

RECOMMANDATION UIT-R S.1712

Méthodes permettant de déterminer si une station terrienne du service fixe par satellite située en un emplacement donné peut émettre dans la bande 13,75-14 GHz sans dépasser les limites de puissance surfacique indiquées dans le numéro 5.502 du Règlement des radiocommunications et lignes directrices pour limiter les dépassements

(2005)

Domaine de compétence

Par sa Résolution 144, la Conférence mondiale des radiocommunications (CMR-03) a invité l'UIT-R à élaborer des Recommandations, qui établiront des méthodes techniques ou opérationnelles visant à faciliter le partage et à ménager davantage de souplesse pour le déploiement des stations terriennes du SFS ayant un diamètre d'antenne inférieur à 4,5 m dans la bande 13,75-14 GHz, conformément au numéro 5.502 du Règlement des radiocommunications (RR), et qui pourront également servir de base pour l'établissement d'accords bilatéraux entre administrations.

La présente Recommandation propose trois méthodes pour déterminer si des stations terriennes du SFS situées en un emplacement donné peuvent émettre dans la bande 13,75-14 GHz sans dépasser la limite de puissance surfacique fixée au numéro 5.502 du RR. Elle prévoit également des mesures supplémentaires que les administrations des pays dont le territoire est petit ou étroit peuvent envisager de prendre lorsqu'elles déploient des stations terriennes du SFS.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la CMR-03 a révisé les restrictions de partage applicables au service fixe par satellite (SFS) (Terre vers espace) dans la bande 13,75-14 GHz;
- b) que cette bande, attribuée au SFS, est utilisée en partage avec les services de radiolocalisation et de radionavigation;
- c) que les conditions de partage révisées approuvées à la CMR-03 autorisent l'exploitation dans la bande 13,75-14 GHz de stations terriennes géostationnaires du SFS avec des antennes d'un diamètre, D , compris entre 1,2 m et 4,5 m;
- d) que le numéro 5.502 du Règlement des radiocommunications (RR) fait obligation à une administration qui prévoit d'exploiter, sur le territoire de son pays, une station terrienne du SFS avec une antenne de moins de 4,5 m de diamètre et émettant vers un satellite OSG, dans la bande 13,75-14 GHz, de veiller à ce que la puissance surfacique rayonnée par cette station terrienne à 3 m au-dessus du sol en un point quelconque de la frontière d'un pays voisin et/ou à 36 m au-dessus de niveau de la mer, à la laisse de basse mer en tout point de sa frontière maritime (s'il en a une) ne dépasse pas $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$ pendant plus de 1% du temps;

- e) que, puisque l'affaiblissement dû à la propagation augmente avec la distance et, sur les trajets terrestres, est fortement influencé par la nature du relief, les stations terriennes situées suffisamment loin de la frontière d'un pays voisin ou de la laisse de basse mer peuvent respecter la limite de puissance surfacique sans qu'il soit nécessaire de recourir à des techniques de limitation des brouillages (par exemple l'effet d'écran local) et donc que l'utilisation de méthodes permettant de déterminer les zones d'un pays où cela est le cas aiderait les administrations à respecter le critère énoncé au point d) du *considérant*;
- f) que l'effet d'écran du terrain, naturel ou artificiel, pourrait affaiblir le signal émis par une station terrienne en direction de la frontière terrestre d'un pays voisin et/ou de la laisse de basse mer;
- g) que l'utilisation de types particuliers de stations terriennes présentant des caractéristiques améliorées des lobes latéraux permettrait de réduire l'intensité du signal rayonné par une station terrienne du SFS à la frontière terrestre d'un pays voisin et/ou à la laisse de basse mer;
- h) qu'il convient d'utiliser les informations pertinentes figurant dans les Recommandations de l'UIT-R comme point de départ pour les méthodes indiquées au point e) du *considérant* et qu'il pourrait être judicieux d'utiliser une base de données topographiques couvrant tout pays dans lequel on envisage d'exploiter dans la bande 13,75-14 GHz des stations terriennes du SFS avec une antenne de moins de 4,5 m de diamètre;
- j) que la Résolution 144 (CMR-03) dispose que les administrations des pays dont le territoire est petit ou étroit pourront dépasser les limites de puissance surfacique des stations terriennes du SFS à la laisse de basse mer fixées au numéro 5.502 du RR si l'exploitation de ces stations est conforme aux accords bilatéraux conclus avec les administrations qui mettent en place des systèmes de radiolocalisation maritime dans la bande 13,75-14 GHz;
- k) que la Résolution 144 (CMR-03) dispose en outre que les méthodes techniques et opérationnelles visant à faciliter encore le partage permettront peut-être de ménager davantage de souplesse pour le déploiement des stations terriennes du SFS dans la bande 13,75-14 GHz, conformément au numéro 5.502 du RR et pourront également servir de base à l'établissement d'accords bilatéraux entre administrations,

notant

- a) que le numéro 5.503 du RR impose d'autres contraintes à l'exploitation des stations terriennes du SFS dans la bande des 10 GHz comprise entre 13,77 et 13,78 GHz,

recommande

1 aux administrations concernées, y compris à celles des pays visés au point j) du *considérant*, d'utiliser si elles le jugent nécessaire, la méthode de l'Annexe 1, celle de l'Annexe 2 ou celle de l'Annexe 3, ou bien encore une combinaison de ces méthodes, pour déterminer si une station terrienne qu'il est proposé d'exploiter dans la bande 13,75-14 GHz respectera les limites de puissance surfacique fixées au numéro 5.502 du RR;

2 en outre, aux administrations des pays dont le territoire est petit ou étroit, d'utiliser les informations figurant dans l'Annexe 4 de la présente Recommandation pour faciliter le respect des limites de puissance surfacique indiquées dans le numéro 5.502 du RR et/ou de les prendre comme point de départ pour la conclusion d'accords bilatéraux entre administrations lorsqu'elles cherchent à obtenir un assouplissement de ces limites.

Annexe 1

Méthode 1 – Courbes de la distance de séparation minimale basées sur la Recommandation UIT-R P.452, compte tenu de la hauteur de la station terrienne du SFS, de sa densité de p.i.r.e. en direction de l'horizon, de sa latitude et éventuellement de la hauteur du terrain¹

On trace avec cette méthode, en utilisant un modèle de Terre régulière deux courbes, indiquant la distance de séparation minimale depuis la laisse de basse mer ou la frontière terrestre d'un pays voisin qu'une station terrienne du SFS devrait respecter pour satisfaire aux limites de puissance surfacique indiquées dans le numéro 5.502 du RR, distance exprimée en fonction de la densité de p.i.r.e. de la station terrienne en direction de l'horizon. La première courbe correspond aux trajets en visibilité directe et la seconde aux trajets transhorizon. Une station terrienne du SFS déployée à une distance supérieure ou égale à la distance de séparation minimale est supposée respecter les limites de puissance surfacique. Une fois déterminé si le trajet jusqu'à la laisse de basse mer ou la frontière est un trajet en visibilité directe ou un trajet transhorizon, aucune autre analyse n'est nécessaire. A noter qu'on peut toujours déployer une station dans des zones exclues par cette méthode à condition qu'il puisse être établi, à l'aide de la Méthode 2 ou de la Méthode 3 (Annexes 2 et 3), que le site potentiel respecte les limites de puissance surfacique. Pour tenir pleinement compte de la diversité du relief dans le monde réel, la présente méthode se compose de trois étapes, de complexité croissante. L'Etape A est, de loin, la plus simple puisqu'elle ne tient pas compte du relief. En fait, on part de l'hypothèse d'une terre plate où tous les trajets sont des trajets en visibilité directe. Dans l'Etape B, on part de l'hypothèse d'une terre sphérique avec un horizon radioélectrique nominal mais on ne tient pas compte des effets du relief. Dans l'Etape C, comme dans l'Etape B, on part de l'hypothèse d'une terre sphérique mais, contrairement à l'Etape B, on tient compte des effets du relief. Etape après étape, la zone de déploiement potentielle de stations du SFS s'agrandit (la zone la plus étendue possible est celle obtenue dans l'Etape C). Il est entendu que si l'Etape A ou l'Etape B fait apparaître qu'un site potentiel respecte les limites de puissance surfacique, il n'est pas nécessaire de passer à la ou aux étapes suivantes. S'il le juge bon, l'utilisateur peut commencer directement à l'Etape B ou C, sans passer par l'Etape A.

Pour calculer la distance, des hypothèses de base et des modèles de propagation sont nécessaires. La Commission d'études 3 des radiocommunications a élaboré de nombreux modèles de propagation à cette fin et la Recommandation UIT-R P.452-11 a été utilisée dans de nombreuses situations de partage analogues et serait, semble-t-il, celle qui convient le mieux pour les conditions de propagation examinées ici.

On trouvera ci-après une description détaillée de la Méthode 1.

Etape A: On suppose que tous les trajets sont en visibilité directe. La courbe pour les trajets en visibilité directe (Fig. 4) est utilisée pour déterminer la distance de séparation minimale exprimée en fonction de la p.i.r.e. de la station terrienne dans une largeur de bande de 10 MHz rayonnée par cette station en direction de la laisse de basse mer (ou de la frontière). A noter que cette courbe est

¹ La Méthode 2 permettra de déterminer la plus grande zone dans laquelle des stations peuvent être déployées sans qu'il soit nécessaire de procéder à une analyse de chaque site. Si l'on ne dispose pas de données topographiques numériques pour un pays ou si l'on souhaite utiliser une méthode plus simple, la Méthode 1 permettra de déterminer des contours quelque peu plus prudents que la méthode du terrain numérique (Méthode 2).

basée sur l'affaiblissement sur les trajets en visibilité directe donné dans la Recommandation UIT-R P.452-11 ($p = 1,0\%$). Etant donné que le modèle retenu est un modèle de Terre plate, la courbe ne dépend pas de facteurs comme le rapport ΔN local ou la hauteur de l'antenne au-dessus du sol. Si la distance entre le site de déploiement potentiel et la laisse de basse mer (ou la frontière) est plus grande que la distance de séparation requise pour la courbe des trajets en visibilité directe, la station est supposée respecter les limites de puissance surfacique indiquées au numéro 5.502 du RR. Si la longueur du trajet est inférieure à la distance de séparation requise, on passe à l'Etape B.

Etape B: On part de l'hypothèse d'une Terre sphérique et il faut donc déterminer un horizon radioélectrique nominal. On calcule tout d'abord le rayon équivalent de la Terre, a_e en utilisant le rapport ΔN local et les équations (5) et (6) de la Recommandation UIT-R P.452-11 (convertir en mètres). L'horizon radioélectrique peut alors être calculé à partir de l'équation suivante:

$$R\text{Horizon}_{\text{nominal}} = \sqrt{2a_e} \cdot (\sqrt{h_0} + \sqrt{h_{es}}) / 1\,000 \quad \text{km}$$

où:

$h_0 =$ 36 m pour un point sur la laisse de basse mer ou 3 m pour un point sur la frontière terrestre

h_{es} : hauteur de la station terrienne (m) au-dessus du niveau moyen de la mer.

Si le site de la station terrienne n'est pas caché par l'horizon radioélectrique nominal de la laisse de basse mer (ou de la frontière terrestre) on utilise la courbe de visibilité directe de la Fig. 4 pour déterminer la distance de séparation requise. Si le site de la station terrienne se trouve au-delà de l'horizon radioélectrique nominal, on utilise la courbe pour les trajets transhorizon de la Fig. 4. Si la distance entre le site de déploiement potentiel et la laisse de basse mer (ou la frontière) est plus grande que la distance de séparation requise pour la courbe applicable, la station est supposée respecter les limites de puissance surfacique indiquées au numéro 5.502 du RR. Si le trajet est plus court que la distance de séparation requise, on passe à l'Etape C.

Etape C: Là aussi, on prend pour hypothèse une Terre sphérique. On a besoin en outre d'une analyse plus détaillée des trajets jusqu'à la laisse de basse mer (ou la frontière). On utilise l'Appendice 2 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.452-11 pour déterminer s'il s'agit d'un trajet en visibilité directe ou d'un trajet transhorizon. La procédure particulière est décrite en détail au § 4.1 de cet Appendice: (Test pour un trajet transhorizon). Les données topographiques peuvent provenir de cartes d'élévation numériques ou même être calculées à partir des contours d'élévation de cartes papier. Etant donné que dans les conditions topographiques réelles, le trajet présentant le plus faible affaiblissement n'est pas nécessairement le trajet le plus court, il convient de tester plusieurs trajets situés sur des rayons autour du site de déploiement potentiel de la station terrienne. S'il est établi que tous les trajets sont des trajets en visibilité directe, on calcule la distance de séparation requise à partir de la courbe de visibilité directe de la Fig. 4 (on utilise le trajet en visibilité directe le plus court). S'il apparaît que tous les trajets sont des trajets transhorizon, on utilise alors la courbe transhorizon de la Fig. 4. Si la distance entre le site de déploiement potentiel et la laisse de basse mer ou la frontière terrestre du pays voisin est plus grande que la distance de séparation requise pour la courbe applicable, la station est supposée respecter les limites de puissance surfacique indiquées au numéro 5.502 du RR. Si le trajet est plus court que la distance de séparation requise, les limites de puissance surfacique ne seront vraisemblablement pas respectées.

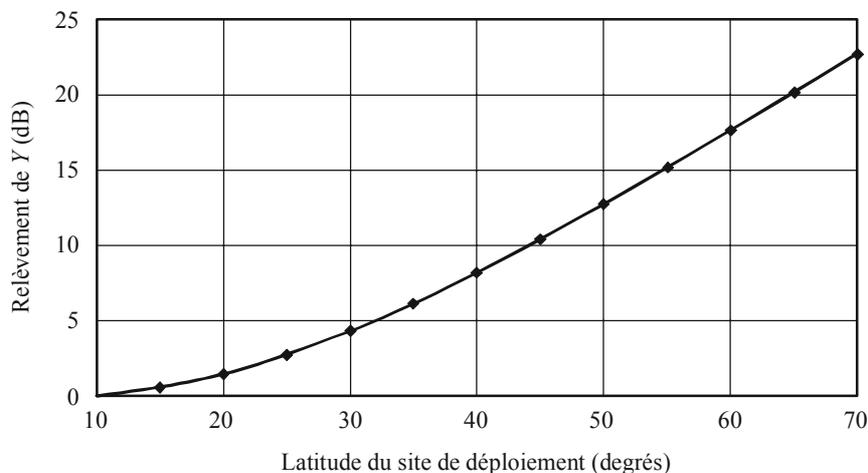
Il importe de noter que la distance de séparation requise calculée selon l'une des trois méthodes ci-dessus ne constitue pas un minimum absolu. Si la distance entre la station terrienne et la laisse de basse mer ou la frontière terrestre du pays voisin est plus courte que la distance requise, on peut procéder à une analyse supplémentaire à l'aide de la Méthode 2 qui utilise notamment des données topographiques numériques et une modélisation de la propagation ou de la Méthode 3 qui, elle

aussi, utilise des données topographiques et tient compte de facteurs comme l'effet d'écran du terrain, pour vérifier si les limites de puissance surfacique indiquées au numéro 5.502 du RR peuvent être respectées.

Comme indiqué ci-dessus, la Méthode 1 nécessite deux courbes (pour les différents types de trajets) qui donnent, en fonction de la densité de p.i.r.e. en direction de l'horizon, la distance minimale X requise jusqu'à la laisse de basse mer (ou la frontière terrestre) pour respecter les limites de puissance surfacique. Les sites de déploiement qui sont situés à moins de X de la laisse de basse mer (ou de la frontière terrestre) sont des sites envisageables mais nécessitent l'application des autres méthodes. Pour calculer la valeur (trajet en visibilité directe) de X , des hypothèses de base et des modèles de propagation sont nécessaires. La courbe de visibilité directe est calculée directement à partir de l'équation de visibilité directe de la Recommandation UIT-R P.452-11, l'équation (9) du § 4.2. Il faut utiliser une fréquence appropriée et prendre comme pourcentage de temps $p = 1,0\%$. L'affaiblissement correspondant est utilisé dans l'équation (2) de l'Annexe 2 de la présente Recommandation pour calculer la combinaison p.i.r.e./distance permettant de respecter les limites de puissance surfacique. La courbe transhorizon est simplement la courbe de visibilité directe relevée de Y dB sur l'axe des valeurs de p.i.r.e. La valeur de Y est déduite de la courbe de la Fig. 1. Comme indiqué plus haut, le niveau de puissance surfacique indiqué dans le numéro 5.502 du RR est associé à une hauteur au-dessus du niveau de la mer, à la laisse de basse mer ou au-dessus du sol à la frontière d'un pays voisin.

FIGURE 1

Relèvement de la courbe transhorizon en fonction de la latitude



1712-01

Exemple d'application de la Méthode 1

Dans le cadre de l'Etape A, dans certains pays, la densité de puissance fournie à l'entrée de l'antenne de stations terriennes VSAT types exploitées dans la bande 13,75-14,5 GHz est limitée à -14 dB(W/4 kHz). Pour une porteuse numérique VSAT MDP-4 à 64 kbit/s type (correction d'erreur directe avec taux de 1/2 et codage Reed-Solomon) avec une largeur de bande approximative de 84 kHz, on obtiendrait une densité de puissance à l'entrée P_d de:

$$P_d = -14 + 10 \log (84/4) = -0,8 \text{ dB(W/84 kHz)}$$

Dans l'hypothèse où l'angle hors axe par rapport à la laisse de basse mer, en élévation et en azimut, est de plus de 48°, le gain de l'antenne sera de -10 dBi et la densité de p.i.r.e. à l'émission, dans l'hypothèse d'une seule porteuse dans la largeur de bande de 10 MHz, sera de:

$$(p.i.r.e.)_d = -10,8 \text{ dB(W/10 MHz) de largeur de bande}$$

On suppose en outre que la longueur du trajet entre la station terrienne et la laisse de basse mer (dans cet exemple, la laisse de basse mer se confond avec le littoral) est de 44 km, que ΔN local = 40, et que la hauteur de la station terrienne au-dessus du niveau moyen de la mer est de 20 m. La latitude est de 35°, ce qui donne un relèvement de 6 dB pour la courbe transhorizon. Dans un premier temps, on compare la p.i.r.e. hors axe et la courbe de visibilité directe de la Fig. 4. Il ressort de cette courbe que la distance de séparation requise en visibilité directe sera d'environ 66 km. Etant donné que la longueur effective du trajet est inférieure à la distance de séparation minimale requise, l'Etape A ne permet pas d'établir que la limite de puissance surfacique est respectée.

Dans l'Etape B, on calcule que l'horizon radioélectrique nominal est de 43,3 km. Etant donné que la longueur effective du trajet est supérieure à l'horizon radioélectrique nominal, le trajet est nécessairement un trajet transhorizon. Par conséquent, la distance de séparation minimale peut être déduite de la courbe transhorizon de la Fig. 4. Avec cette courbe, pour une station ayant une p.i.r.e. hors axe de -10,8 dBW, la distance de séparation minimale requise est d'environ 35 km. Dans ce cas, la longueur effective du trajet est supérieure à la distance de séparation minimale requise. Par conséquent, l'Etape B fait apparaître que cette station terrienne respecte la limite de puissance surfacique. Si le respect de cette limite n'a pu être établi au cours de l'Etape B, on passera à l'Etape C et on procédera à une analyse utilisant une estimation plus précise de l'horizon radioélectrique réel.

Dans le cas d'une porteuse à 512 kbit/s avec une largeur de bande de 669 kHz, la densité de p.i.r.e. sera de:

$$(p.i.r.e.)_d = -14 + 10 \log (669/4) - 10 = -1,8 \text{ dB(W/10 MHz)}$$

L'Etape A fait apparaître que la distance de séparation minimale requise sera d'environ 140 km. Si les Etapes B ou C permettent d'établir que le trajet est un trajet transhorizon, cette distance sera d'environ 83 km.

Exemple de Méthode 1, Etape C

Dans le cadre de l'Etape C, un site de station terrienne potentiel est indiqué sur la carte donnée à titre d'exemple dans la Fig. 2. L'Etape A ou l'Etape B ne permet pas d'établir que ce site respecte la limite de puissance surfacique. On passera donc à l'Etape C. On utilisera les contours indiqués sur cette carte pour évaluer l'horizon radioélectrique sur les trajets entre le site et différents points le long de la côte (laisse de basse mer). On prend pour hypothèse les paramètres suivants:

p.i.r.e. de la station terrienne vers l'horizon, dans toutes les directions = -10,8 dBW

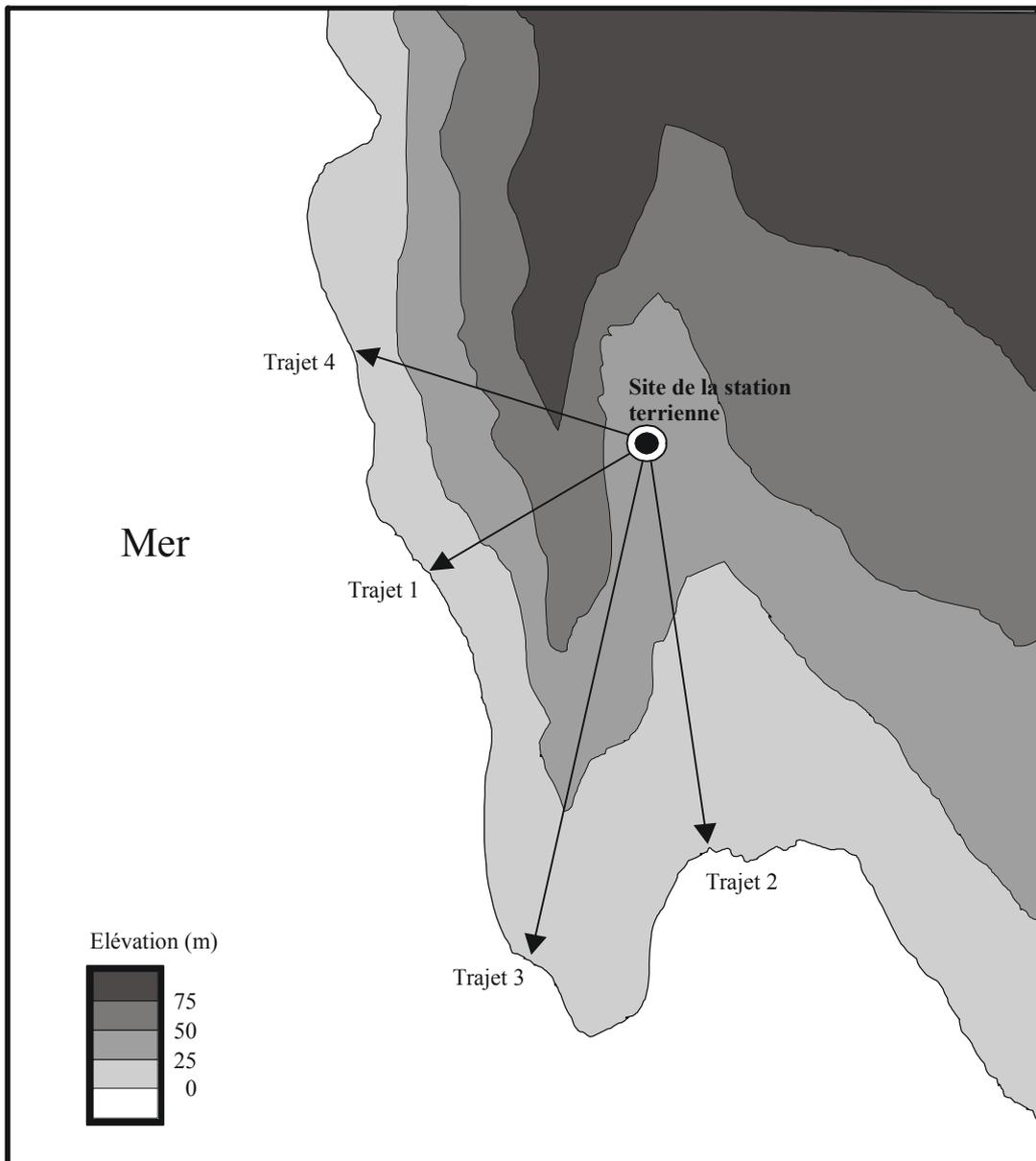
Hauteur de la station terrienne au-dessus du niveau moyen de la mer = 40 m

Valeur moyenne annuelle locale de $\Delta N = 45$

Latitude: 35°.

FIGURE 2

Exemple de carte de contours montrant un site de station terrienne potentielle



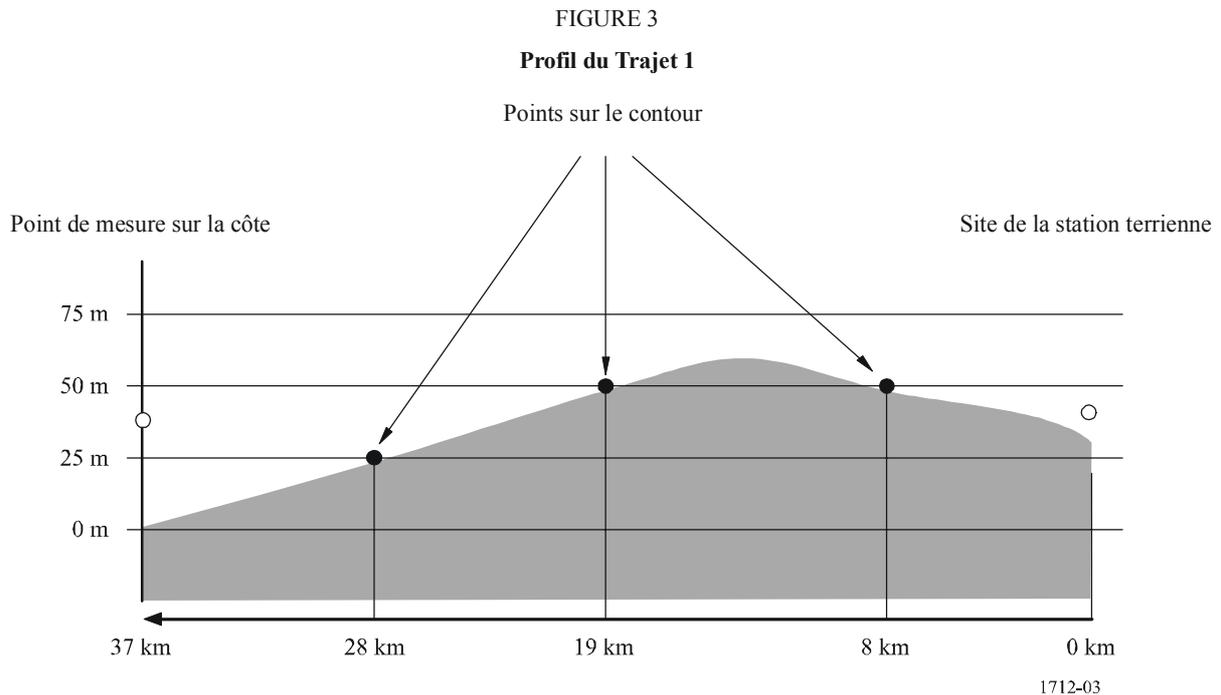
Longueur:

Trajet 1:	37 km
Trajet 2:	61 km
Trajet 3:	80 km
Trajet 4:	41 km

1712-02

Une vérification rapide de la Fig. 4 fait apparaître que la distance de séparation requise en visibilité directe pour cette station terrienne est de 63,5 km. Le trajet le plus court jusqu'à la laisse de basse mer (Trajet 1) est manifestement bien inférieur à la distance de séparation requise en visibilité directe. L'Etape A ne permet pas d'établir que les limites de puissance surfacique sont respectées. Compte tenu de la valeur ΔN et de la hauteur de la station terrienne au-dessus du niveau moyen de la mer, l'horizon radioélectrique nominal est de 52,1 km. Etant donné que la longueur du Trajet 1 est inférieure à l'horizon nominal, la distance de séparation requise reste inchangée. L'Etape B n'est donc pas concluante.

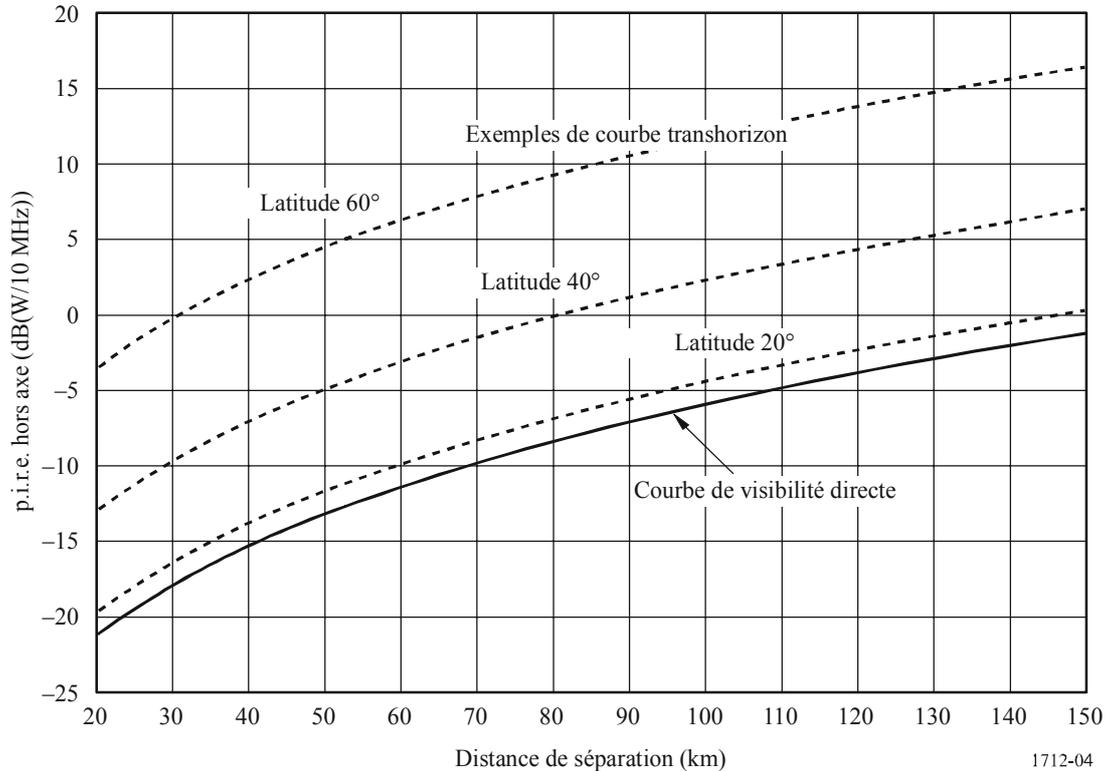
L'étape C commence par le test pour un trajet transhorizon (Appendice 2 à l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.452-11). Les trajets sont divisés en tronçons pour tenir compte des différents angles d'élévation le long de chaque partie de chaque trajet. Il est recommandé d'utiliser des intervalles égaux mais cela n'est pas une obligation. Le test prévu dans la Recommandation UIT-R P.452 permet de vérifier si l'angle d'élévation de l'horizon physique vu depuis la station terrienne, θ_{ES} , est plus grand que l'angle vu depuis un point de mesure sur la côte, θ_{TP} . On se reportera à la Recommandation pour avoir tous les détails de la procédure. Les calculs nécessaires sont faits avec le Trajet 1 et font apparaître que $\theta_{ES} = 0,8$ mrad et $\theta_{TP} = -2,2$ mrad. Etant donné que $\theta_{ES} > \theta_{TP}$, le trajet est un trajet transhorizon. A noter que si les Trajets 2 et 3 ne coupent pas de contours plus élevés que celui correspondant à la station terrienne, leur longueur est supérieure à la valeur de l'horizon radioélectrique obtenue pendant l'Etape B. Par conséquent, on sait qu'il s'agit de trajets transhorizon sans qu'il soit nécessaire de faire le test prévu dans la Recommandation UIT-R P.452. Le Trajet 4 est plus long que le Trajet 1 et coupe un contour plus élevé. Le calcul des angles fait apparaître que ce trajet est bien un trajet transhorizon. Après inspection, il n'y a pas d'autres trajets pour lesquels on pourrait obtenir des résultats différents de ceux obtenus avec les trajets indiqués sur la carte ci-dessus. Par conséquent, ce site de station terrienne n'est pas en visibilité directe d'un point quelconque sur la côte (laisse de basse mer). La courbe transhorizon de la Fig. 4 fait apparaître que la distance de séparation requise pour cette station terrienne est de 34 km. Etant donné que la longueur du trajet le plus court est supérieure à cette valeur, le site de la station terrienne respecte les limites de puissance surfacique.



A noter que la valeur de crête vraie du profil (voir la Fig. 3) n'a pas été effectivement utilisée dans les calculs. La carte des contours (voir la Fig.2) ne fournissait avec certitude que des données d'élévation tous les 25 m. On aurait pu utiliser une base de données topographiques avec une meilleure résolution pour mieux refléter la hauteur vraie du terrain.

FIGURE 4

Méthode 1 – courbes de la distance de séparation (distance minimale jusqu'à la laisse de basse mer en fonction de la densité de p.i.r.e. en direction de l'horizon)



A noter que la courbe de visibilité directe est obtenue à partir de l'affaiblissement sur les trajets en visibilité directe donné dans la Recommandation UIT-R P.452-11. La courbe transhorizon est simplement la courbe de visibilité directe relevée de Y dB sur l'axe des valeurs de p.i.r.e. En réalité, l'affaiblissement par diffraction n'est pas simplement l'affaiblissement en visibilité directe relevé d'une valeur constante. Une analyse plus poussée du modèle de la Recommandation UIT-R P.452-11 fera peut-être apparaître qu'il est nécessaire de corriger quelque peu la courbe transhorizon.

Annexe 2

Méthode 2 – Contours de puissance surfacique basés sur des données topographiques réelles, le modèle de propagation de la Recommandation UIT-R P.452-11, la p.i.r.e. de la station terrienne du SFS dans une largeur de bande de 10 MHz ainsi que le diamètre et la hauteur de l'antenne de cette station au-dessus du sol

1 Généralités

Avec cette méthode on trace, sur la base de données topographiques réelles, un ensemble de contours indiquant la distance de séparation minimale qu'il devrait y avoir entre la laisse de basse mer ou la frontière terrestre d'un pays voisin et une station terrienne du SFS pour que cette station puisse respecter les limites de puissance surfacique indiquées au numéro 5.502 du RR, distance

exprimée en fonction de la p.i.r.e. de la station terrienne ainsi que du diamètre et de la hauteur de son antenne. Une station terrienne du SFS déployée à l'intérieur du contour basé sur la valeur de sa p.i.r.e. hors axe est supposée respecter les limites de puissance surfacique. Aucune autre analyse n'est nécessaire. Cette méthode qui fait appel à des données plus précises que la Méthode 1 permet de délimiter des zones plus étendues à l'intérieur desquelles une station terrienne peut être déployée tout en respectant les limites de puissance surfacique indiquées au numéro 5.502 du RR. Toutefois, il convient de noter qu'on peut toujours déployer une station terrienne dans des zones exclues par cette méthode s'il peut être établi à l'aide de la Méthode 3 (Annexe 3) que le site potentiel respecte les limites de puissance surfacique. Pour tenir compte des différents affaiblissements sur le trajet dus aux différentes hauteurs d'antenne, il faut définir des contours pour toute une série de hauteurs de station terrienne au-dessus du niveau du terrain local.

2 Description étape par étape de la Méthode 2

Etape 1: Définition des contours: En prenant pour hypothèse plusieurs combinaisons types de diamètres d'antenne et de valeurs de p.i.r.e. hors axe associées, il est possible de définir un ensemble de contours représentant les zones à l'intérieur desquelles la station terrienne considérée peut être déployée tout en respectant les limites indiquées au numéro 5.502 du RR. Compte tenu de la discrimination de la station terrienne entre la direction de pointage de son antenne et la direction de la frontière, une valeur de l'affaiblissement sur le trajet nécessaire peut être associée à chaque contour défini.

Etape 2: Calcul des contours: Si l'on connaît la valeur de l'affaiblissement sur le trajet à associer à chaque contour et si l'on prend une base de données topographiques réelles, il est possible de calculer la position de chaque contour sur une carte. Le modèle de propagation à utiliser est celui décrit dans la Recommandation UIT-R P.452.

Etape 3: Respect des limites de puissance surfacique indiquées dans le numéro 5.502 du RR: Pour évaluer si ces limites sont respectées, on compare la position de la station terrienne que l'on entend déployer et le contour associé au profil correspondant:

- si la station terrienne que l'on entend déployer se trouve à l'intérieur du contour associé, elle peut être déployée sans qu'aucune autre mesure ne soit nécessaire et elle respecte les critères du numéro 5.502 du RR;
- si la station terrienne que l'on entend déployer est située en dehors du contour associé, il faut examiner plus avant l'environnement du site.

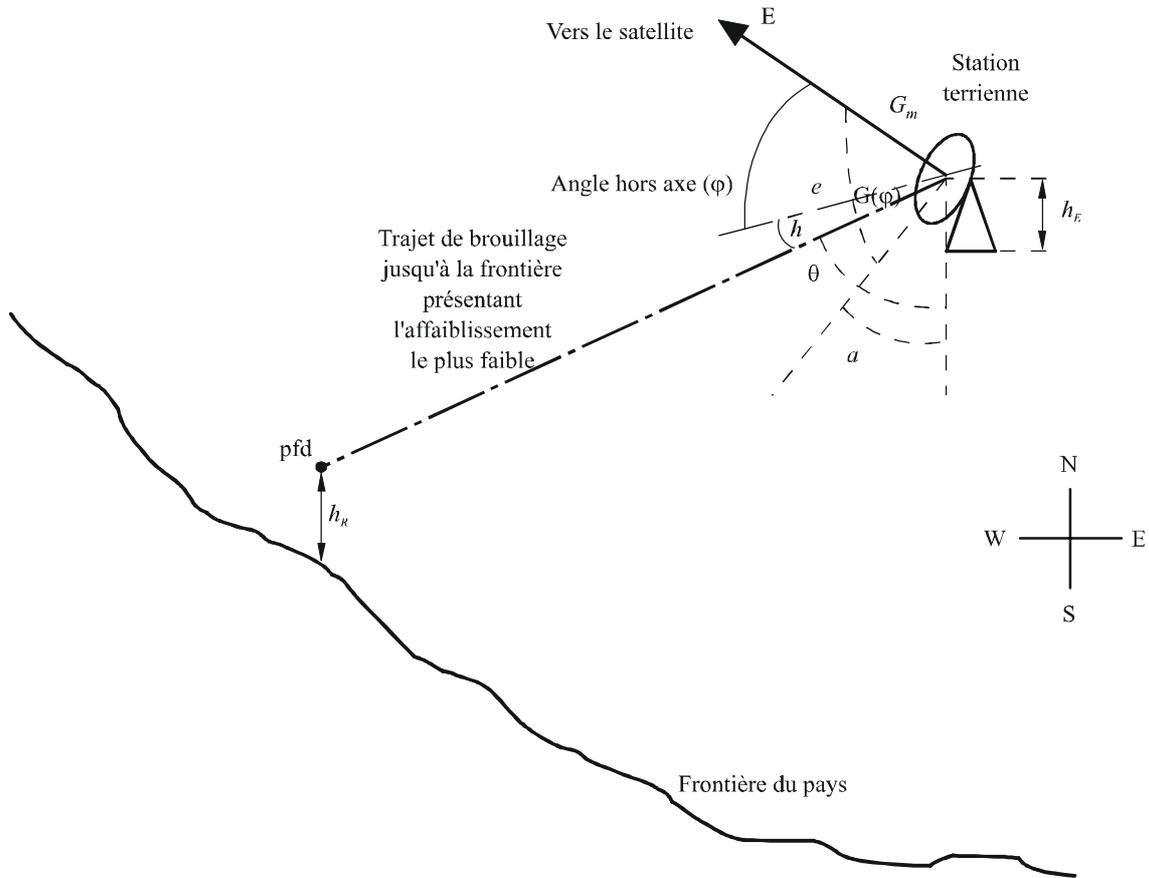
3 Application possible de la Méthode 2

3.1 Scénario de brouillage

Le scénario du brouillage produit à la frontière d'un pays par une station terrienne située sur le territoire de ce pays est illustré aux Fig. 5 et 6.

FIGURE 5

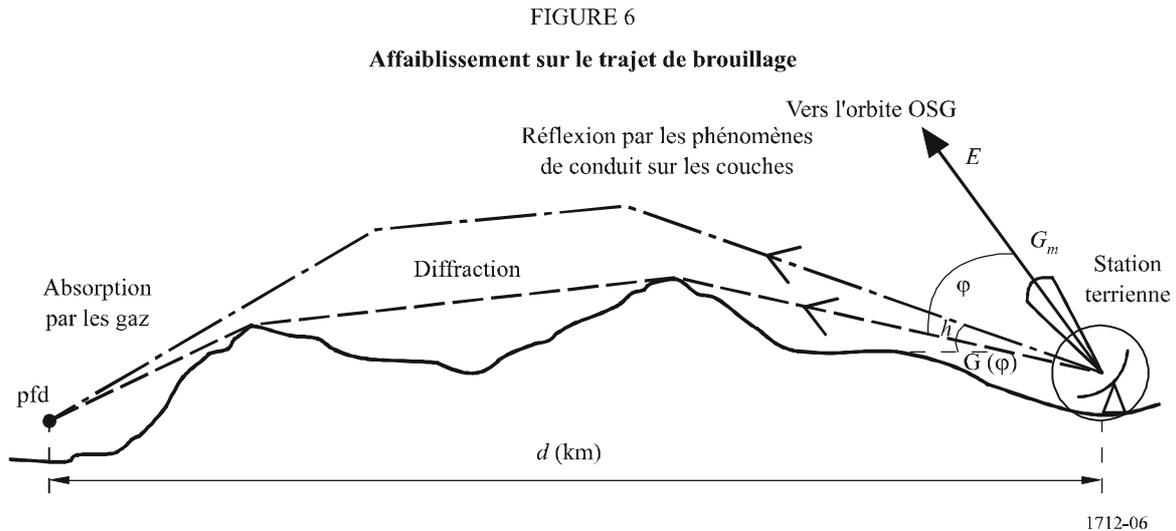
Géométrie du trajet de brouillage



1712-05

- E : p.i.r.e. de la station terrienne en direction du satellite (dB(W/10 MHz))
- G_m : gain dans l'axe de l'antenne de la station terrienne (dBi)
- $G(\varphi)$: gain de l'antenne de la station terrienne en direction de l'horizon le long du trajet jusqu'à la frontière présentant le plus faible affaiblissement (dBi)
- a : angle d'azimut de l'axe de l'antenne de la station terrienne (degrés sud sud-ouest)
- e : angle d'élévation de l'axe de l'antenne de la station terrienne (degrés)
- h : angle d'élévation de l'horizon en direction du trajet présentant le plus faible affaiblissement (degrés)
- h_E : hauteur au-dessus du niveau du sol local du foyer de l'antenne de la station terrienne (m)
- h_R : hauteur au-dessus du niveau du sol local du foyer de l'antenne radar (m)
- pdf: puissance surfacique de brouillage à la frontière (dB(W/m² · 10 MHz))
- θ : angle d'azimut du trajet jusqu'à la frontière présentant le plus faible affaiblissement (degrés sud sud-ouest).

A noter que l'angle hors axe (φ) considéré ici est l'angle formé par l'axe du faisceau principal et l'axe représentant la première partie du trajet de brouillage présentant le plus faible affaiblissement, qui en général comprendra un petit angle d'élévation, h , (habituellement entre -1° et $+3^\circ$) (voir la Fig. 6).



La puissance surfacique à la laisse de basse mer ou à la frontière terrestre peut être calculée à l'aide de la formule (1):

$$\text{pfd} = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log(\lambda^2/4\pi) \quad \text{dB(W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

où:

L : affaiblissement sur le trajet entre antennes isotropes dépassé pendant 99% du temps (dB)

λ : longueur d'onde (m).

A la fréquence de 13,875 MHz en milieu de bande, $\lambda = 0,02162$ m, de sorte que $10 \log(\lambda^2/4\pi) = -44,29$. Pour respecter la limite de puissance surfacique requise, on obtient en reformulant l'équation (1):

$$L = E - (G_m - G(\varphi)) + 159,29 \quad \text{dB} \quad (2)$$

Si les facteurs du membre droit de l'équation (2) peuvent être ramenés à des constantes, les zones dans lesquelles une station terrienne respectera les limites de puissance surfacique seront indiquées par les contours de la constante L .

Le facteur $(G_m - G(\varphi))$ est la discrimination fournie par le diagramme de l'antenne d'émission de la station terrienne dans la direction du trajet de brouillage et elle dépend du diamètre et du diagramme de rayonnement de l'antenne ainsi que de l'angle hors axe φ . Pour le diagramme de rayonnement, il convient d'utiliser les algorithmes de la Recommandation UIT-R S.580 pour les lobes latéraux et d'ajouter un faisceau principal présentant une décroissance quadratique (par exemple, $G(\varphi) = G_m - 12(\varphi/\varphi_{3\text{dB}})^2$) et un gain de crête G_m correspondant à une efficacité d'illumination de 65% (c'est-à-dire $G_m = 10 \log[(0,65)(\pi D/\lambda)^2]$ où D est le diamètre de l'antenne (m) et $\varphi_{3\text{dB}} = 70\lambda/D$). Ainsi, pour une valeur de p.i.r.e. de la station terrienne et un diamètre d'antenne donnés, la valeur de L requise pour respecter la limite de puissance surfacique peut être calculée si l'on connaît la valeur correspondante de φ .

La hauteur de la station terrienne au-dessus du sol h_E devrait être déterminée par l'administration concernée, en fonction du type de déploiement souhaité. Par exemple, les contours indiqués plus tard dans la présente Annexe ont été calculés pour $h_E = 11,2$ m. Les stations sont donc installées sur de hautes structures. Si l'on envisage d'installer une station terrienne sur un bâtiment d'un étage à toit plat (par exemple, une station service), une valeur de 5 à 6 m conviendrait. Il faut veiller à ne pas installer des stations terriennes à des hauteurs supérieures à celle utilisée pour construire les contours afin d'éviter que la limite de puissance surfacique autorisée soit dépassée à la laisse de

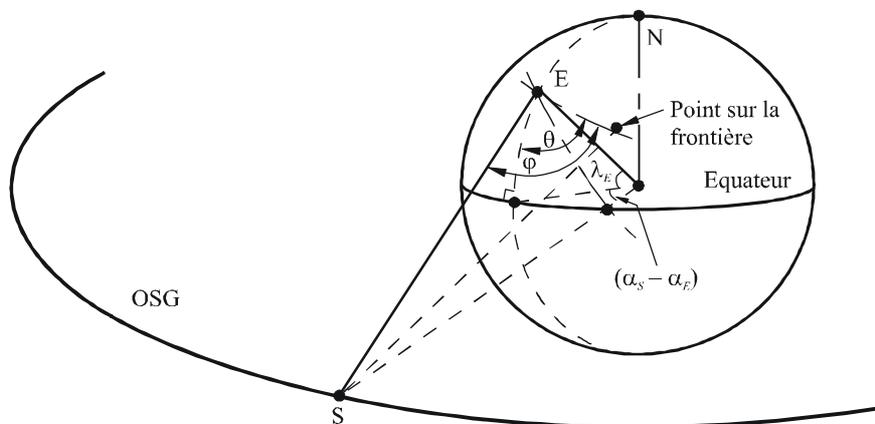
basse mer. Pour installer des stations terriennes sur des bâtiments plus élevés dans un environnement urbain, il faudrait des valeurs encore plus élevées de h_E . Dans un environnement urbain, le signal hors axe de la station terrienne peut être bloqué par la très forte densité d'autres signaux présents mais cela dépasse le cadre de la Méthode 2. Cette méthode devrait être fondée sur des déploiements «types» et non sur des cas extrêmes.

3.2 Angle hors axe de la station terrienne pour une puissance surfacique maximale à la laisse de basse mer ou à la frontière terrestre d'un pays

La Fig. 5 fait apparaître que l'angle hors axe dépend de l'orientation par rapport à la laisse de basse mer ou à la frontière terrestre ainsi que de l'angle d'azimut, a , et de l'angle d'élévation, e , selon lesquels l'antenne de la station terrienne est pointée. La Fig. 6 montre que, dans une moindre mesure, φ dépend aussi de l'angle d'élévation, h , de l'horizon local. Il ressort des diagrammes de référence de l'UIT-R que, pour des angles hors axe relativement petits, la discrimination de l'antenne augmente assez rapidement (proportionnellement à $25 \log(\varphi)$) mais que, pour des angles plus grands, elle a tendance à marquer un palier. L'orientation du trajet par rapport à la laisse de basse mer ou à la frontière présentant le plus faible affaiblissement dépend en partie de la géographie du terrain entre la frontière et la station terrienne – le trajet présentant le plus faible affaiblissement a tendance à être situé dans une direction azimutale proche de celle à laquelle la distance jusqu'à la frontière est la plus courte – et en partie de la nature du relief (dans un terrain montagneux, le trajet présentant le plus faible affaiblissement ne coïncide pas nécessairement avec le trajet le plus court). Si l'orientation du trajet le plus court est proche de la direction de pointage en azimut de l'antenne de la station terrienne et si l'angle d'élévation de l'antenne est petit, même si le trajet le plus court n'est pas le trajet présentant le plus faible affaiblissement, la puissance surfacique rayonnée peut être très élevée car l'effet de la discrimination d'antenne neutralise l'effet du terrain. Toutefois, étant donné que le relèvement en azimut, θ , du trajet présentant le plus faible affaiblissement jusqu'à la frontière peut être compris entre 0 et $\pm 180^\circ$ par rapport au plein sud, il est intéressant de savoir comment φ varie en fonction de θ pour différentes combinaisons de a et de e . Les valeurs de a et de e dépendent de la latitude de la station terrienne, λ_E , ainsi que de sa longitude, α_E , par rapport à la longitude, α_S , du satellite vers lequel elle émet.

FIGURE 7

Relation entre l'angle hors axe et le relèvement
d'un point sur la frontière



A partir de la géométrie de la Fig. 7, l'angle hors axe φ (lorsque $h = 0^\circ$) a été calculé tous les 5° pour des valeurs du relèvement θ comprises entre -180° et $+180^\circ$ pour des stations terriennes situées à diverses latitudes différentes et, dans chaque cas, pour toute une série de différences de longitude entre la station terrienne E et son satellite S, couvrant ainsi la plupart des situations concrètes. S'agissant des stations terriennes en général, tous les relèvements pour le trajet présentant le plus faible affaiblissement jusqu'à la laisse de basse mer ou la frontière terrestre sont équiprobables. Il a donc été possible de convertir les données ainsi obtenues en distributions de probabilité cumulatives de φ . En adaptant ces résultats pour que $h = +3^\circ$, on a constaté que pour des stations terriennes à $\pm 10^\circ$ de latitude, par exemple, φ est supérieur à 48° pour 96% des relèvements en azimut. Pour des stations terriennes à $\pm 35^\circ$ de latitude φ est supérieur à 48° pour 92% des relèvements en azimut et pour des stations terriennes à $\pm 60^\circ$ de latitude φ est supérieur à 48° pour 91% des relèvements en azimut. Etant donné que 48° est l'angle hors axe auquel les diagrammes de gain de la Recommandation UIT-R S.580 marquent un palier, la discrimination de l'antenne de la station terrienne peut donc être considérée comme constante dans 91% à 96% des cas. La valeur de cette discrimination dépend du diamètre de l'antenne; elle est donnée dans le Tableau 1 pour des antennes présentant une efficacité de 65%:

TABLEAU 1

Discrimination d'antenne maximale (Recommandation UIT-R S.580)

Diamètre d'antenne (m)	1,2	1,5	1,8	2,1	2,6	3,1	4,5
Discrimination $\{G_m - G(\varphi)\}$ pour $\varphi \geq 48^\circ$ (dB)	53,0	54,9	56,5	57,8	59,7	61,2	64,4

A partir des résultats des calculs décrits dans le paragraphe précédent il a été établi que les valeurs minimales de l'angle hors axe correspondent aux valeurs de θ proches de la différence de longitude entre le satellite et la station terrienne. Par conséquent, même si on peut utiliser sans problème la méthode actuelle pour la grande majorité des cas, si le site d'une station terrienne se trouve sur le contour correspondant à sa p.i.r.e. et à son diamètre d'antenne ou à proximité de celui-ci et si l'on a des raisons de penser que le trajet présentant le plus faible affaiblissement jusqu'à la laisse de basse mer ou la frontière terrestre (par exemple, le trajet jusqu'au point le plus proche est approximativement dans la direction de l'azimut du satellite et que l'angle d'élévation par rapport au satellite est de moins de $(48^\circ + h)$, il faudra calculer individuellement la puissance surfacique plutôt que de se baser sur le contour. Toutefois, cela ne sera nécessaire que dans une petite minorité de cas et dépendra essentiellement de la latitude du pays dans lequel on se propose de déployer la station terrienne du SFS. Dans les cas où les stations terriennes du SFS sont exploitées au-dessus d'un certain angle d'élévation (par exemple, au-dessus de $48^\circ + h$ pour un diagramme d'antenne de la Recommandation UIT-R S.580), la densité de p.i.r.e. vers l'horizon sera constante pour tous les azimuts. En pareils cas, les contours correspondant à la distance requise peuvent être calculés en fonction de la puissance d'entrée fournie à l'antenne et ne dépendent pas du diamètre de cette antenne.

Dans les cas exceptionnels où le site d'une station terrienne se trouve dans les limites du contour correspondant à sa p.i.r.e. et son diamètre d'antenne mais à proximité de celui-ci, l'angle d'élévation est inférieur à 51° (c'est-à-dire $48^\circ + 3^\circ$) et le relèvement en azimut en direction du satellite est proche du relèvement du trajet présentant le plus faible affaiblissement jusqu'à la frontière, l'angle hors axe, φ , doit être calculé à partir de l'expression $\varphi = \cos^{-1}[\cos(\theta - a)\cos(e)\cos(h) + \sin(e)\sin(h)]$ (degrés) Si le résultat est inférieur à 48° , la station terrienne risque de dépasser la limite de puissance surfacique à la frontière d'une valeur égale à la différence entre le gain hors axe calculé

conformément à la Recommandation UIT-R S.580 pour cet angle hors axe particulier et -10 dBi, si le site se trouve exactement sur le contour ou moins s'il se trouve à l'intérieur de ce contour. La limite de puissance surfacique peut ne pas être dépassée si on déplace la station terrienne sur un site plus éloigné à l'intérieur du contour, si on réduit la p.i.r.e., si on ajoute l'effet d'écran du terrain local ou si on combine plusieurs ou la totalité de ces facteurs, selon les circonstances. Dans le cas le plus défavorable (et très improbable) ou $e = 10^\circ$, $h = 3^\circ$ et $\theta = a$, il faudrait une limitation pouvant aller jusqu'à 17,9 dB.

3.3 Considérations concernant la p.i.r.e. de la station terrienne E

Le facteur restant à résoudre dans l'équation (2) est E. Pour que tous les contours calculés englobent la majorité des niveaux de p.i.r.e. vraisemblablement rayonnés par de petites stations terriennes équipées d'une antenne parabolique et exploitées dans la bande 13,75-14 GHz, on a fait une analyse statistique des réponses au Questionnaire CA/90 publié par le Bureau des radiocommunications en 2002 pour le GAM 4-7-8. Ces réponses étaient basées sur l'utilisation actuelle de la bande 14-14,5 GHz, mais on peut raisonnablement penser que l'utilisation de la bande 13,75-14 GHz sera analogue. Les réponses ont fait apparaître que certains diamètres d'antenne étaient prépondérants dans la plage de valeurs considérée; ils sont indiqués dans le Tableau 1. Il était donc commode d'analyser les données pour quatre fourchettes de diamètres d'antenne, à savoir 1,2-1,5 m, 1,5-2,1 m, 2,1-3,1 m et 3,1-4,5 m; les résultats ont été exprimés sous forme de fonctions de distribution cumulatives indiquant le pourcentage de stations terriennes en fonction de la valeur de p.i.r.e. maximale dans une largeur de bande de 10 MHz.

A partir de ces fonctions de distribution cumulatives, on a déduit que la plage des valeurs de E à prendre en considération allait de 83 dBW, valeur qui couvre 90% des stations terriennes ayant les plus grands diamètres d'antenne (au-dessous de 4,5 m) à 35 dBW, valeur qui couvre uniquement 30% des stations terriennes ayant les diamètres d'antenne les plus petits (au-dessus de 1,2 m).

3.4 Bases pour l'établissement des contours

Les données résumées aux § 2 et 3 ont permis d'utiliser l'équation (2) pour déterminer des valeurs discrètes de L, l'affaiblissement sur le trajet requis qui sera dépassé pendant 99% du temps pour respecter la limite de puissance surfacique, pour un certain nombre de cas appropriés. Le calcul des contours correspondant à ces valeurs de L permettra ensuite de déterminer la zone dans un pays où des stations terriennes ne dépassant pas les niveaux de p.i.r.e. pertinents pourront être déployées sans qu'il soit nécessaire de recourir à des techniques de limitation des brouillages ou de procéder à une analyse de chaque site et où la limite de puissance surfacique sera automatiquement respectée en tout point sur la laisse de basse mer ou sur la frontière terrestre. De façon empirique, il a été établi que cinq contours conviendraient pour les cas types et la base d'établissement de ces contours est résumée dans le Tableau 2 qui a été établi à partir de l'équation (2) et des informations contenues dans les § 3.2 et 3.3.

TABLEAU 2

**Combinaisons de diamètre d'antenne et de p.i.r.e. de station
terrienne pour des contours appropriés**

Contour de référence	Fourchette de valeurs du diamètre d'antenne, D (m), et ($G_m - G(48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ)$) pour le diamètre minimal dans cette fourchette				Affaiblissement sur le trajet L dépassé pendant 99% du temps (dB)
	$1,2 \leq D < 1,5$ $G_m - G(\varphi) =$ 53,0 dB	$1,5 \leq D < 2,1$ $G_m - G(\varphi) =$ 54,9 dB	$2,1 \leq D < 3,1$ $G_m - G(\varphi) =$ 57,8 dB	$3,1 \leq D < 4,5$ $G_m - G(\varphi) =$ 61,2 dB	
	E (dB(W/ 10 MHz))	E (dB(W/10 MHz))	E (dB(W/ 10 MHz))	E (dB(W/10 MHz))	
A	$\leq 36,5$	$\leq 38,4$	$\leq 41,3$	$\leq 44,7$	142,8
B	$\leq 45,5$	$\leq 47,4$	$\leq 50,3$	$\leq 53,7$	151,8
C	$\leq 54,5$	$\leq 56,4$	$\leq 59,3$	$\leq 62,7$	160,8
D	$\leq 63,5$	$\leq 65,4$	$\leq 68,3$	$\leq 71,7$	169,8
F	$\leq 72,5$	$\leq 74,4$	$\leq 77,3$	$\leq 80,7$	178,8

Ainsi, par exemple, des stations terriennes avec des diamètres d'antenne compris entre 2,1 m et 3,1 m et rayonnant une p.i.r.e. pouvant aller jusqu'à 59,3 dBW dans une largeur de bande de 10 MHz respecteront la limite de puissance surfacique à la laisse de basse mer ou à la frontière terrestre sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des techniques de limitation des brouillages si ces stations sont situées en un point quelconque plus éloigné de la laisse de basse mer ou de la frontière terrestre qu'un contour correspondant à un affaiblissement sur le trajet de 160,8 dB non dépassé pendant plus de 1% du temps (contour de référence C).

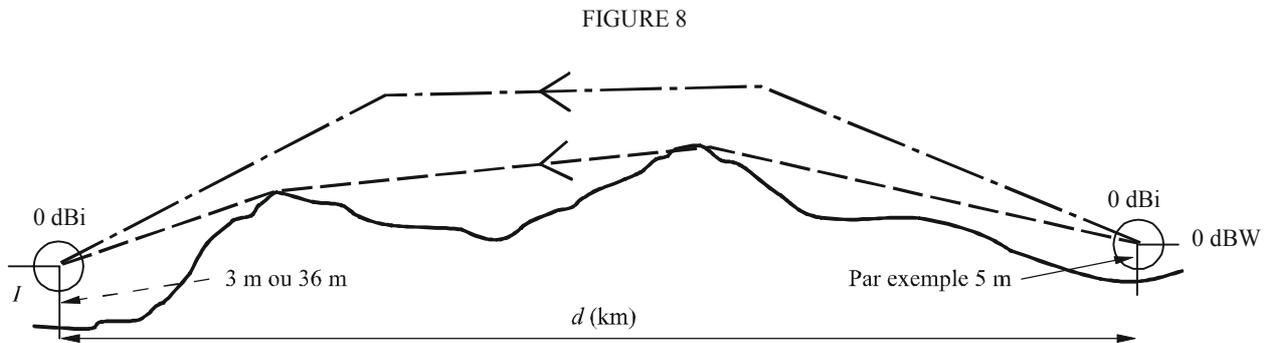
En utilisant les informations résumées aux § 2 et 3, il est possible de faire une interpolation entre les contours correspondant à ces cinq valeurs d'affaiblissement sur le trajet. Par ailleurs, étant donné qu'entre deux rangées adjacentes du Tableau il y a une différence de 9 dB entre les valeurs de L , on peut déduire l'avantage qu'il y aurait à ajouter 9, 18 ou 27 dB d'effet d'écran du terrain local à une station terrienne; si l'on prend l'exemple donné dans le paragraphe précédent, en ajoutant 9 dB d'effet d'écran du terrain on pourrait déployer la station terrienne jusqu'au contour B ou la laisser à l'intérieur du contour C mais sa p.i.r.e. serait alors portée à 68,3 dB dans une largeur de bande de 10 MHz.

3.5 Calcul des contours

Il est possible de calculer les affaiblissements sur un trajet terrestre en ajoutant (en parallèle) les effets de la propagation en espace libre, de l'absorption par les gaz, de la diffraction, des phénomènes de conduit dans la troposphère et de la réflexion sur les couches, et ce en utilisant les données et les algorithmes de la Recommandation UIT-R P.452. Pour un emplacement de station terrienne donné, pour que la limite de puissance surfacique ne soit pas dépassée, il faut trouver le trajet jusqu'à la laisse de basse mer ou la frontière terrestre présentant le plus faible affaiblissement. Si le terrain est plat, ce sera la droite entre la station terrienne et le point le plus proche sur la laisse de basse mer ou la frontière terrestre du pays voisin (appelée «frontière» au § 3.5), mais ce ne sera pas toujours le cas si le terrain est modérément ou très montagneux. On aura donc besoin d'une base de données logicielle contenant les hauteurs au-dessus du niveau de la mer pour l'ensemble de la

zone considérée, avec une résolution aussi fine que possible. La technique suivante peut être utilisée.

Si l'on prend le profil de terrain de la Fig. 6 comme exemple, le point de mesure de la puissance surfacique peut être remplacé par un récepteur alimenté par une antenne de réception isotrope et la station terrienne d'émission du SFS par une antenne d'émission isotrope comme dans la Fig. 8 :



1712-08

Ainsi, le niveau du signal reçu I est $I = 0 + 0 - L + 0$ dBW. Autrement dit, le niveau de I (dBW), est numériquement égal à l'opposé de la valeur de l'affaiblissement sur le trajet L (dB), quel que soit le relèvement du récepteur par rapport à l'émetteur. Pour les besoins du présent exercice, I devrait être calculé comme indiqué dans la Recommandation UIT-R P.452-11, pour 1% du temps.

Il faudrait mettre au point un modèle de logiciel intégrant une base de données topographiques pour le pays ou la zone considérés et contenant des stations de réception isotropes régulièrement espacées et suffisamment rapprochées le long de la laisse de basse mer ou sur la frontière terrestre. Une grille d'éléments rayonnants isotropes à 0 dBW positionnés à intervalles réguliers et couvrant la totalité du pays ou de la zone considérés devrait être rajoutée. Ainsi, la contribution de chaque émetteur à I , au niveau de chaque récepteur, devrait être calculée à l'aide des techniques de la Recommandation UIT R P.452 afin d'évaluer l'affaiblissement dépassé pendant 99% du temps et toutes les valeurs devraient être stockées séparément pour chaque récepteur. Le logiciel devrait être conçu de façon à pouvoir identifier la contribution maximale de chaque récepteur à la valeur I ainsi que l'émetteur dans la grille responsable de cette contribution². Ainsi, en sélectionnant les émetteurs pour lequel la contribution maximale à I est la plus proche possible de l'opposé de la valeur de L requise, on peut établir un contour en traçant une droite entre ces émetteurs. Pour améliorer la précision, il est possible d'utiliser une interpolation linéaire entre des paires d'émetteurs correspondant aux contributions maximales de I qui sont les plus proches de part et d'autre de la valeur cible (voir la Fig. 9).

² Cette dernière caractéristique permet d'identifier le trajet présentant le plus faible affaiblissement jusqu'à la frontière pour n'importe quel point sur un contour, dans les cas où l'on doute que la limite de puissance surfacique sera respectée. A partir du profil de terrain de ce trajet on peut calculer h .

FIGURE 9

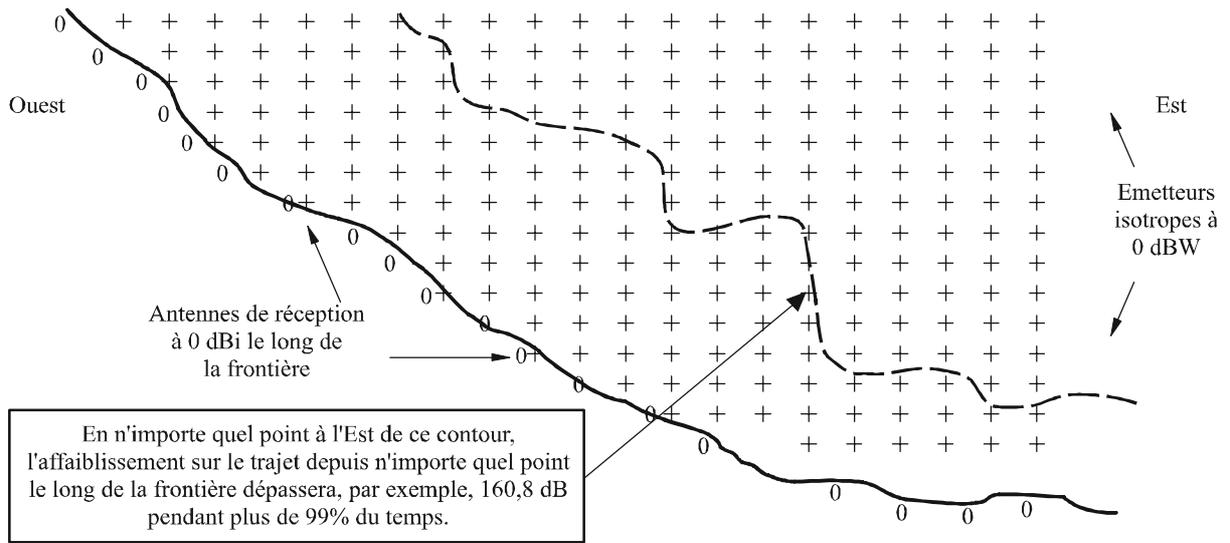
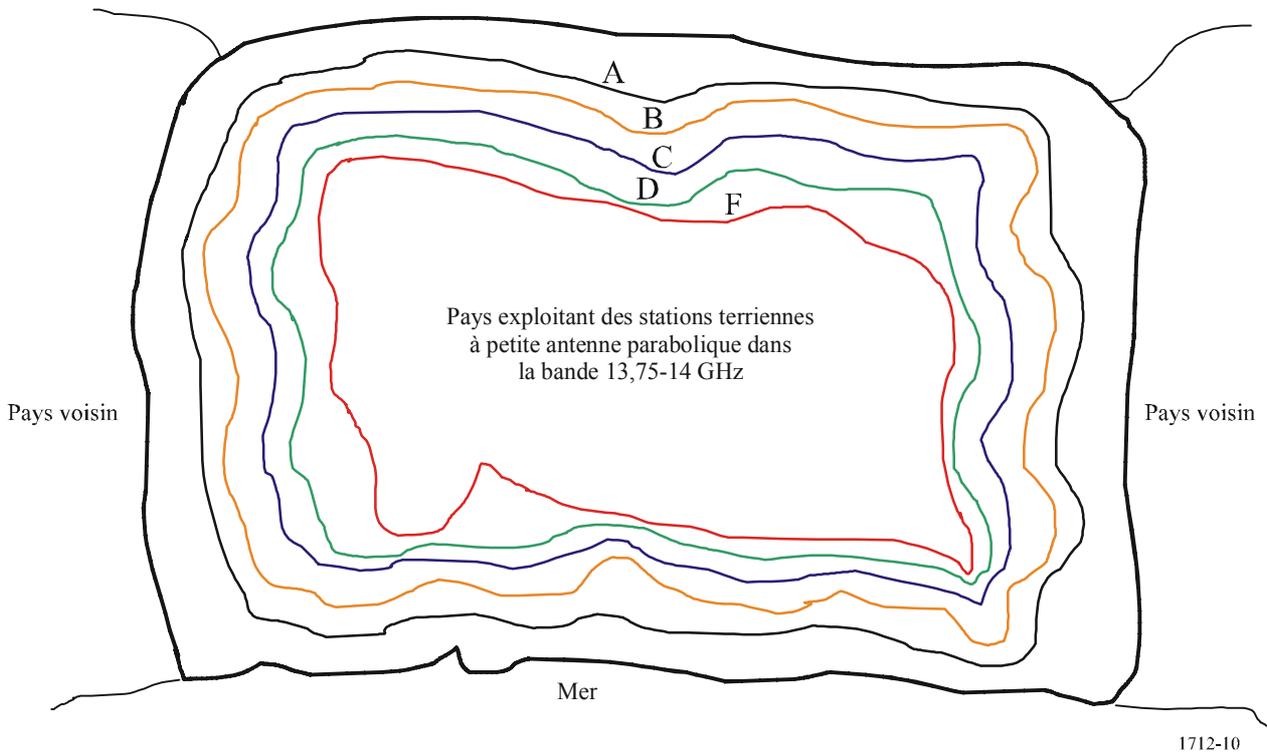


FIGURE 10

Pays voisin



Dans la zone située entre un contour et la laisse de basse mer ou la frontière terrestre, il est possible d'exploiter des stations terriennes à petite antenne parabolique si l'on a recours à des techniques de limitation des brouillages – restriction en ce qui concerne les porteuses à faible p.i.r.e. ou effet d'écran du terrain local – mais la décision devra être prise au cas par cas. Dans cette optique, on pourra utiliser la méthode actuelle pour déterminer le trajet depuis le site jusqu'à la laisse de basse mer ou la frontière terrestre présentant le plus faible affaiblissement et c'est l'affaiblissement observé sur ce trajet qui déterminera le niveau de limitation des brouillages nécessaire.

Il convient de noter que dans les cas particuliers où il est prévu que les stations terriennes à petite antenne parabolique pointeront toujours vers un seul et même point sur l'OSG, on peut calculer des contours propres au système en adaptant la méthode de façon à ce que chaque point (+) de la grille de la Fig. 9 englobe une antenne pointant vers cet emplacement.

3.6 Exemples d'application de la méthode décrite dans les § 3.1 à -3.5

On a utilisé la méthode actuelle avec un progiciel «maison» comprenant une base de données topographiques mondiale ayant une résolution horizontale de 1 km et une résolution verticale de 1 m pour construire des modèles de huit zones différentes, l'objectif étant de couvrir des pays divers par la taille, le type de relief ou le climat. Pour chaque point de réception situé sur une côte (dans ces exemples, la laisse de basse mer est la côte), la hauteur d'antenne a été fixée à 36 m et pour les points de réception sur des frontières terrestres, cette hauteur a été fixée à 3 m. Pour établir des contours couvrant chacun toute la fourchette des diamètres d'antenne de station terrienne, il a fallu choisir une seule et même hauteur pour tous les points d'émission. Elle a été fixée à 11,2 m pour les calculs actuels. Toutes les zones retenues sont situées dans des parties du monde densément peuplées. Des précisions sont données dans le Tableau 3.

Pour obtenir des contours complets (Fig. 10), il faut modéliser toute la frontière d'un pays, ce qui, pour de grands pays, nécessiterait la prise en compte d'un grand nombre de points d'émission et de points de réception et, par voie de conséquence, des temps de calcul et de modélisation longs. En outre, il faudrait pouvoir imprimer sur une feuille d'un format bien plus grand que le format A4 pour utiliser au mieux ces contours complets. Idéalement, on utiliserait une base de données topographiques ayant une résolution plus élevée que la résolution actuelle. Or, pour tirer parti de cette meilleure résolution, l'espacement entre points d'émission adjacents et points de réception adjacents devrait être plus petit, ce qui ferait encore augmenter les temps de calcul et de modélisation. Compte tenu de ces facteurs, il est vraisemblablement plus commode pour une administration de modéliser séparément les différentes parties du pays, en particulier si l'on a besoin des contours les plus précis applicables.

Des exemples de résultats obtenus pour les zones énumérées dans le Tableau 3 sont illustrés aux Fig. 11, 12 et 13; les contours correspondant aux combinaisons de diamètre d'antenne et de p.i.r.e. de station terrienne définies dans le Tableau 2 sont représentés. Par commodité, les contours sont appelés A, B, C, D et F comme dans le Tableau 2 et la Fig. 10 et ils sont tracés dans des couleurs contrastées pour être mieux lisibles.

Globalement, la série complète de résultats a montré que la méthode décrite dans la présente Annexe convient bien pour déterminer l'emplacement où la grande majorité des stations terriennes du SFS exploitées dans la bande 13,75-14 GHz pourraient être déployées sans dépasser les limites de puissance surfacique indiquées au numéro 5.502 du RR. Toutefois, il serait préférable pour les exploitants de stations du SFS dans les pays concernés d'utiliser des cartes plus détaillées, une base de données topographiques présentant une meilleure résolution et une plus grande densité de points d'émission et de points de réception par modèle, pour évaluer les sites à proximité des contours.

TABLEAU 3
Caractéristiques des modèles logiciels construits

Zone géographique	Taille du pays	Climat (ΔN) ⁽¹⁾	Type de terrain	Espacement des récepteurs (km)	Intervalle entre émetteurs sur la grille (km)	Nombre de trajets calculés ⁽²⁾
Bassin du Mississippi	Grand	Tempéré (51)	Non montagneux	10	10	455 224
Sud de l'Angleterre	Moyen	Tempéré (45)	Moyenne-ment montagneux	10	10	83 582
Sud de la Turquie	Moyen	Tempéré (45)	Montagneux	10	10	300 000
Nord-Ouest de l'Inde	Grand	Tropical (60)	Non montagneux	10	10	702 450
Mexique central	Moyen	Tropical (60)	Montagneux	10	10	691 114
Cuba	Longue île étroite	Tropical (55)	Moyenne-ment montagneux à pas montagneux	10	10	346 626
Java	Longue île étroite	Tropical (60)	Moyenne-ment montagneux	10	10	288 144
Chypre	Petite île	Tempéré (50)	Moyenne-ment montagneux	6	4	252 960

⁽¹⁾ ΔN est la vitesse moyenne de décroissance du coïndice radioélectrique dans le kilomètre le plus bas de l'atmosphère, laquelle dépend en grande partie du climat; ce paramètre est nécessaire pour calculer l'affaiblissement sur le trajet selon la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R P.452.

⁽²⁾ Nombre de points d'émission sur la grille multiplié par le nombre de points de réception sur la frontière.

Fig. 11 – Bassin du Mississippi, Etats-Unis d'Amérique

Comme on pouvait s'y attendre, les contours correspondant aux valeurs de p.i.r.e. les plus basses sont ceux qui sont les plus proches de la laisse de basse mer, alors que ceux correspondant aux valeurs de p.i.r.e. les plus élevées sont les contours les plus éloignés de la laisse de basse mer. Les distances moyennes par rapport à la laisse de basse mer sont situées entre environ 30 km pour le contour A et environ 130 km pour le contour F et les zones entre les contours et la laisse de basse mer sont donc des zones relativement étendues dans lesquelles les stations terriennes rayonnant les niveaux de p.i.r.e. indiqués ne pourraient pas, sans effet d'écran du terrain ou application d'une autre technique de limitation des brouillages, être exploitées en toute légalité dans la bande 13,75-14 GHz. Cela tient au fait que le bassin du Mississippi est relativement plat et, par conséquent, les affaiblissements par diffraction sont relativement faibles. Heureusement, le territoire des Etats-Unis d'Amérique est grand, de sorte que la proportion des masses terrestres de ce pays sur lesquelles l'exploitation des stations du SFS dans cette bande serait soumise à des restrictions est relativement faible.

Fig. 12 – Mexique central

Le fait que le Mexique soit un pays montagneux et, pour la plus grande partie, situé bien au-dessus du niveau de la mer permet d'exploiter des stations terriennes sur la quasi-totalité du territoire sans dépassement des limites de puissance surfacique aux frontières. Le relief à proximité de la côte sud est tel qu'il y a peu de différences entre les cinq contours et seules les stations terriennes situées dans un rayon moyen de 20 km par rapport à la mer seront soumises à des restrictions dans la bande 13,75-14 GHz. A proximité de la côte nord, les restrictions concerneront les stations terriennes déployées sur une zone relativement plus étendue en raison de la présence de quelques bandes de terre relativement basses autour des vallées des rivières, mais même dans ces zones, les distances moyennes entre le contour et la mer sont inférieures à ce qu'elles sont au Nord-Ouest de l'Inde du ou dans le bassin du Mississippi, malgré le climat tropical.

Fig. 13 – Cuba (Caraïbes)

Le contour A couvrirait la plus grande partie de Cuba, mais il est clair que les contours B, C, D et F ne couvrent qu'une petite, voire très petite partie de cette île allongée. Il faudrait utiliser une ou plusieurs des techniques de limitation des brouillages décrites dans l'Annexe 4, à moins que l'on ne se contente d'exploiter uniquement des porteuses à faible p.i.r.e. (voir le Tableau 2). Les calculs ont donc été adaptés pour fournir un contour supplémentaire G, qui correspond à un affaiblissement minimum sur le trajet jusqu'à la laisse de basse mer de 138 dB, pendant 99% du temps, c'est-à-dire environ 5 dB de moins que dans le cas du contour A. Il s'ensuit que si on peut réduire de 5 dB le brouillage subi par une station terrienne conforme aux critères figurant dans la première rangée du Tableau 2, cette station respectera la limite de puissance surfacique si elle est située en n'importe quel point à l'intérieur du contour G. De même, si on peut réduire de 14 dB le brouillage subi par une station terrienne conforme aux critères indiqués dans la deuxième rangée du Tableau 2, cette station pourra être située en n'importe quel point à l'intérieur du contour G. De même, pour la troisième rangée avec une réduction du brouillage de 23 dB.

En outre, une réduction de 9 dB du brouillage subi par une station terrienne conforme aux critères indiqués dans l'une des rangées du Tableau 2 permettrait de positionner cette station dans les limites du contour défini par la rangée immédiatement supérieure du Tableau.

FIGURE 11

Contours au-delà desquels des stations terriennes sans effet d'écran respecteraient une limite de puissance surfacique de $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$ au niveau de la côte, pendant 99% du temps

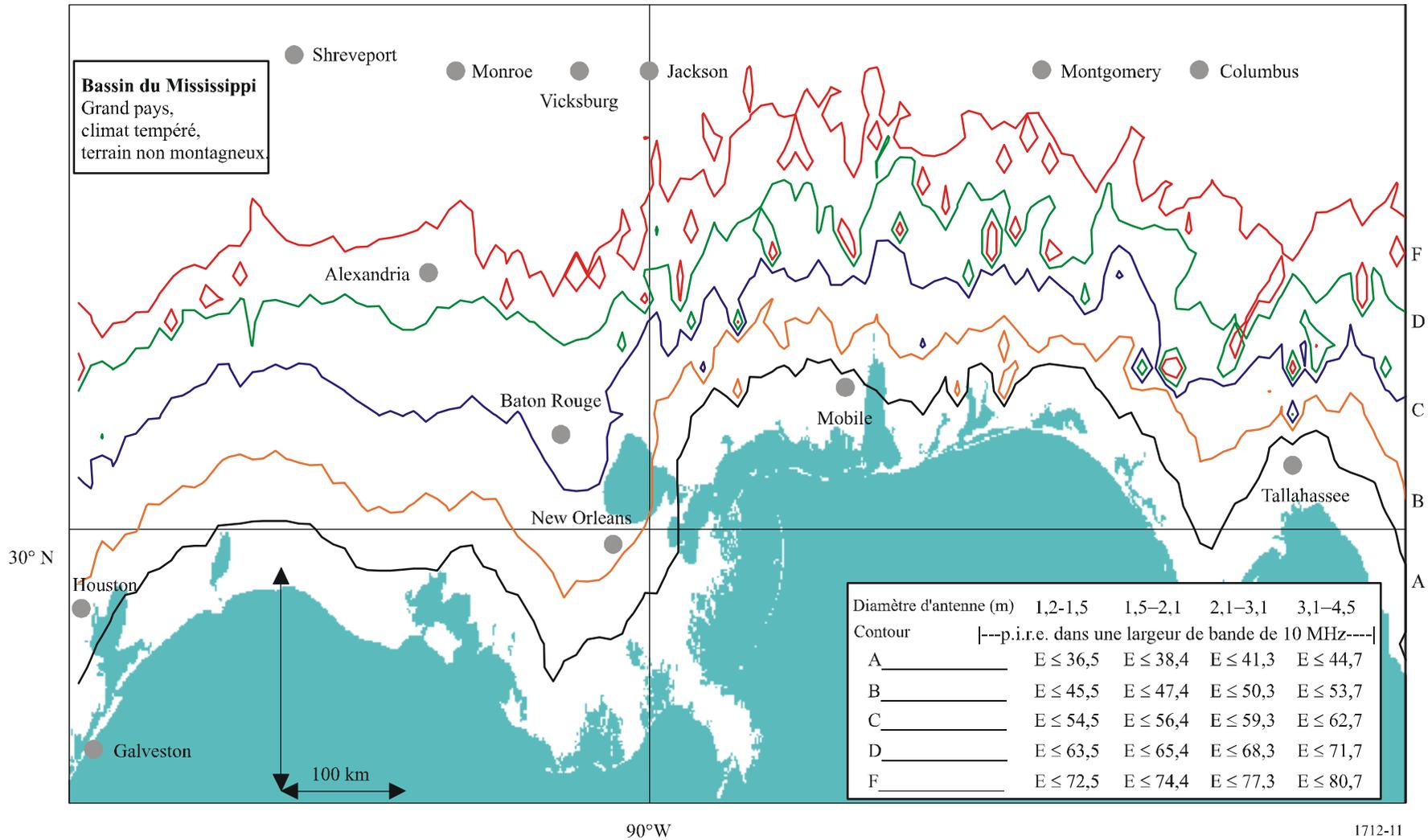


FIGURE 12

Contours au-delà desquels des stations terriennes sans effet d'écran respecteraient une limite de puissance surfacique de $-115 \text{ dBW}/(\text{m}^2 \cdot 10 \text{ MHz})$ au niveau de la côte, pendant 99% du temps

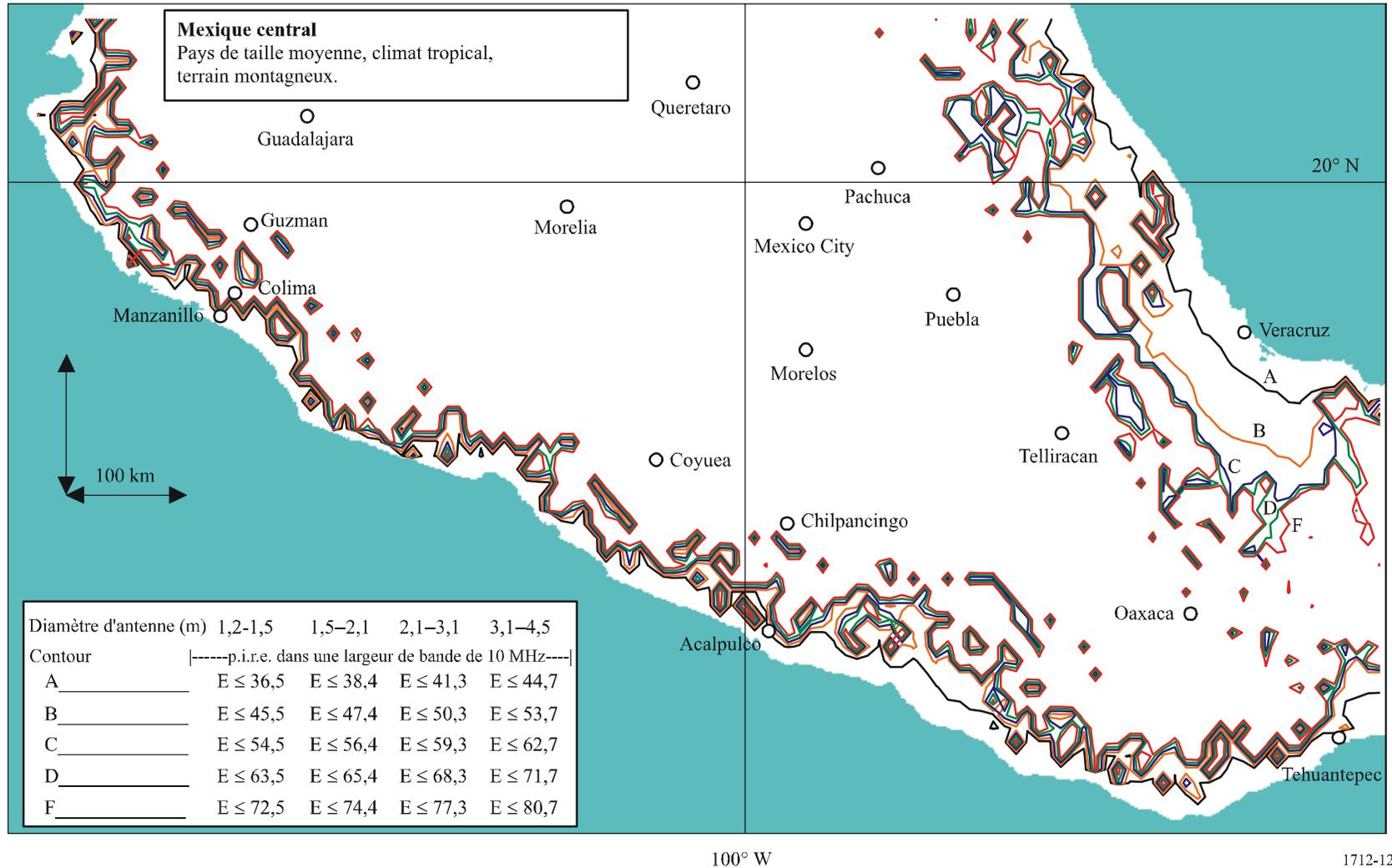
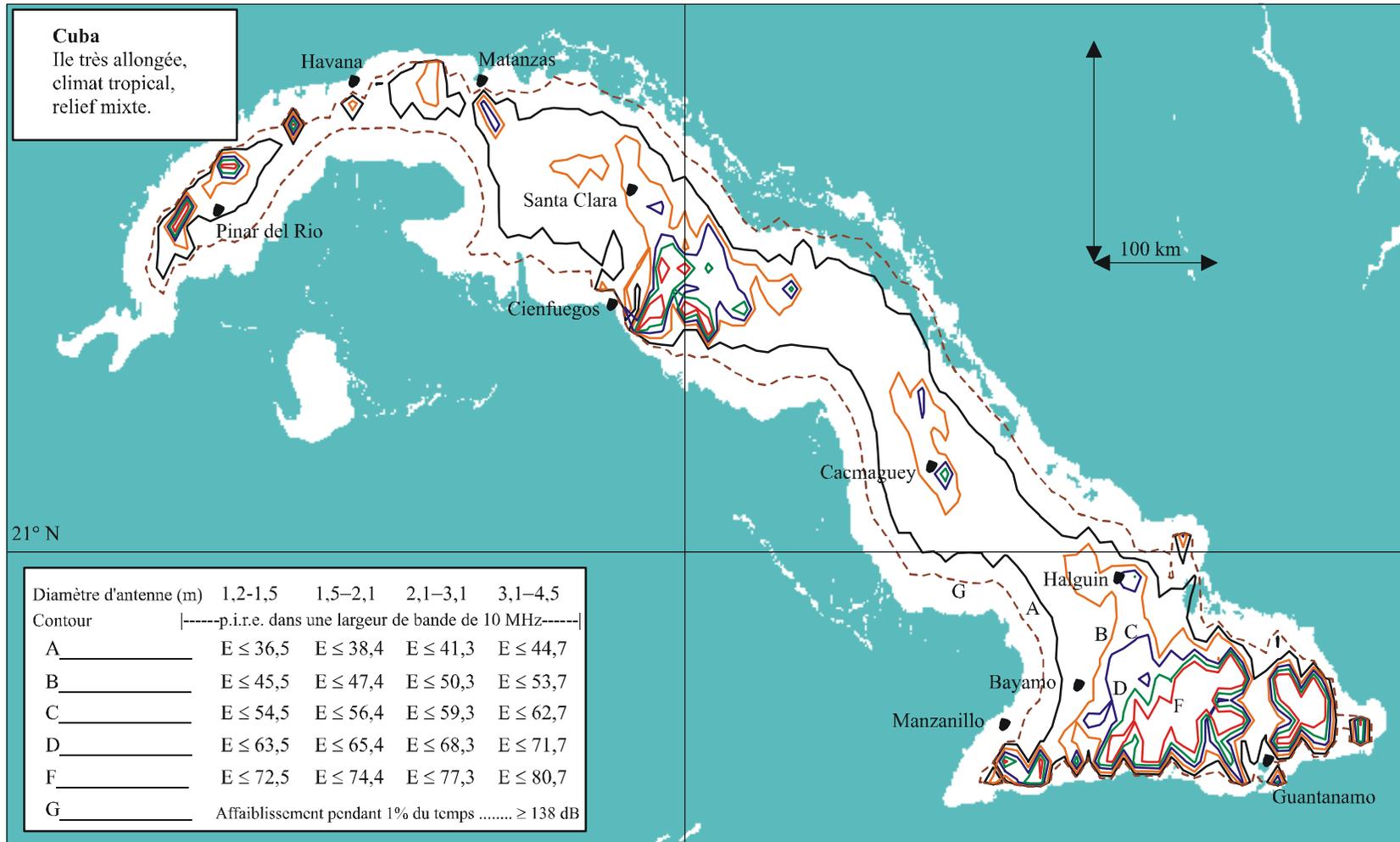


FIGURE 13

Contours au-delà desquels des stations terriennes sans effet d'écran respecteraient une limite de puissance surfacique de $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$ au niveau de la côte, pendant 99% du temps



Annexe 3

Méthode 3 – Méthode permettant de vérifier qu'une station terrienne du SFS respecte les limites de puissance surfacique indiquées dans le numéro 5.502 du RR sur la base d'une analyse tenant compte de la spécificité du site

1 Généralités

Cette méthode est fondée sur l'analyse des caractéristiques du site de chaque station terrienne du SFS que l'on entend déployer. L'implantation peut avoir lieu si l'analyse fait apparaître que la station peut respecter les limites de puissance surfacique indiquées dans le numéro 5.502 du RR. Pour cette analyse, on utilise une base de données topographiques numérique et on tient compte des paramètres de la station terrienne du SFS, des modèles de propagation appropriés et de tout autre affaiblissement dû à un effet d'écran naturel ou artificiel. La Méthode 3 ne devrait être utilisée que si l'on ne peut établir à l'aide de la Méthode 1 ou 2 que le site de déploiement potentiel respecte les limites de puissance surfacique.

2 La Méthode 3 se présente comme suit

Etape 1: On a besoin de données topographiques numériques couvrant le site de la station terrienne et la zone environnante. Ces données devraient porter sur une zone suffisamment étendue pour que l'analyse de puissance surfacique soit plausible. Il est recommandé que la résolution horizontale des données topographiques numériques soit d'au moins 30 s d'arc et la résolution verticale de 1 m (par exemple, GTOPO30 ou GLOBE). Si les administrations concernées disposent d'un modèle présentant une meilleure résolution, elles sont encouragées à l'utiliser.

Etape 2: On aura besoin, pour l'analyse, des paramètres de la station terrienne du SFS que l'on entend déployer. Ce sont notamment le diamètre de l'antenne, la hauteur au-dessus du sol, la densité spectrale de la porteuse et la ou les assignations au satellite OSG. Le diagramme de rayonnement de station terrienne de référence approprié pour cette méthode pourrait être celui fourni par l'opérateur de la station terrienne ou celui qui se trouve dans les Recommandations UIT-R pertinentes. A noter que si l'on envisage que l'antenne de la station terrienne ait des directions de pointage très différentes soit parce que d'autres fréquences pourront être attribuées à la station ultérieurement, soit parce qu'on aura besoin d'un autre satellite OSG pendant le déploiement initial, l'analyse de site devra être effectuée pour chacune de ces directions de pointage.

Etape 3: Comme avec les deux premières méthodes, le modèle de propagation le mieux adapté pour une analyse de site est celui figurant dans la Recommandation UIT-R P.452-11.

Etape 4: Les paramètres de la station terrienne du SFS, les données topographiques numériques et les modèles de propagation permettent de calculer l'affaiblissement sur le trajet dans toutes les directions autour du site potentiel. On obtient ainsi la puissance surfacique rayonnée par la station à la laisse de basse mer ou à la frontière terrestre d'un pays voisin. Si les limites de puissance surfacique indiquées dans le numéro 5.502 du RR sont respectées, la station terrienne peut être déployée. Sinon, il faudra éventuellement recourir à d'autres techniques de limitation des brouillages. Il convient de noter que, sur certains sites, en particulier ceux en visibilité directe de la laisse de basse de mer ou de la frontière terrestre, le déploiement peut être difficile. Un affaiblissement supplémentaire obtenu par un effet d'écran du terrain naturel ou artificiel pourra être utilisé. Pour déterminer de façon précise le niveau de l'affaiblissement dû à l'effet d'écran du terrain, il faudra procéder à d'autres études et faire une analyse en utilisant les modèles susmentionnés.

Etape 5: Une étude de site permettant de mesurer le profil de l'horizon autour de la station terrienne à partir duquel il sera possible de calculer l'affaiblissement effectif dû à l'effet d'écran du terrain local et de l'utiliser dans les calculs pour déterminer la puissance surfacique rayonnée par la station à la laisse de basse mer ou à la frontière terrestre du pays.

Annexe 4

Autres considérations pour les pays dont le territoire est petit ou étroit à prendre en compte pour respecter les critères du numéro 5.502 du RR et/ou à prendre comme base d'établissement d'accords bilatéraux autorisant un dépassement des limites du numéro 5.502 du RR

1 Généralités

Les contours tracés selon les Méthodes 1 ou 2 (Annexes 1 ou 2) peuvent exclure la plus grande partie d'un pays dont le territoire est petit ou étroit.

La Résolution 144 (CMR-03) dispose que les administrations des pays dont le territoire est petit ou étroit pourront dépasser les limites de puissance surfacique des stations terriennes du SFS à la laisse de basse mer fixées au numéro 5.502 du RR si l'exploitation de ces stations est conforme aux accords bilatéraux conclus avec les administrations qui mettent en place des systèmes de radiolocalisation maritime dans la bande 13,75-14 GHz.

Les paragraphes suivants présentent les mesures que toutes les administrations peuvent prendre pour faciliter le respect des exigences fixées dans le numéro 5.502 du RR. Ces mêmes réflexions pourraient être prises en considération lors des discussions bilatérales concernant les pays dont le territoire est petit ou étroit. Etant donné que les conditions varient beaucoup d'un pays à un autre, aucune tentative de généralisation n'est faite ici. Il est souhaitable d'examiner les avantages dans chaque cas pour décider des possibilités qui peuvent être retenues et voir dans quelle mesure elles sont applicables.

2 Limiter l'exploitation des porteuses à faible ou moyenne p.i.r.e. à la bande 13,75-14 GHz

Le Tableau 4 peut être utilisé pour déterminer la réduction de la valeur maximale de p.i.r.e. que l'on peut obtenir si l'on restreint le nombre de porteuses exploitées dans la bande des 14 GHz par rapport au nombre de celles actuellement exploitées dans la bande 14-14,5 GHz. Pour ce faire, en se fondant sur les données disponibles, on a calculé des distributions cumulatives donnant le pourcentage de stations terriennes en fonction de la p.i.r.e. dans une largeur de bande de 10 MHz, pour chacune des quatre fourchettes de diamètres d'antenne. Ainsi, par exemple, en renonçant à la possibilité de déployer les 20% de stations terriennes ayant un diamètre d'antenne compris entre 1,2 m et 1,5 m susceptibles de rayonner des niveaux de p.i.r.e. dont les valeurs seraient situées à l'extrémité supérieure de la fourchette, on pourrait exploiter toutes les autres stations terriennes jusqu'à un contour inférieur de 9 dB à l'affaiblissement minimal sur le trajet jusqu'à la frontière, sans dépasser la limite de puissance surfacique en un point quelconque sur la frontière.

TABLEAU 4

Réduction de la valeur maximale de p.i.r.e. (dans une largeur de bande de 10 MHz) – restriction du nombre de porteuses

Fourchette de valeurs du diamètre d'antenne	Réduction du nombre de porteuses			
	100% à 80%	80% à 60%	60% à 40%	40% à 20%
$1,2 \text{ m} \leq D < 1,5 \text{ m}$	$55 - 46 = 9 \text{ dB}$	$46 - 42 = 4 \text{ dB}$	$42 - 39 = 3 \text{ dB}$	$39 - (-2) = 41 \text{ dB}$
$1,5 \text{ m} \leq D < 2,1 \text{ m}$	$70 - 49 = 21 \text{ dB}$	$49 - 47 = 2 \text{ dB}$	$47 - 47 = 0 \text{ dB}$	$47 - 43 = 4 \text{ dB}$
$2,1 \text{ m} \leq D < 3,1 \text{ m}$	$85 - 61 = 24 \text{ dB}$	$61 - 52 = 9 \text{ dB}$	$52 - 52 = 0 \text{ dB}$	$52 - 52 = 0 \text{ dB}$
$3,1 \text{ m} \leq D < 4,5 \text{ m}$	$95 - 71 = 24 \text{ dB}$	$71 - 63 = 8 \text{ dB}$	$63 - 56 = 7 \text{ dB}$	$56 - 47 = 9 \text{ dB}$

Si l'on peut accepter une réduction donnée du nombre de stations terriennes pour telle ou telle fourchette de diamètres d'antenne, stations qui sinon pourraient être exploitées entre 13,75 et 14 GHz, on pourrait ainsi déterminer la réduction correspondante de la valeur maximale de p.i.r.e. et calculer le contour correspondant, comme indiqué dans l'Annexe 2. Ce contour couvrirait une plus grande partie du territoire du petit pays concerné que si la restriction n'avait pas été acceptée.

3 Application de l'effet d'écran du terrain local aux stations terriennes

Il est possible de réduire le brouillage maximal produit à la laisse de basse mer ou à la frontière terrestre d'un pays voisin par une station terrienne déployée sur le territoire d'un pays en ajoutant un affaiblissement par effet d'écran au site de cette station. Pour ce faire, on peut placer l'antenne derrière un bâtiment ou un autre obstacle, dans la direction du point le plus proche auquel la puissance surfacique doit être respectée, ou ajouter un écran absorbant. Etant donné que l'applicabilité et/ou l'efficacité de ces mesures dépendent des circonstances, on ne peut que procéder à une évaluation au cas par cas. Il est vrai que le fait de placer un écran devant une antenne réduira le brouillage en direction de l'horizon, mais cet avantage peut être annulé par l'augmentation de l'intensité du signal due aux réflexions sur les bâtiments ou à la présence d'autres objets au voisinage de l'antenne. Par ailleurs, il est difficile d'avoir un effet d'écran intéressant si l'angle d'élévation de l'antenne est relativement faible et si la partie la plus proche de la frontière est située dans la direction de l'Equateur. Autre facteur, le coût lié à l'installation d'un écran artificiel derrière un bâtiment ou à l'adjonction d'un tel écran qui peut faire augmenter sensiblement le coût d'une station à petite antenne parabolique.

L'UIT-R a revu les valeurs des affaiblissements par effet d'écran ou par «signaux parasites» qui avaient été calculées avec les algorithmes empiriques donnés dans les Recommandations UIT-R P.452 et UIT-R P.526, et les a comparées aux résultats des mesures dont le Royaume-Uni a fait état en 1995. Il a conclu provisoirement que, dans les cas où cela est possible, l'affaiblissement obtenu par effet d'écran se situerait généralement entre 5 dB et 20 dB, selon les circonstances, et ne dépasserait pas vraisemblablement 25 dB. D'autres études sont nécessaires pour confirmer cette conclusion et examiner plus avant les possibilités offertes par l'effet d'écran du terrain.

Une fois évalué l'affaiblissement obtenu par effet d'écran (A (dB)) sur un site particulier et après avoir utilisé la méthode de l'Annexe 2 pour calculer l'importance et la direction de l'affaiblissement minimal, (L) jusqu'à la frontière, on peut utiliser l'équation (2) de l'Annexe 2 qui a été reformulée et comprend A pour déterminer la valeur maximale de p.i.r.e. dans une largeur de bande de 10 MHz qu'une station terrienne pourrait rayonner sur le site sans dépasser la limite de puissance surfacique indiquée dans le numéro 5.502 du RR, c'est-à-dire:

$$E = L + A + (G_m - G(\varphi)) - 159,29 \text{ dBW.}$$

4 Choix du diamètre d'antenne de la station terrienne

Si l'affaiblissement dans la direction du trajet présentant le plus faible affaiblissement jusqu'à la laisse de basse mer ou la frontière terrestre d'un pays voisin est insuffisant mais tout juste pour qu'une station terrienne en projet puisse respecter les limites de puissance surfacique, une possibilité pourrait être d'utiliser une antenne ayant un diamètre à peine plus grand que celui qui serait, autrement, nécessaire. La puissance de l'émetteur pourrait ainsi être réduite d'une quantité égale à la différence de gain d'antenne et la p.i.r.e. hors axe serait alors réduite de la même quantité. Etant donné que le gain d'antenne est proportionnel au carré du diamètre, D , le Tableau 5 indique certaines modifications apportées à D pour compenser les éventuels dépassements des limites de puissance surfacique pour la gamme de valeurs considérée.

TABLEAU 5

Augmentation du diamètre d'antenne pour compenser la baisse de l'affaiblissement

Dépassement de la puissance surfacique à compenser	1 dB				2 dB				3 dB				4 dB			
	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1
Diamètre de l'antenne de base (m)	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1
Diamètre de l'antenne de remplacement (m)	1,35	1,68	2,02	2,36	1,51	1,89	2,27	2,64	1,70	2,12	2,54	2,97	1,90	2,38	2,85	3,33

5 Recherche d'accords bilatéraux autorisant un dépassement de la limite de puissance surfacique

Etant donné que, dans le cas d'un petit pays, la longueur de la frontière à proximité de laquelle des stations radar déployées sur le territoire de pays voisins ou en mer risquent d'être brouillées par des stations terriennes du SFS situées dans ce pays, est, elle aussi, petite, l'incidence globale sur le service de radiolocalisation peut de ce fait être faible. Il est donc possible pour un petit pays d'en venir à autoriser l'exploitation de stations dans la bande 13,75-14 GHz dans cette zone lorsque le dépassement maximal de la limite de puissance surfacique est spécifié, par exemple 5 dB ou 10 dB.

Théoriquement, il semblerait possible de parvenir à un accord autorisant un assouplissement de la partie pourcentage de temps de cette limite, et non le niveau de puissance surfacique – par exemple autoriser un dépassement de la limite de $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ pendant 5% du temps et non pendant 1%. Toutefois, les études de l'UIT-R ont fait apparaître que, du moins dans le cas d'un terrain ni plat ni montagneux, dans un climat tempéré, les contours correspondant à une série de niveaux spécifiques d'affaiblissement sur le trajet varient très peu si le pourcentage de temps augmente et se situe au-dessus d'environ 0,5% (même s'ils ont tendance à se dégrader du point de vue du SFS si le pourcentage de temps se situe au-dessous de ce chiffre). Il semble donc que dans la pratique, même si l'on peut envisager de légères augmentations du niveau de puissance surfacique, l'augmentation du pourcentage de temps n'est pas vraisemblablement une idée à poursuivre dans les discussions bilatérales.

6 Recherche d'accords bilatéraux pour renoncer à l'application de la limite de puissance surfacique dans une certaine partie de la bande

Si les signaux de certains radars mobiles exploités dans la bande 13,75-14 GHz occupent des largeurs de bande bien inférieures à 250 MHz, il est possible pour un petit pays de limiter l'exploitation du SFS à une partie de la bande et pour une autre administration d'utiliser uniquement le reste de la bande pour ses stations radar mobiles lorsque ces stations sont déployées à proximité de ce petit pays. Cela constituerait une segmentation limitée de la bande.

Une analyse statistique des données disponibles a permis de constater que la majorité des stations terriennes avec un diamètre d'antenne compris entre 1,2 et 4,5 m qui sont exploitées dans la bande des 14 GHz émettent des porteuses uniques ayant des largeurs de bande de moins de 10 MHz, et que très peu d'opérateurs utilisent des porteuses ayant des largeurs de bande de plus de 36 MHz. Le critère utilisé par la Commission d'études 8 des radiocommunications pour assurer la protection des stations radar exploitées dans la bande des 14 GHz est un rapport I/N de -6 dB dans une largeur de bande de 10 MHz, ce qui donne à penser que les largeurs de bande des signaux radar types dans la bande 13,75-14 GHz sont de l'ordre de 10 MHz. Il apparaît donc qu'on peut avoir intérêt à conclure des accords bilatéraux basés sur une segmentation de la bande même si cette technique pourrait être considérée comme une solution de dernier recours étant donné qu'elle réduirait la quantité de spectre disponible pour les deux services, quoique uniquement dans de petits pays et autour de ceux-ci. Il faut toutefois tenir compte du numéro 5.503 du RR lors de l'examen des possibilités de segmentation de la bande.
