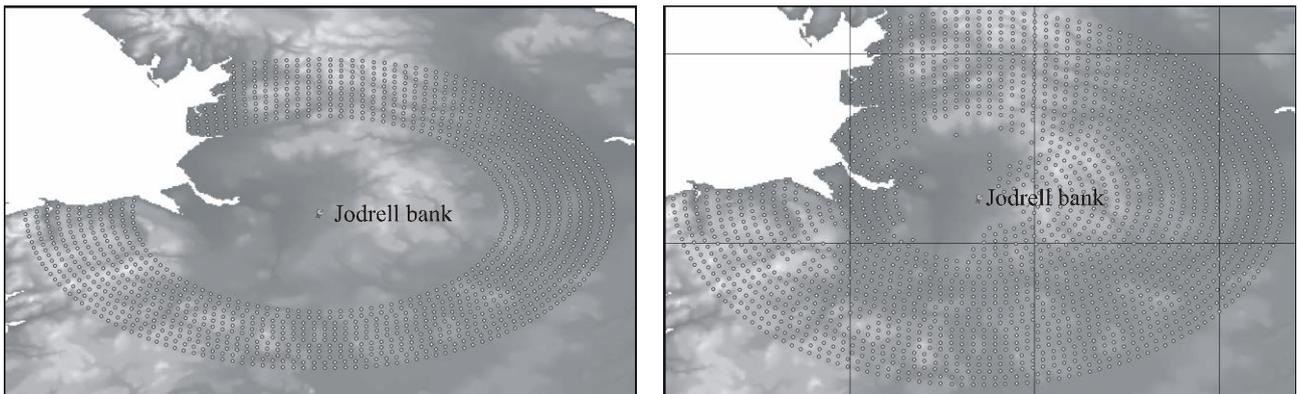
FIGURE 6
Zones d'exclusion fondées sur la distance et sur L_{452}



1766-06

En règle générale, les zones d'exclusion fondées sur L_{452} ont une surface plus petite que celles fondées sur la distance. Par exemple, les deux déploiements représentés dans la Fig. 7 permettent tous les deux de protéger le site SRA contre les brouillages à partir du même modèle de référence HDFS P-MP.

FIGURE 7
Exemple de zones d'exclusion fondées sur la distance et sur L_{452}



1766-07

Dans les deux cas, les points de mesure situés dans la mer ont été supprimés. Pour ces deux cas, les zones d'exclusion données en exemple ont été définies selon les méthodes indiquées dans le Tableau 6 ci-après:

TABLEAU 6

**Comparaison des deux méthodes de définition des zones d'exclusion
à partir d'exemples de résultats**

Type de zone d'exclusion	En fonction de la distance	En fonction de $L_{452}(10\%)$
Paramètre de zone d'exclusion	$D \geq 66$ km	$L_{452}(10\%) \geq 176$ dB
Taille de la zone d'exclusion	14 186 km ²	5 162 km ²

La définition des zones d'exclusion en fonction de $L_{452}(10\%)$ est par conséquent un moyen efficace et souple de protéger des services, tels que le service SRA, contre les brouillages.

2 Calcul de la taille d'une zone d'exclusion

Pour déterminer une valeur appropriée de zone d'exclusion de X de telle manière que $L_{452}(10\%) \geq X$ permettrait de protéger le site SRA, il est nécessaire de suivre une procédure itérative, telle que celle indiquée dans les étapes ci-dessous. Pour calculer la probabilité P_{ob} , la probabilité pour qu'une observation SRA subisse des brouillages pour une valeur particulière de X , on utilise un algorithme établi à partir de la méthode décrite dans l'Annexe 1 de cette Recommandation.

Etape 1: Effectuer une estimation initiale de X_1 (par exemple $X_1 = 200$ dB).

Etape 2: Calculer la probabilité pour qu'une observation subisse des brouillages consécutifs au déploiement de stations HDFS P-MP, $P_{ob-1} = P_{ob}(X_1)$, en utilisant la zone de déploiement définie par les emplacements pour lesquels $L_{452}(10\%) \geq X_1$.

Etape 3: Si $P_{ob-1} > 2\%$ (le seuil SRA), prendre l'estimation suivante $X_2 = X_1 + 16$ dB.

Etape 4: Si $P_{ob-1} < 2\%$ (le seuil SRA) prendre l'estimation suivante $X_2 = X_1 - 16$ dB.

Etape 5: Répéter les étapes 2 à 5 jusqu'à ce que X_n et X_{n+1} donnent P_{ob-n} et P_{ob-n+1} qui entourent le seuil requis de 2%.

Etape 6: Effectuer une recherche binaire (Binary chop) sur X_n et X_{n+1} jusqu'à ce que la différence entre les deux soit de 1 dB, c'est-à-dire $|X_n - X_{n+1}| = 1$ dB.

Etape 7: Le résultat correspond à la plus grande des valeurs de X_n et X_{n+1} , c'est-à-dire à la valeur pour laquelle $P_{ob} < 2\%$.

NOTES

- Dans certains cas, la recherche du couple de valeurs de X_n , peut se faire par pas inférieurs ou supérieurs à 16 dB.
- Même s'il est possible de continuer la recherche itérative de telle manière que la différence entre X_N et X_{n+1} soit inférieure à 1 dB, il convient de noter que le modèle de propagation de la Recommandation UIT-R P.452 a ses limites.

3 Types de zone d'exclusion

3.1 Modèles de référence HDFS P-MP

La taille d'une zone d'exclusion dépendra du modèle de référence HDFS P-MP tel que spécifié au moyen de la distribution de p.i.r.e.c. et de la hauteur d'antenne. $L_{452}(10\%)$ tient compte de cette hauteur, la zone d'exclusion étant valable pour les antennes inférieures ou égales à cette hauteur.

A l'intérieur de la bande, différents modèles de référence HDFS P-MP pourraient être envisagés en fonction de différents critères tels que:

- l'architecture: point à multipoint (P-MP) ou multipoint à multipoint (MP-MP);
- la direction: en amont ou en aval;
- l'environnement: urbain à haute densité ou rural à faible densité.

Chaque modèle de référence se traduirait par différentes tailles de zone d'exclusion, de telle façon que des ensembles puissent être définis (voir le Tableau 7).

TABLEAU 7

**Ensemble de zones d'exclusion correspondant à un ensemble
de modèles de référence HDFS P-MP**

Système HDFS P-MP	Zone d'exclusion	Hauteur maximale
Modèle de référence 1	EZ: $L_{452}(10\%) \geq X_1$	Hauteur $\leq H_1$
:	:	:
Modèle de référence n	EZ: $L_{452}(10\%) \geq X_n$	Hauteur $\leq H_n$

Il serait possible de protéger le site SRA soit en utilisant la taille la plus grande de zone d'exclusion et la hauteur associée, soit en utilisant la zone d'exclusion associée à chaque modèle de référence (par exemple, par une segmentation de bande). Pour être efficace, chaque zone d'exclusion devrait être associée aux hypothèses des modèles de référence utilisés pour calculer les p.i.r.e.c.

3.2 Zones d'exclusion fondées sur la démographie

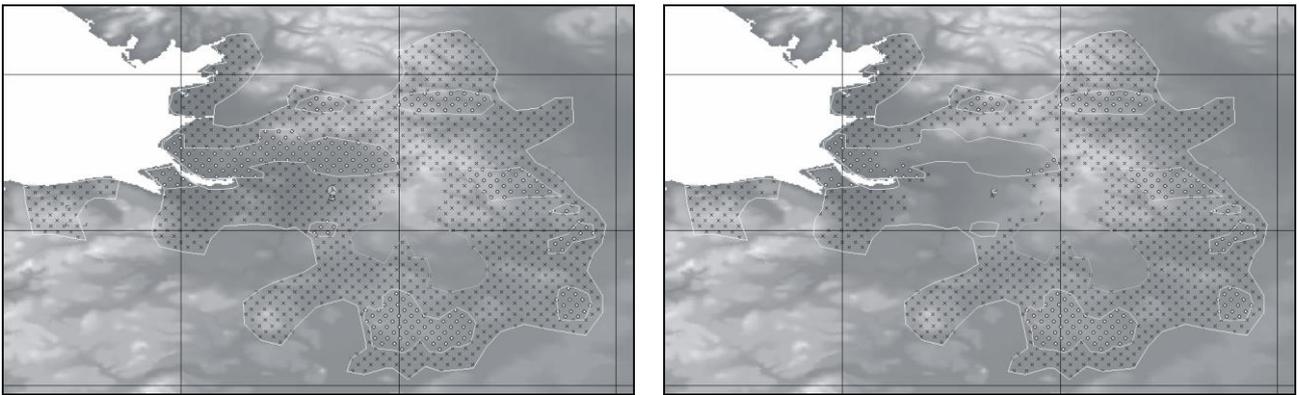
La zone de déploiement examinée ci-dessus supposait la distribution uniforme d'un seul modèle de référence autour du site SRA, ce qui peut conduire à des situations défavorables telles que le déploiement de stations HDFS P-MP dans des zones montagneuses. Les emplacements situés dans ces zones qui ne devraient pas représenter un marché pour les opérateurs de stations HDFS P-MP, risquent de produire des niveaux élevés de brouillages s'ils sont en visibilité directe avec le site SRA.

Il peut donc être plus réaliste d'exclure les emplacements auxquels il n'est pas prévu d'installer des stations HDFS P-MP, et d'utiliser des modèles de référence qui varient en fonction de l'emplacement.

La Figure 8 représente deux exemples de modèles de référence dont le déploiement est censé se faire en fonction de la densité de population. Cette zone de déploiement serait ensuite utilisée comme point de départ pour calculer la zone d'exclusion requise.

FIGURE 8

Zones de déploiement de stations HDFS P-MP définies autour du site Jodrell Bank en fonction de la démographie:
Zone de déploiement de référence et zone de déploiement incluant une zone d'exclusion



1766-08

Dans la Figure 8, les cercles représentent les modèles de référence HDFS P-MP pour les zones urbaines et les croix représentent ceux pour les zones rurales.

3.3 Zones multiples

La méthode décrite ci-dessus était fondée sur une seule zone d'exclusion à l'intérieur de laquelle aucune émission n'était autorisée. Cette zone d'exclusion pouvait être associée à une zone restreinte; on trouvera ci-après les caractéristiques des différentes zones correspondant à différents comportements.

Zone non restreinte: Dans cette zone, l'exploitation de stations HDFS P-MP par les opérateurs se ferait librement, les seules limites étant les restrictions entre opérateurs.

Zone restreinte: Dans cette zone, les stations HDFS P-MP seraient autorisées à émettre moyennant certaines restrictions d'exploitation définies et convenues.

Zone d'exclusion: Dans cette zone, aucune station HDFS P-MP ne serait autorisée à émettre.

Parmi les restrictions imposées dans la zone restreinte pourrait figurer l'interdiction de pointer les antennes à l'intérieur d'un angle donné du site SRA. Il serait par conséquent nécessaire d'utiliser deux p.i.r.e.c. différentes, une pour la zone non restreinte et une autre pour la zone restreinte.

3.4 Zones d'exclusion visant à protéger les émissions dans la bande et les émissions OoB

Cette méthode permet non seulement de protéger le service SRA des émissions des stations HDFS P-MP fonctionnant à la même fréquence, mais également de définir des zones d'exclusion visant à protéger le service SRA des émissions OoB. L'algorithme permettant de calculer la probabilité pour qu'une observation subisse des brouillages, P_{ob} , inclut un terme visant à tenir compte de A_{OoB} pour l'affaiblissement entre les émissions dans la bande et les émissions OoB.

On peut employer cette méthode pour définir deux zones d'exclusion, une pour un fonctionnement à la même fréquence et une autre pour un fonctionnement dans une bande adjacente.

Pièce jointe 1 à l'Annexe 2

Exemple de calcul

La présente Pièce jointe donne un exemple d'utilisation de la méthode décrite dans l'Annexe 2 permettant de déterminer la zone d'exclusion nécessaire pour protéger le site Jodrell Bank des brouillages inacceptables causés par le déploiement à grande échelle de réseaux HDFS P-MP.

Modèle SRA

Le modèle SRA est décrit dans la Pièce jointe 1 à l'Annexe 1.

Modèle HDFS

Le modèle HDFS P-MP est décrit dans la Pièce jointe 1 à l'Annexe 1.

Calcul des brouillages

Le Tableau 8 donne les itérations nécessaires pour calculer la taille de la zone d'exclusion.

TABLEAU 8
Itération de la taille d'une zone d'exclusion au moyen
des méthodes des Annexes 1 et 2

Itération	Taille de la zone d'exclusion $L_{452}(10\%) \geq X$ dB	P_{ob} (%)
1	200	0,0
2	180	0,0
3	160	4,3
4	170	0,1
5	165	0,3
6	162	1,0
7	161	4,0

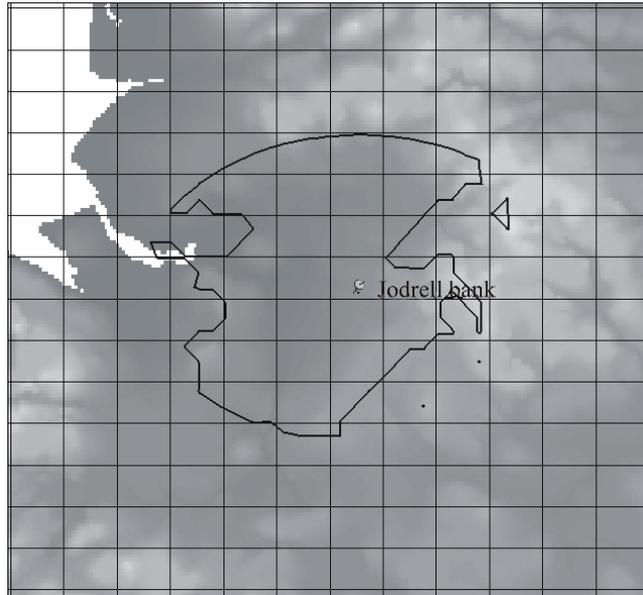
Ainsi, pour assurer la protection du site SRA vis-à-vis du modèle de référence HDFS P-MP cité en exemple, la taille de la zone d'exclusion devrait être telle que:

$$L_{452}(10\%) \geq 162 \text{ dB}$$

Cet exemple de zone d'exclusion est représenté dans la Fig. 9.

FIGURE 9

Exemple de zone d'exclusion: contour de $L_{452} (10\%) = 162$ dB



1766-09

