

RECOMMANDATION UIT-R F.1669*

Critères de protection des systèmes hertziens fixes fonctionnant dans les bandes 37-40 GHz et 40,5-42,5 GHz contre les brouillages causés par des satellites en orbite géostationnaire

(Question UIT-R 127/9)

(2004)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il est souhaitable de déterminer les critères de protection des systèmes hertziens fixes (FWS, *fixed wireless systems*) fonctionnant dans les bandes des 38 GHz (37-40 GHz) et des 40 GHz (40,5-42,5 GHz) relativement aux brouillages causés par des systèmes à satellites géostationnaires (OSG) exploités à titre coprimaire;
- b) que dans des situations de brouillage faisant intervenir des stations spatiales OSG, les systèmes du service fixe peuvent être exposés, dans certaines configurations géométriques, à des brouillages de niveau élevé qui pourraient affecter la qualité de fonctionnement ou la disponibilité de ces systèmes;
- c) que dans les bandes des 38 GHz et des 40 GHz, la conception des liaisons du service fixe est contrôlée par les affaiblissements dûs à la pluie, qui peuvent être modélisés à l'aide de la Recommandation UIT-R P.530;
- d) que, dans les bandes des 38 GHz et des 40 GHz, certaines administrations ont recours à la régulation automatique de puissance à l'émission (RAPE) sur certaines liaisons du service fixe, et qu'il en découle une augmentation de la sensibilité de ces liaisons, tout particulièrement en ce qui concerne les brouillages à court terme;
- e) que certaines liaisons du service fixe caractérisées par de faibles valeurs de marge nette de protection contre les évanouissements risquent de ne pas être totalement protégées contre les brouillages causés par des systèmes à satellites OSG, sauf à imposer des contraintes exagérées à ces services;
- f) que les liaisons types du service fixe utilisant des systèmes de RAPE imposent des critères de protection plus stricts que ceux nécessaires pour des liaisons du service fixe dotées de marges de protection contre les évanouissements plus importantes et sur lesquelles on n'utilise pas de système de RAPE;
- g) que les systèmes du service fixe fonctionnant dans les bandes des 38 GHz et 40 GHz ne font l'objet d'aucune restriction de pointage, et ce pour des raisons pratiques tenant au nombre d'équipements et aux coûts associés,

* La présente Recommandation devrait être portée à l'attention des Commissions d'études 3, 4 et 7 des radiocommunications.

reconnaisant

- a) que les bandes 37,5-40 GHz et 40,5-42,5 GHz sont partagées à titre coprimaire avec le service fixe par satellite et que l'UIT-R a élaboré la Recommandation UIT-R SF.1573 sur les niveaux de puissance surfacique à respecter pour protéger le service fixe dans ces bandes;
- b) que l'application des critères spécifiés dans la présente Recommandation n'est pas censée entraîner une révision de la Recommandation UIT-R SF.1573,

notant

- a) que la courbe représentant les brouillages causés par des satellites OSG à un récepteur du service fixe en fonction de l'angle d'azimut de l'antenne du récepteur (voir la Fig. 2) fait apparaître deux pics de brouillage associés à deux valeurs d'angle particulières pour lesquelles, selon la géométrie de la liaison du service fixe qui est considérée, la direction de pointage de ladite liaison passe par l'arc OSG,

recommande

1 d'utiliser les critères de brouillage suivants, qui définissent un gabarit de brouillage tel que celui décrit sur la Fig. 1, afin d'assurer la protection des systèmes du service fixe contre les brouillages causés par des satellites OSG de divers services exploités dans les bandes 37-40 GHz et 40,5-42,5 GHz à titre coprimaire:

1.1 pour les FWS en général:

1.1.1 le rapport I/N à l'entrée du récepteur du service fixe ne devrait pas dépasser -10 dB, sauf dans une fourchette de $\pm 15^\circ$ en azimut par rapport à l'angle pour lequel le faisceau principal de l'antenne du service fixe coupe l'arc OSG (voir les Notes 1 et 2);

1.1.2 pour les angles d'azimut du récepteur du service fixe compris dans cette fourchette de $\pm 15^\circ$, on peut accepter une valeur du rapport I/N à l'entrée dudit récepteur de $+5$ dB au maximum pour les angles d'azimut correspondant aux valeurs crêtes (voir les Notes 1 et 2);

1.2 pour certaines liaisons de certaines applications d'accès hertzien à large bande (BWA, *broadband wireless access*):

1.2.1 le rapport I/N à l'entrée du récepteur du service fixe ne devrait pas dépasser -10 dB, sauf dans une fourchette de $\pm 5^\circ$ en azimut par rapport à l'angle pour lequel le faisceau principal de l'antenne du service fixe coupe l'arc OSG (voir les Notes 1 et 2);

1.2.2 pour les angles d'azimut du récepteur du service fixe compris dans cette fourchette de $\pm 5^\circ$ on peut accepter une valeur du rapport I/N à l'entrée dudit récepteur de $+1$ dB au maximum pour les angles d'azimut correspondant aux valeurs crêtes (voir les Notes 1 et 2);

2 d'utiliser les informations contenues dans l'Annexe 1 à titre indicatif pour l'application de la présente Recommandation.

NOTE 1 – Ces niveaux du rapport I/N sont établis par référence au bruit total à l'entrée du récepteur, qui comprend le niveau de bruit du système, ($k T B F$), et les brouillages intraservice (voir le § 5 de l'Annexe 1).

NOTE 2 – Les fourchettes d'azimut de $\pm 15^\circ$ et $\pm 5^\circ$ spécifiées respectivement dans les points 1.1 et 1.2 du *recommande* sont fondées sur l'application d'une méthode d'analyse temporelle et d'éléments d'un modèle spécifique de cellule de pluie. Une évolution de ce modèle de cellule de pluie ou un nouveau modèle pourraient avoir une certaine incidence sur les fourchettes d'azimut et conduire à inclure de nouveaux développements de la présente Recommandation.

Annexe 1

Calcul des critères de protection du service fixe dans les bandes des 38 GHz et des 40 GHz à appliquer dans les scénarios de partage avec des systèmes OSG

1 Introduction

La méthode exposée dans la présente Annexe repose sur l'hypothèse que les objectifs de qualité binaire dans les bandes des 38 GHz et des 40 GHz dépendent essentiellement des évanouissements dus à la pluie. Ainsi, lorsque l'azimut d'arrivée du signal brouilleur provenant de satellites OSG est proche de l'azimut de l'axe du faisceau principal de l'antenne de réception du service fixe, le signal utile et le signal brouilleur subiront tous deux des évanouissements. En conséquence, la puissance de brouillage sans évanouissement peut être plus grande que celle qui serait admissible si la puissance de brouillage était constante. Celle-ci est déterminée en imposant que le critère principal déterminant de caractéristiques d'erreur soit respecté pour un même pourcentage de temps, qu'il y ait ou non corrélation entre les évanouissements affectant la puissance utile et ceux affectant la puissance brouilleuse.

2 Marges de protection contre les évanouissements pour les systèmes du service fixe

Dans les bandes des 38 GHz et des 40 GHz, du fait que les liaisons sont généralement inférieures à 2 km, une marge contre les évanouissements de 14 dB a été considérée comme représentative d'une liaison classique puisque l'on a supposé que, dans leur majorité, ces liaisons présentaient des marges contre les évanouissements (ou des marges nettes contre les évanouissements¹) supérieures à cette valeur. Il convient de noter que, dans le cas de systèmes mettant en œuvre la RAPE, cette marge de 14 dB correspond à une liaison dans laquelle la marge contre les évanouissements est plus importante (14 dB de marge nette plus 10 dB pour la RAPE).

Par ailleurs, on a également noté que dans certaines applications d'accès hertzien à large bande, une marge contre les évanouissements de 10 dB est mise en œuvre sur certaines liaisons de courte distance, lesquelles appelleraient en conséquence une valeur de I/N moins élevée.

Sur cette base, le Tableau 2, établi sur la base de la Recommandation UIT-R P.530, indique la marge requise contre les évanouissements dûs à la pluie dans le cas de liaisons jusqu'à 1,6 km et pour cinq taux de précipitation différents, en polarisation verticale et en polarisation horizontale.

Toutefois, il faut noter que les marges de 14 dB ou de 10 dB contre les évanouissements dûs à la pluie dans ces deux bandes (38 et 40 GHz) sont justifiées sur la base des calculs reposant sur la Recommandation UIT-R P.530, qui ne fournit pas de valeurs de marge contre les évanouissements calculées par référence à une valeur mesurée de qualité de fonctionnement exprimée en taux d'erreur, mais donne des valeurs absolues d'affaiblissement (évanouissements dûs à la pluie) pour un pourcentage de temps donné.

¹ Dans le cas d'une liaison du service fixe mettant en œuvre la RAPE, on a: marge nette contre les évanouissements = marge totale contre les évanouissements – valeurs de RAPE.

Par ailleurs, selon la Recommandation UIT-R F.1498, pour une liaison conçue pour une disponibilité de 99,999% et en particulier pour des systèmes d'accès hertzien à large bande en concurrence supposée avec des systèmes à fibres optiques, la marge contre les évanouissements peut être indiquée par référence à un taux binaire (TEB) de 1×10^{-6} ou à une valeur de seconde gravement erronée (SES, *severely errored second*). Il a été déterminé que la conception des liaisons du service fixe devrait tenir compte d'une marge de 1 dB pour les brouillages internes au service, d'où une augmentation de la puissance de bruit de référence, qui est alors supérieure de 1 dB à la puissance de bruit du système.

En outre, pour des raisons techniques (puissance minimale accessible, diamètres des antennes disponibles, puissance d'émission fixe dans le cas des stations centrales, ...) les liaisons du service fixe dans les bandes 38 et 40 GHz, en particulier dans le cas de systèmes point à multipoint, peuvent présenter une «marge nominale supplémentaire» s'ajoutant à la marge contre les évanouissements dus à la pluie. Au minimum, pour les liaisons point à point, la valeur de cette «marge nominale supplémentaire» dépend du niveau de granularité du réglage de puissance, atténuateurs éventuellement utilisés et du gain d'antenne, qui permettent au concepteur de choisir un niveau de réception aussi proche que possible du niveau théorique. Même si cet élément n'a pas été pris en compte dans la définition de la marge globale de référence d'une liaison du service fixe, il a été décidé de le prendre en compte au titre de facteur de confiance additionnel dans la définition des critères de protection.

Sur la base des hypothèses adoptées selon lesquelles les marges de protection contre les évanouissements (M_F) associés aux secondes erronées (ES, *errored second*) et aux secondes gravement erronées (SES) sont respectivement inférieures de 3 dB et supérieures de 1 dB à la marge de protection entre les évanouissements rapportés à un TEB de 1×10^{-6} , elle-même inférieure de 2 dB à la marge de protection contre les évanouissements rapportés à un TEB de 1×10^{-3} , le Tableau 1 résume les différentes valeurs de la marge de protection contre les évanouissements correspondant à une M_F de 14 dB ou de 10 dB associée au taux SES.

TABLEAU 1

**Correspondance entre la marge de protection contre les évanouissements
dûs à la pluie et les objectifs en termes de caractéristiques d'erreur**

| | Marge de protection contre les évanouissements dûs à la pluie: 14 dB | Marge de protection contre les évanouissements dûs à la pluie: 10 dB |
|--------------------------------|---|---|
| ES (dB) | 10 | 6 |
| TEB de 1×10^{-6} (dB) | 13 | 9 |
| SES (dB) | 14 | 10 |
| TEB de 1×10^{-3} (dB) | 15 | 11 |

3 Calcul du gabarit I/N

Le calcul du gabarit I/N à appliquer aux satellites OSG du SFS repose sur l'évaluation de deux facteurs:

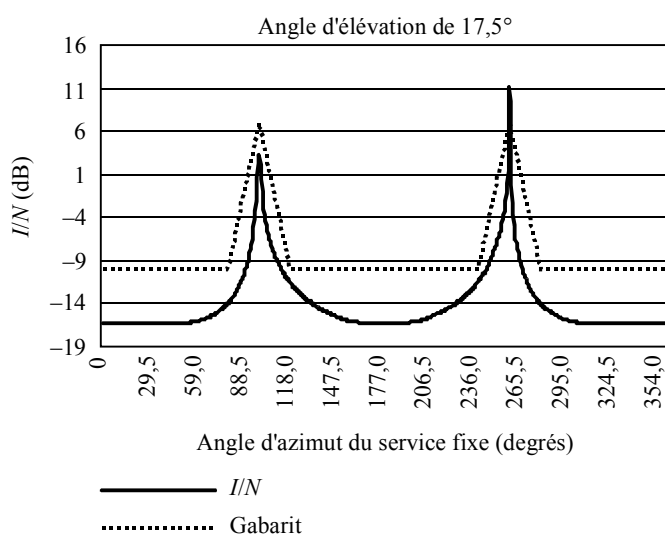
- l'incidence sur le service fixe des brouillages et en particulier, dans le faisceau principal de l'antenne du service fixe en condition de pluie, des brouillages cumulatifs résultant des signaux brouilleurs avec ou sans évanouissement (voir l'Appendice 2);

- la corrélation entre l'affaiblissement dû à la pluie affectant le signal et les brouillages dans le faisceau principal de l'antenne du service fixe afin de déterminer l'angle X° par rapport au faisceau principal pour lequel on établit cette corrélation avec un certain degré de confiance (voir l'Appendice 3).

4 Gabarit I/N de protection

Le gabarit I/N de la Fig. 1 correspond aux critères de protection du service fixe en fonction de l'angle d'azimut et a été établi sur la base des éléments contenus dans le § 3. On constate que le rapport I/N est maximal lorsque le brouillage est lui aussi maximal c'est-à-dire lorsque l'antenne du récepteur du service fixe pointe vers l'arc OSG et que la fourchette d'angle d'azimut correspondant à l'intervalle dans lequel le rapport I/N décroît de cette valeur maximale jusqu'à -10 dB.

FIGURE 1
Description du gabarit I/N pour les satellites OSG fonctionnant dans les bandes des 38 et des 40 GHz



1669-01

En ce qui concerne les FWS en général, pour lesquels on a estimé qu'une marge de protection contre les évanouissements de 14 dB était représentative, on a déterminé que la valeur maximale du rapport I/N et la fourchette d'azimut étaient respectivement de +5 dB et de $\pm 15^\circ$.

En ce qui concerne certaines liaisons de certaines applications BWA utilisant une marge de protection contre les évanouissements de 10 dB, on a déterminé que ces paramètres étaient respectivement de +1 dB et $\pm 5^\circ$.

5 Niveau de bruit de référence

Le gabarit I/N décrit dans le § 4 se réfère à un niveau total de bruit qui inclut la valeur de 1 dB retenue pour la marge de protection contre les brouillages intraservice. On a donc la relation: $N = k T B F + 1$ dB.

Appendice 1 à l'Annexe 1

TABLEAU 2

**Marges de protection contre les évanouissements dus à la pluie
pour une disponibilité de 99,999%**

| Longueur de la liaison (km) | Marge de protection contre les évanouissements à 39,3 GHz en polarisation horizontale (dB) | | | | | Marge de protection contre les évanouissements à 39,3 GHz en polarisation verticale (dB) | | | | |
|--------------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|-----------------------|
| | Intensité de pluie (mm/h) (Zone) | | | | | Intensité de pluie (mm/h) (Zone) | | | | |
| | 12 (B) | 22 (E) | 42 (K) | 63 (M) | 95 (N) | 12 (B) | 22 (E) | 42 (K) | 63 (M) | 95 ⁽¹⁾ (N) |
| 0,1 | 0,8 | 1,3 | 2,5 | 3,6 | 5,2 | 0,6 | 1,1 | 2,1 | 3 | 3,0 |
| 0,2 | 1,5 | 2,7 | 4,9 | 7,1 | 16,4 | 1,3 | 2,3 | 4,2 | 6 | 5,9 |
| 0,3 | 2,2 | 4 | 7,3 | 10,6 | 15,4 | 1,9 | 3,4 | 6,2 | 9 | 8,8 |
| 0,4 | 3 | 5,3 | 9,6 | 14 | 20,3 | 2,6 | 4,5 | 8,2 | 11,9 | 11,6 |
| 0,5 | 3,7 | 6,5 | 12 | 17,4 | 25,1 | 3,2 | 5,6 | 10,2 | 14,7 | 14,3 |
| 0,6 | 4,4 | 7,8 | 14,3 | 20,7 | 29,8 | 3,8 | 6,7 | 12,2 | 17,6 | 17,0 |
| 0,7 | 5,2 | 9,1 | 16,6 | 24 | 34,3 | 4,5 | 7,8 | 14,2 | 20,3 | 19,6 |
| 0,8 | 5,9 | 10,4 | 18,9 | 27,2 | 38,8 | 5,1 | 8,9 | 16,1 | 23 | 22,2 |
| 0,9 | 6,6 | 11,6 | 21 | 30,4 | 43,2 | 5,7 | 10,0 | 18,0 | 25,8 | 24,7 |
| 1,0 | 7,3 | 12,8 | 23,3 | 33,6 | 47,5 | 6,3 | 11,0 | 19,9 | 28,5 | 27,1 |
| 1,1 | 8 | 14,1 | 25,5 | 36,7 | 51,7 | 6,9 | 12,1 | 21,8 | 31 | 29,5 |
| 1,2 | 8,7 | 15,3 | 27,7 | 39,8 | 55,8 | 7,5 | 13,1 | 23,7 | 33,7 | 31,9 |
| 1,3 | 9,4 | 16,5 | 29,9 | 42,8 | 59,8 | 8,1 | 14,2 | 25,5 | 36,2 | 34,1 |
| 1,4 | 10,1 | 17,7 | 32 | 45,8 | 63,8 | 8,7 | 15,2 | 27,3 | 38,8 | 36,4 |
| 1,5 | 10,8 | 18,9 | 34,1 | 48,7 | 67,6 | 9,3 | 16,2 | 29,1 | 41,3 | 38,6 |
| 1,6 | 11,4 | 20,1 | 36,2 | 51,6 | 71,4 | 9,9 | 17,3 | 30,9 | 43,7 | 40,8 |

⁽¹⁾ Les marges de protection contre les affaiblissements dans le cas d'une intensité de pluie de 95 mm/h pour polarisation verticale ont été calculées dans l'hypothèse d'une latitude inférieure à 30° (ce qui a une incidence sur les calculs conformément à la Recommandation UIT-R P.530).

Appendice 2 à l'Annexe 1

Incidence des brouillages sur les systèmes du service fixe

1 Introduction

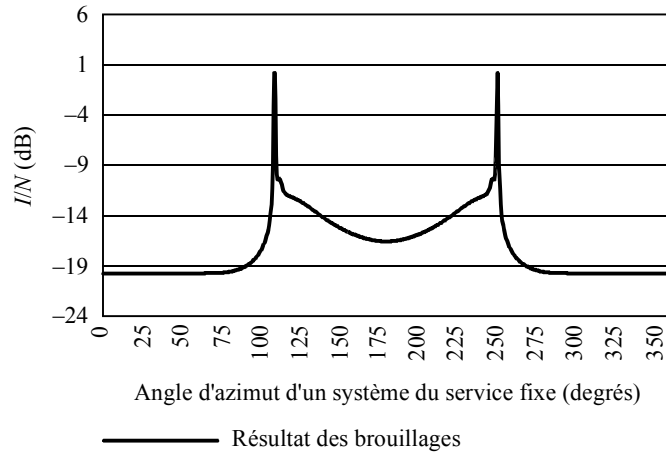
Une liaison sera généralement conçue pour satisfaire pleinement un seul critère de qualité de fonctionnement. S'il s'agit du critère essentiel, les autres critères applicables à cette liaison seront également respectés. Par exemple, si une liaison est conçue pour satisfaire au critère relatif au taux de secondes gravement erronées (SESR, *severely errored second ratio*) indiqué dans la Recommandation UIT-T G.826 ou UIT-T G.828 dans l'hypothèse d'une puissance de brouillage reçue constante, ce critère relatif aux ES doit être respecté pour un affaiblissement dû à la pluie inférieur de 4 dB. Puisque le pourcentage de temps admissible pour les ES peut être 10 ou 20 fois supérieur à celui associé aux SES, le critère relatif aux ES sera respecté si le critère SES est satisfait. Dans le cas où les évanouissements affectant le signal brouilleur et ceux affectant le signal utile sont parfaitement corrélés, on peut montrer que cet accroissement de 4 dB du rapport $C/N + I$ correspond à une diminution d'environ 4,7 dB de l'affaiblissement dû à la pluie. Le critère SESR est vraisemblablement le critère principal essentiel et le seul critère à respecter.

Le cas où les évanouissements affectant le signal brouilleur sont parfaitement corrélés avec ceux affectant le signal utile peut donc être traité très simplement. Le niveau de brouillage acceptable en l'absence d'évanouissement est alors simplement supérieur au brouillage admissible (non corrélé) constant d'une valeur égale à la marge de protection contre les évanouissements. Conformément à la Recommandation UIT-R F.758, le rapport I/N est égal à -10 dB dans ces bandes de fréquences pour un brouillage (non corrélé) constant. Conformément à la Recommandation UIT-R F.1094, le bruit de référence devrait correspondre au bruit attribué total comprenant le bruit du système de réception augmenté d'un incrément attribué pour les brouillages causés par le service fixe, d'un incrément pour les brouillages causés par les rayonnements non désirés et d'un incrément additionnel pour les brouillages causés par les services coprimaires. Par conséquent, le rapport brouillage/bruit de référence total, I/N_{ref} est égal à -10 dB et le rapport brouillage/bruit du système, $I/N_0 = -9$ dB. Dans le cas où les évanouissements affectant le signal brouilleur interservice et ceux affectant le signal utile sont parfaitement corrélés, cette même valeur de la puissance de brouillage, $I/N_0 = -9$ dB, doit être observée lorsque le signal subit un évanouissement égal à la marge M_F dB de protection contre les évanouissements. Dans le cas contraire, le niveau recherché de qualité de fonctionnement ne sera pas obtenu. Le rapport de la puissance de brouillage sans corrélation sur la puissance de bruit du système lorsque lesdits évanouissements sont parfaitement corrélés est donc égal à $M_F - 9$ dB.

Les brouillages sans évanouissement causés par des satellites OSG d'un arc OSG complètement occupé sont illustrés sur la Fig. 2. Les deux valeurs crêtes correspondant aux niveaux élevés de brouillage sont observées à des angles d'azimut pour lesquels un seul satellite se trouve dans le faisceau principal de l'antenne d'une station du service fixe.

Pour ces valeurs particulières de l'angle d'azimut, le trajet de propagation du signal brouilleur pourrait être parallèle à celui du signal utile, les évanouissements affectant ces deux signaux étant alors parfaitement corrélés. Pour des angles d'azimut s'écartant de ces valeurs particulières, les évanouissements sur les deux trajets ne sont plus que partiellement corrélés et le niveau de brouillage admissible décroît de -9 dB à $M_F - 9$ dB. Cette diminution est illustrée sur le gabarit I/N de la Fig. 5.

FIGURE 2

Illustration du rapport I/N produit par des satellites OSG

1669-02

Il convient de noter que l'analyse exposée dans le présent Appendice a été effectuée en utilisant comme référence la puissance de bruit du système ($N_0 = k T B F$). Cette analyse comprend toutefois les contributions de puissance additionnelles dues aux brouillages causés par les émetteurs de service fixe, celles dues aux brouillages causés par d'autres services coprimaires ainsi que celles dues aux brouillages causés par les rayonnements non désirés. La marge retenue pour chacune de ces contributions de brouillage est de 0,5 dB.

2 Calcul du rapport I/N

Pour calculer la valeur maximale acceptable du rapport I/N sans évanouissement, il est nécessaire d'analyser le rapport $\frac{C}{N+I}$ pour diverses conditions de pluie.

Les valeurs relatives de C et $(N+I)$ en conditions de pluie sont les suivantes:

$$C = C_0 - A_C \quad \text{dB} \quad (1)$$

$$N + I = N_{tot} = N_{ref} + 10 \log \left(0,9 + 10^{((I/N_0) + N_0 - N_{ref})/10} \right) \quad \text{dB} \quad (2)$$

où A_C est l'affaiblissement (dB) du signal. Les densités spectrales de puissance de bruit sont liées comme on l'a décrit auparavant, de telle sorte que N_{ref} est la somme au niveau du récepteur du bruit du système du service fixe, de l'incrément attribué pour les brouillages causés par d'autres dispositifs du service fixe, de la contribution attribuée due aux rayonnements non désirés et de l'incrément attribué dû aux brouillages causés par d'autres services. Le terme N_{tot} désigne la somme du bruit et des brouillages. Notons qu'il est égal à N_{ref} lorsque $I/N_{ref} = -10$ dB.

La somme du bruit du système du service fixe et de l'incrément (supposé ici être égal à 0,5 dB) dû aux brouillages causés par d'autres dispositifs du service fixe correspond à une fraction 0,89 de la puissance de bruit de référence. La contribution due aux rayonnements non désirés augmente cette valeur de 0,01 fois la puissance de bruit de référence. Ces résultats sont conformes à la Recommandation UIT-R F.1094 et conduisent à la valeur 0,9 dans l'équation (2). N_0 étant le bruit total du système, $k T B F$, on montre facilement que $N_{ref} - N_0 = 1,0$.

Dans le cas habituel d'un niveau de brouillage constant, la puissance de brouillage admissible sera inférieure ou égale à un dixième de la puissance de bruit de référence. On peut alors réécrire le rapport $C/N + I$ comme suit:

$$\frac{C}{N + I} = C_0 - A_C - N_{ref} - 10 \log \left(0,9 + 10^{((I/N_0)-1)/10} \right) \quad (3)$$

Dans le cas où la puissance de brouillage est constante ($I/N_0 = -9$ dB, ce qui équivaut à $I/N_{ref} = -10$ dB), le rapport $C/N + I$ atteint la valeur seuil pour SES lorsque l'affaiblissement du signal A_C est égal à la marge de protection contre les évanouissements correspondant à SES. Alors:

$$\frac{C}{N + I} = T_{SES} = C_0 - M_F - N_{ref} \quad (4)$$

Si les évanouissements affectant le signal brouilleur sont partiellement corrélés à ceux affectant le signal utile, on a alors $I/N_0 = I_0/N_0 - A_I$, où I_0 est la puissance de brouillage sans évanouissement et A_I est l'affaiblissement (dB) affectant le signal brouilleur. Dans ce cas, $C/N + I$ atteint la valeur seuil dans les conditions suivantes:

$$\frac{C}{N + I} = T_{SES} = C_0 - A_C - N_{ref} - 10 \log \left(0,9 + 10^{((I_0/N_0) - A_I - 1)/10} \right) \quad (5)$$

Dans le cas d'une corrélation parfaite entre les évanouissements affectant le signal utile et ceux affectant le signal brouilleur, $A_C = A_I$. Cette équation est satisfaite pour $A_C = M_F$ si:

$$I_0/N_0 = M_F - 9 \quad (6)$$

Plus généralement, si la corrélation entre ces évanouissements n'est pas parfaite, le rapport I/N sans évanouissement devrait être inférieur à cette valeur afin d'éviter un accroissement du nombre d'occurrences pour lesquelles le rapport $C/N + I$ est inférieur à la valeur seuil. On exprime comme suit le rapport I/N sans évanouissement:

$$I_0/N_0 = M_F - 9 - L_{IN} \quad (7)$$

où L_{IN} est «l'affaiblissement» du rapport I/N dû à l'écart par rapport aux conditions de corrélation parfaite. Il s'agit d'éviter un accroissement supplémentaire du nombre de défauts affectant le critère principal des caractéristiques d'erreur (SES, par exemple) par suite de l'absence de corrélation entre les évanouissements sur le trajet brouilleur et ceux sur le trajet utile. Pour des évanouissements sur le trajet du signal utile ne dépassant pas la marge de protection contre les évanouissements, on peut donc obtenir les relations suivantes en associant les équations (7) et (4) à l'équation (5).

$$L_{IN} = M_F - A_I - 10 \log \left(10^{(M_F - A_C + 10)/10} - 9 \right) \quad (8)$$

ou, de manière équivalente:

$$I_0/N_0 = A_I + 1 + 10 \log \left(10^{(M_F - A_C)/10} - 0,9 \right) \quad (9)$$

Appendice 3 à l'Annexe 1

Corrélation associée aux évanouissements affectant le signal brouilleur et détermination du gabarit I/N

1 Méthode temporelle

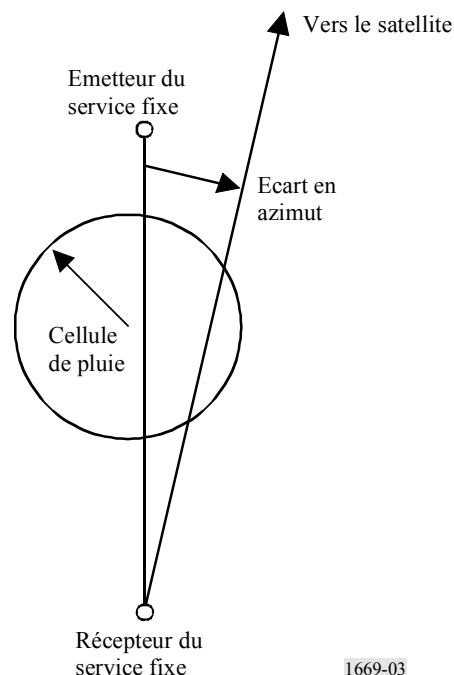
Pour déterminer la corrélation entre l'affaiblissement dû à la pluie affectant le signal d'une part et les brouillages causés dans le faisceau principal de l'antenne du service fixe d'autre part, on a utilisé une méthode temporelle reposant sur des hypothèses selon lesquelles les cellules de pluie ne sont pas statiques et présentent effectivement un caractère temporel, en raison de leur mouvement constant par rapport à la liaison du service fixe considérée.

Sur cette base, on a considéré une cellule de pluie cylindrique d'intensité de pluie uniforme caractérisée, dans notre exemple, par un rayon de cellule de pluie de 0,2 km et un affaiblissement spécifique de 50 dB/km. Pour traduire l'aspect temporel d'une cellule de pluie, on peut supposer que celle-ci est située à un endroit quelconque autour du récepteur du service fixe. On suppose dans la présente analyse que la cellule de pluie peut se trouver en un point quelconque le long ou en travers de la liaison du service fixe par incréments de 0,5 m.

Un calcul a été effectué pour chaque point de cette grille. Comme on le constate sur la Fig. 3, il consiste à déterminer, pour chaque emplacement de la cellule de pluie, le niveau d'affaiblissement A_C qui devrait être présent le long du trajet du signal utile du service fixe (pour un angle d'élévation de 0°) ainsi que le niveau d'affaiblissement A_I le long du trajet du signal brouilleur dans le plan horizontal (ces deux termes figurant dans l'équation (9) de l'Appendice 2), puis à comparer la différence entre ces affaiblissements.

FIGURE 3

Trajets de propagation du signal utile et du signal brouilleur pour une géométrie de cellule de pluie donnée et pour une longueur du trajet du signal utile du service fixe de 0,7 km, un rayon de cellule de pluie de 0,2 km et un angle d'azimut mesuré par rapport à l'axe du faisceau principal de 10°



Lorsque les affaiblissements sur le trajet du signal utile et sur le trajet du signal brouilleur ne sont que partiellement corrélés, on peut décrire les brouillages par deux composantes, l'une constante et l'autre parfaitement corrélée. En supposant qu'une fraction p de la puissance de brouillage sans évanouissement est corrélée et qu'une fraction $1 - p$ est constante, pour la valeur de seuil et en utilisant les éléments de l'Appendice 2 on a alors la relation suivante:

$$10 \log \left(p10^{-M_F/10} + 1 - p \right) + I_0 = N_{ref} - 10 \tag{10}$$

ou

$$I_0/N_0 = -10 \log \left(p10^{-M_F/10} + 1 - p \right) - 9 \tag{11}$$

La résolution de cette équation avec pour p inconnue donne:

$$p = \frac{1 - 10^{-((I_0/N_0 + 9)/10)}}{1 - 10^{-M_F/10}} \tag{12}$$

où M_F est la marge de protection contre les évanouissements sur la liaison du service fixe. Il convient de noter que l'équation (12) peut être utilisée chaque fois que la valeur admissible de I_0/N_0 est comprise entre -9 dB et $M_F - 9$ dB.

Sur cette base et pour différentes valeurs de la marge de protection contre les évanouissements sur la liaison du service fixe (10, 11, 14 ou 15 dB), l'équation (12) et l'équation (9) permettent de déterminer respectivement la fraction p (voir la Fig. 4) et le gabarit I/N résultant (voir la Fig. 5).

FIGURE 4
 Fraction effective des brouillages parfaitement corrélés pour des angles d'azimut mesurés par rapport à l'axe du faisceau principal de l'antenne du service fixe

Longueur du trajet = 0,7 km; diamètre de la cellule = 0,4 km; affaiblissement gamma = 50 dB/km

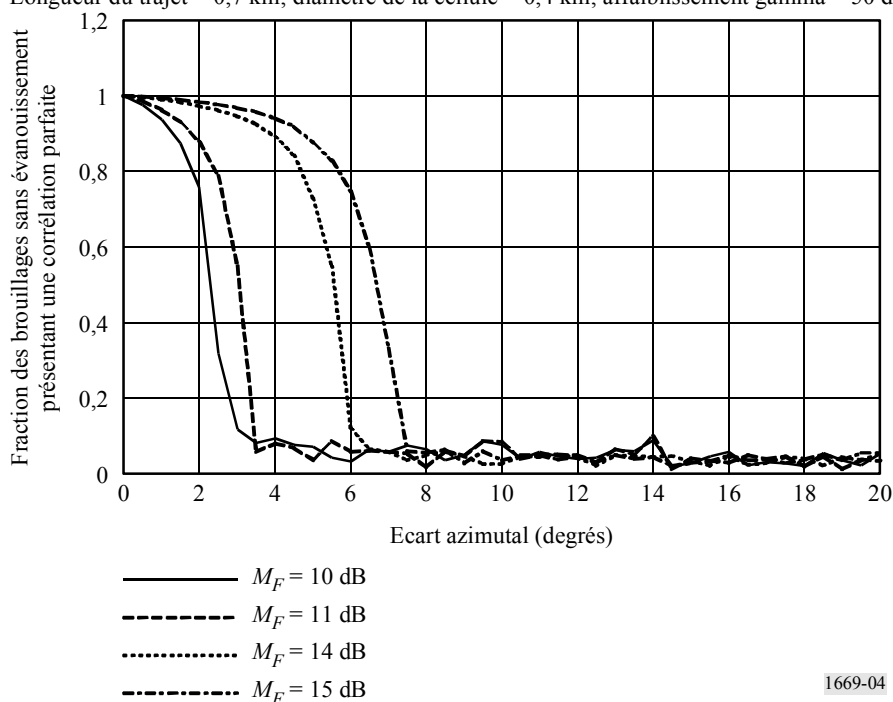
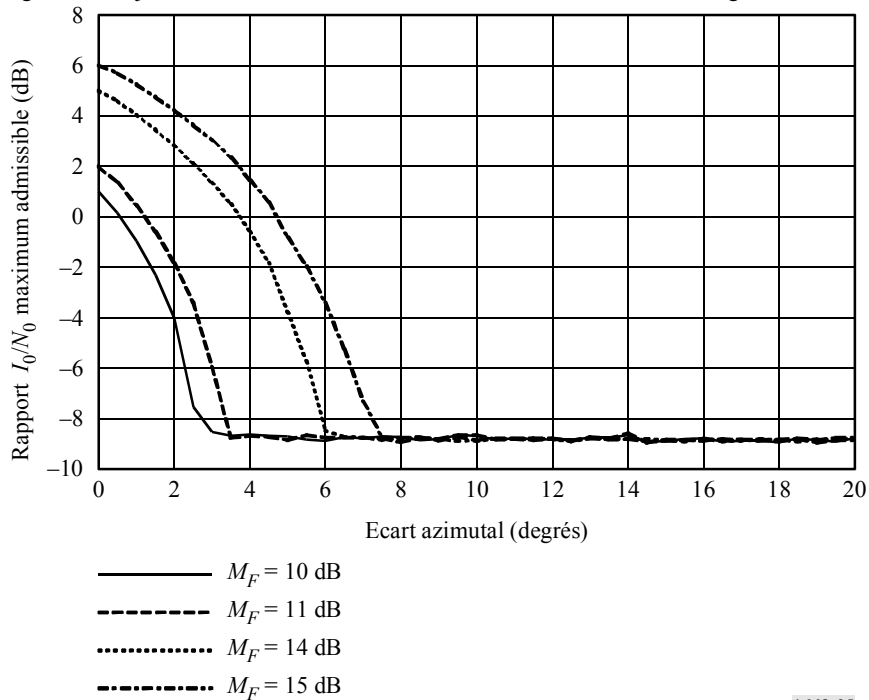


FIGURE 5

Gabarit I/N pour des angles d'azimut mesurés par rapport à l'axe du faisceau principal de l'antenne du service fixe

Longueur du trajet = 0,7 km; diamètre de la cellule = 0,4 km; affaiblissement gamma = 50 dB/km



1669-05

On constate à l'examen de la Fig. 5, relatif à un exemple de cellule de pluie cylindrique caractérisée par un rayon de 0,2 km pour un affaiblissement spécifique de 50 dB/km, que la valeur du rapport I/N maximum admissible ainsi que l'espacement angulaire en azimut, X° , dépendent de la valeur de la marge de protection contre les évanouissements. Dans les cas considérés au § 2 de l'Annexe 1 pour des marges de protection contre les évanouissements égales à 14 dB et 10 dB, les valeurs maximales du rapport I/N sont respectivement de +5 dB et +1 dB, X valant respectivement 2° et 6° .

2 Modèle de taille de cellule de pluie

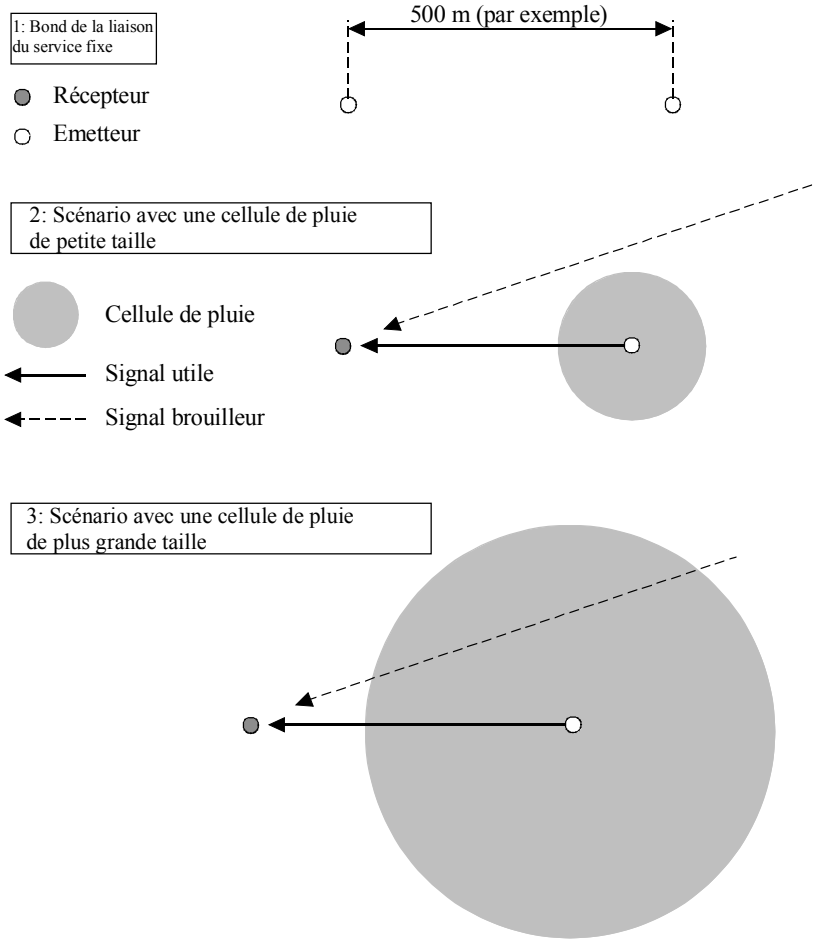
L'analyse du § 1 a été illustrée par l'exemple d'une cellule de pluie cylindrique caractérisé par un rayon de 0,2 km et un affaiblissement spécifique de 50 dB/km. Il est utile de noter cependant que les résultats de la méthode d'analyse temporelle, pour une valeur donnée de la marge de protection contre les évanouissements, dépendent évidemment des paramètres supposés de la cellule de pluie, au moins en ce qui concerne la valeur de l'espacement angulaire en azimut, X° , comme on peut le voir sur la Fig. 6.

Des éléments paramétriques relatifs à la taille de la cellule de pluie sont actuellement disponibles uniquement dans l'Appendice 4 à l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.452. Des informations font cependant état que ce modèle ne serait applicable que pour calculer la diffusion par la pluie sur les trajets transhorizon. Il a toutefois également été proposé d'utiliser à cette fin un autre modèle, même si ce dernier n'est spécifié dans aucune Recommandation de l'UIT-R².

² Cet autre modèle a été évalué par la Commission d'études 3 des radiocommunications lors de l'élaboration de la Recommandation UIT-R P.618.

FIGURE 6

Description des scénarios associés à différentes tailles de cellule de pluie



1669-06

Cet autre modèle repose sur un ensemble de cellules caractérisées par un profil exponentiel et une symétrie rotationnelle dans lesquelles l'intensité de pluie R à la distance ρ du centre est donnée par:

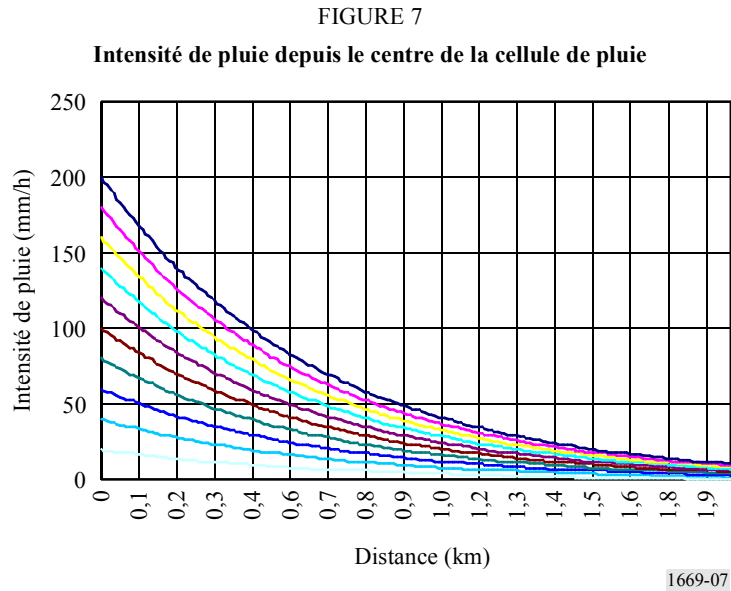
$$R = R_M \exp(-\rho/\rho_0) \quad (13)$$

où R_M est la valeur crête de l'intensité de pluie et ρ_0 est la distance à laquelle cette grandeur décroît d'un facteur $1/e$, distance appelée classiquement «rayon de la cellule».

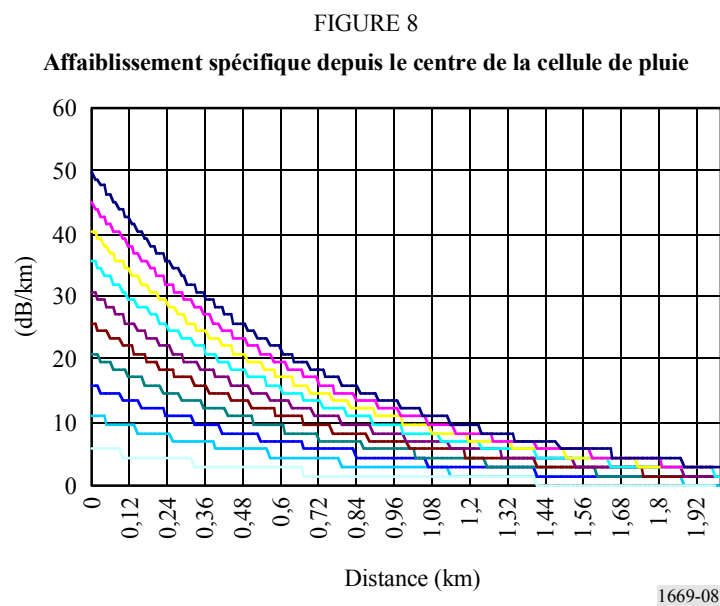
Dans le cas monoaxial, les valeurs normalisées de ρ_0 dépendent des valeurs de R_M et sont données par l'équation à double loi de puissance suivante:

$$\rho_0(R_M) = 1,7 \left[\left(\frac{R_M}{6} \right)^{-10} + \left(\frac{R_M}{6} \right)^{-0,26} \right] \quad \text{pour } R_M > 5 \quad (14)$$

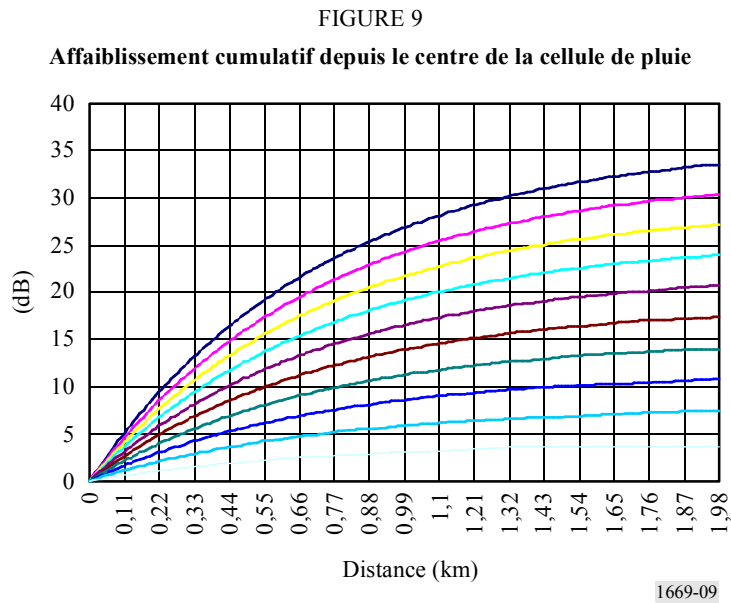
La Fig. 7 établie sur la base de l'équation susmentionnée, permet d'observer la forme de la cellule de pluie en fonction d'une valeur maximale de l'intensité de pluie variant entre 20 et 200 mm/h (suivant un pas d'incrément de 20).



De plus, en utilisant les intensités de pluie de la Fig. 7, il est donc possible, sur la base de la Recommandation UIT-R P.838, de calculer les affaiblissements spécifiques correspondants (voir la Fig. 8).



Intégrer ces affaiblissements spécifiques depuis le centre de la cellule permet ensuite de calculer l'affaiblissement cumulatif induit par la cellule de pluie considérée (voir la Fig. 9).



Enfin, le Tableau 3 permet d'obtenir, pour chaque intensité de pluie, la valeur ρ_0 du rayon de la cellule (conformément à l'équation (14)).

TABLEAU 3
Rayon de la cellule de pluie pour les différentes valeurs maximales d'intensité de pluie

| Valeur maximale de l'intensité de pluie (mm/h) | Valeur ρ_0 du rayon de la cellule (km) |
|--|---|
| 200 | 0,68 |
| 180 | 0,70 |
| 160 | 0,72 |
| 140 | 0,75 |
| 120 | 0,78 |
| 100 | 0,82 |
| 80 | 0,87 |
| 60 | 0,93 |
| 40 | 1,04 |
| 20 | 1,24 |

Même s'il apparaît à l'examen des Fig. 7 et 9 et du Tableau 3 que les cellules de pluie ne sont pas cylindriques mais présentent un profil exponentiel, il semblerait néanmoins à la lecture de ces données que l'utilisation pour les calculs du précédent paragraphe d'une cellule de pluie ayant un rayon de 0,2 km conduit à sous-estimer l'incidence de la pluie et donc de la valeur de l'espacement angulaire en azimut, X° .

Sans vouloir tirer de conclusion définitive concernant un rayon de cellule de pluie cylindrique sur la base des considérations susmentionnées déduites de cet autre modèle de propagation, il est probable que l'application du modèle d'analyse temporelle et de cet autre modèle pourrait conduire à un accroissement significatif de l'espacement angulaire en azimut.

On a ainsi supposé, avec un facteur de confiance raisonnable, qu'accroître l'espacement angulaire en azimut à 5° et 15° pour des marges de protection contre les évanouissements sur la liaison du service fixe égales respectivement à 10 et 14 dB (à comparer aux valeurs de 2° et 6° de la Fig. 7 pour un rayon de cellule de pluie égal à 0,2 km) correspondrait à une hypothèse suffisamment prudente pour assurer, si ces accroissements étaient respectivement associés à des valeurs maximales de +1 dB et +5 dB du rapport I/N , la protection requise du service fixe contre les brouillages causés par des satellites OSG.

Affiner davantage ce modèle de cellule de pluie ou un nouveau modèle pourrait avoir une certaine incidence sur ces valeurs de l'espacement angulaire en azimut et conduire à inclure de nouveaux développements dans la présente Recommandation.
