

RECOMMANDATION UIT-R RS.1259*

**POSSIBILITÉ DE PARTAGE DES FRÉQUENCES ALLANT DE 50 À 60 GHz ENTRE
LES DÉTECTEURS** PASSIFS ET LES SYSTÈMES DU SERVICE FIXE**

(Question UIT-R 216/7)

(1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que les seules bandes de l'oxygène atmosphérique qui permettent une surveillance «tout temps» de l'atmosphère de la Terre sont comprises entre 50 et 65 GHz;
- b) qu'il est essentiel d'effectuer des mesures de température à différentes altitudes dans l'atmosphère avec des détecteurs spatiaux passifs pour établir des prévisions météorologiques et faire des études climatologiques (telle la «modification mondiale»);
- c) qu'un petit nombre d'événements de brouillage non détectés peut avoir un effet très défavorable sur la prévision numérique du temps;
- d) qu'on ne peut obtenir des mesures de précision suffisante que dans des sous-bandes de fréquences précises, comprises entre environ 50 et 60 GHz, d'après les propriétés physiques du spectre de l'oxygène;
- e) que le point 1.9.4.3 de l'ordre du jour de la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1997) (CMR-97) concerne les attributions de fréquences existantes au voisinage de 60 GHz et, si nécessaire, leur réattribution afin de protéger les systèmes du service d'exploration de la Terre par satellite (passive);
- f) qu'au voisinage de 55 GHz, les «sondages» de température sont fortement sensibles au brouillage causé par les sources de Terre;
- g) que les bandes de fréquences 50,2-50,4 GHz et 54,25-58,2 GHz sont utilisées en partage à titre coprimaire par les détecteurs spatiaux passifs et par les systèmes du service fixe;
- h) que les fréquences préférées et les largeurs de bande nécessaires en télédétection passive par satellite figurent dans la Recommandation UIT-R RS.515;
- j) que des études détaillées sur le partage des fréquences, résumées à l'Annexe 1, ont été effectuées;
- k) qu'il serait nécessaire d'établir des limites pour le fonctionnement des liaisons du service fixe dans la bande 55,2-55,78 GHz, comme on le détaille à l'Annexe 1;
- l) qu'en raison de la sensibilité importante au brouillage des sondages passifs de température, il serait essentiel qu'on respecte scrupuleusement ces limites à l'échelle mondiale afin de protéger convenablement les détecteurs passifs;
- m) qu'il ne serait pas possible dans la pratique d'appliquer strictement ces limites à l'échelle mondiale,

recommande

1 de rendre possible le partage des fréquences allant de 55,78 à 60 GHz entre les détecteurs spatiaux actifs et les systèmes des services fixes;

2 de ne pas faire partager aux détecteurs spatiaux passifs et aux systèmes du service fixe les fréquences comprises entre 50 et 55,78 GHz et, dans cet intervalle, de ne pas faire fonctionner ces dispositifs dans la même bande de fréquences.

* La Commission d'études 7 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à cette Recommandation.

** Dans la présente Recommandation, les «détecteurs spatiaux passifs» comprennent les systèmes de télédétection par satellite fonctionnant dans les services d'exploration (passive) de la Terre par satellite et de recherche spatiale (passive), puisque les caractéristiques de ces deux services sont presque identiques dans les bandes de fréquences considérées.

Partage des fréquences allant de 50,2 à 58,2 GHz entre les systèmes du service fixe et les systèmes de télédétection passive

1 Introduction

Il a été attribué, au service fixe et aux services d'exploration de la Terre par satellite passive et de recherche spatiale (à détecteurs passifs), des fréquences à titre coprimaire dans les bandes 50,2-50,4 GHz et 54,25-58,2 GHz. Le but de la présente Annexe vise à déterminer si ces attributions sont appropriées et, le cas échéant, à établir des limites applicables au service fixe pour assurer une protection efficace des systèmes de télédétection passive.

L'absorption de l'oxygène varie considérablement dans les bandes de fréquences considérées, en raison de la présence de nombreuses raies d'absorption de cet élément au voisinage de 60 GHz. Le niveau d'absorption utilisé dans les études sur le partage des fréquences a été calculé à partir de la Recommandation UIT-R P.676. On montrera plus loin que le niveau d'absorption a une grande influence sur la possibilité de partage. La Fig. 1 montre l'absorption zénithale totale sur un trajet Terre-espace. Plus l'altitude augmente par rapport au niveau de la mer, plus l'absorption diminue. Les émetteurs des liaisons du service fixe pourraient fonctionner à différentes altitudes. Dans le cadre de la présente Annexe, on suppose prudemment qu'ils sont situés à 1 000 m au dessus du niveau de la mer.

Aux fréquences relativement élevées qui nous intéressent ici, les effets de propagation indirecte peuvent être importants. Dans les études, on a considéré comme mécanisme de propagation indirecte le plus défavorable une réflexion sur le toit d'un bâtiment.

2 Liaisons du service fixe

Dans certains pays, les liaisons du service fixe fonctionnent dans les bandes 50,2-50,4 GHz et 57,2-58,2 GHz. La puissance maximale que les émetteurs peuvent atteindre actuellement est d'environ -17 dBW. Les paramètres de partage des fréquences du service fixe sont obtenus à partir des caractéristiques actuelles des émetteurs. Pour prendre en compte les futurs progrès de la technologie des hyperfréquences, on a supposé que la puissance des émetteurs serait plus élevée que celle qui est actuellement atteinte. Dans l'analyse de partage initiale, on a utilisé les paramètres donnés dans le Tableau 1 pour les liaisons du service fixe.

TABLEAU 1

Paramètres de partage des fréquences du service fixe

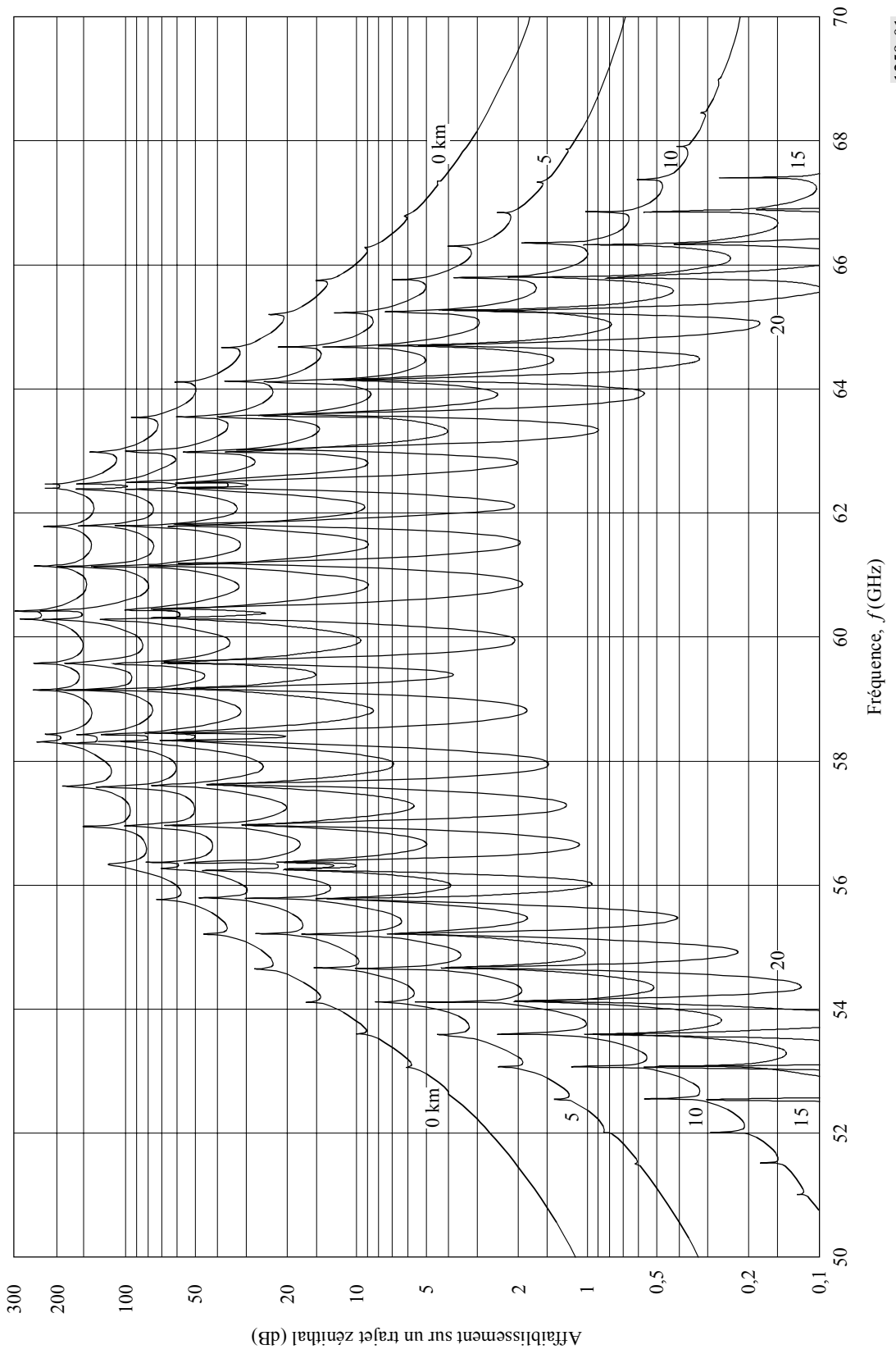
Puissance des émetteurs (dBW)	-10
Largeur de bande minimale (MHz)	14
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation (dB)	0
Gain d'antenne (dBi):	
- dans la ligne de visée	41
- à 90° par rapport à la ligne de visée	-10
Angle d'élévation de l'antenne (degrés)	0
Altitude de l'antenne (par rapport au niveau de la mer) (m)	1 000

3 Détecteurs passifs

3.1 Systèmes actuels et futurs

Actuellement, un certain nombre de sociétés conçoivent ou exploitent des détecteurs passifs qui fonctionnent au voisinage de 55 GHz. Ces détecteurs disposent d'un système de balayage mécanique. Les prochains détecteurs passifs, qu'il n'est pas envisagé d'utiliser avant 2005, seront équipés de systèmes de balayage en peigne, ce qui améliorera les résolutions radiométrique et spatiale.

FIGURE 1
Absorption de l'oxygène sur un trajet zénithal pour quelques altitudes de départ



3.2 Paramètres de partage des fréquences

Les systèmes à balayage en peigne seront plus sensibles au brouillage que les systèmes mécaniques utilisés dans les détecteurs actuels. On a donc considéré dans cette étude un détecteur en peigne idéal, dont les paramètres sont donnés dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Paramètres de partage des fréquences du détecteur passif

Diamètre d'antenne (cm)	45
Ouverture du faisceau à -3 dB (degrés)	1,1
Limites de balayage (degrés)	±50 (battements latéraux)
Gain d'antenne (dBi)	45
Résolution radiométrique (K)	0,1
Largeur de la zone explorée (km)	2 300
Taille de cellule (au nadir) (km)	16 de diamètre
Nombre de cellules/ligne	90
Altitude de l'orbite (circulaire) (km)	850
Inclinaison de l'orbite (héliosynchrone) (degrés)	98,8

3.3 Critère de brouillage

La Recommandation UIT-R RS.1029 décrit les critères de brouillage des systèmes de télédétection passive par satellite. Pour les détecteurs en peigne fonctionnant dans la bande 50-66 GHz, le niveau de brouillage permis est égal à -166 dBW dans une largeur de bande de référence de 100 MHz. En raison de l'effet important du brouillage pour les utilisateurs des données obtenues dans ces bandes, les études de partage des fréquences ci-dessous reposent sur le non-dépassement des limites dans les cellules de mesure.

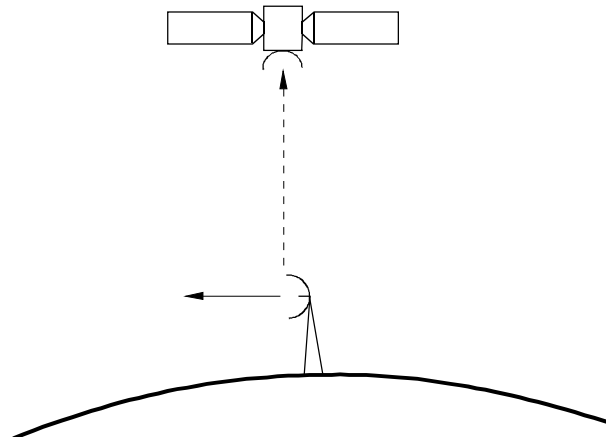
4 Étude du partage des fréquences

4.1 Étude préliminaire

Si l'on suppose que les liaisons du service fixe fonctionnent avec un angle d'élévation d'antenne d'environ 0°, le trajet direct le plus défavorable au point de vue du brouillage est le trajet zénithal allant de la liaison du service fixe au satellite, comme le montre la Fig. 2.

FIGURE 2

Trajet direct le plus défavorable au point de vue du brouillage



L'absorption de l'oxygène sur le trajet zénithal, à partir d'une altitude initiale de 1 000 m, varie entre 1,3 dB à 50,2 GHz et plus de 100 dB à 58,2 GHz. Les bandes considérées dans la présente Recommandation sont divisées en «sous-bandes» (comme le montre le Tableau 3), définies par les limites des bandes de fréquences partagées et par les pics d'absorption zénithale. Dans chaque sous-bande, l'absorption atmosphérique minimale sert à déterminer la puissance maximale rayonnée verticalement à partir de la Terre, et donc le nombre maximal de brouilleurs cocanal.

TABLEAU 3

Nombre maximum d'émetteurs dans le même canal

Sous-bande N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Bande de fréquences (GHz)	50,2-50,4	54,25-54,67	54,67-55,22	55,22-55,78	55,78-56,26	56,26-56,36	56,36-56,96	56,96-57,20
Puissance maximale d'émetteur de liaison du service fixe (dBW)	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
Gain (zénith) d'antenne de liaison du service fixe (dBi)	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
p.i.r.e. zénithale maximale de liaison du service fixe (dBW)	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
Fréquence d'absorption minimale (GHz)	50,2	54,25	54,74	55,31	55,89	56,29	56,57	57,19
Altitude du satellite (km)	850	850	850	850	850	850	850	850
Affaiblissement en espace libre (dB)	185,0	185,7	185,8	185,9	186,0	186,0	186,1	186,2
Absorption de l'oxygène à partir de 1 000 m (dB)	1,3	12,8	20,3	32,2	50,5	79,3	71,1	86
Gain d'antenne du détecteur (dBi)	45	45	45	45	45	45	45	45
Largeur de bande des canaux de détecteur (MHz)	15	15	15	15	15	15	15	15
Seuil de brouillage à 100 MHz	-166,0	-166,0	-166,0	-166,0	-166,0	-166,0	-166,0	-166,0
Densité de puissance correspondant au seuil de brouillage (dB(W/15 MHz))	-174,2	-174,2	-174,2	-174,2	-174,2	-174,2	-174,2	-174,2
p.i.r.e. maximale à partir du sol (dB(W/15 MHz/cellule))	-32,9	-20,7	-13,1	-1,2	17,2	46,1	37,9	52,9
p.i.r.e. verticale émise par les liaisons du service fixe (dB(W/15 MHz))	-19,7	-19,7	-19,7	-19,7	-19,7	-19,7	-19,7	-19,7
Marge (dB)	-13,2	-1,0	6,6	18,5	36,9	65,8	57,6	72,6
Nombre maximal de liaisons du service fixe par canal de détecteur et par cellule	0	0	4	71	4 940	3 801 943	581 186	18 356 222

Pour déterminer s'il est possible de partager les fréquences, on doit calculer, par la méthode de vraisemblance, le nombre d'émetteurs dans le même canal, situés dans une cellule de 16 km de diamètre et émettant dans une bande de 15 MHz de large, dont les valeurs dépasseront celles qui sont données dans le Tableau 3:

- sous-bandes 1 et 2: un seul émetteur pourrait causer un niveau de brouillage élevé; le partage semble alors impossible;
- sous-bande 3: l'utilisation d'un faible nombre d'émetteurs provoquerait un dépassement du seuil; le partage semble donc impossible;
- sous-bande 4: un nombre raisonnable de liaisons du service fixe pourrait fonctionner, surtout si on utilise de faibles puissances d'émission;
- sous-bandes 5 à 8: un très grand nombre de liaisons du service fixe peut fonctionner; le partage semble donc possible.

Pour déterminer de façon plus précise si le partage est possible dans la bande 55,22-55,78 GHz, on présente une étude plus détaillée dans le § 4.2.

4.2 Étude détaillée du partage des fréquences dans la bande 55,2-55,78 GHz

Le présent paragraphe donne des indications détaillées sur la puissance des émetteurs des liaisons du service fixe, la densité maximale de liaisons, les effets de propagation indirecte et l'effet de l'angle d'élévation de l'antenne de liaison au-dessus de 0°.

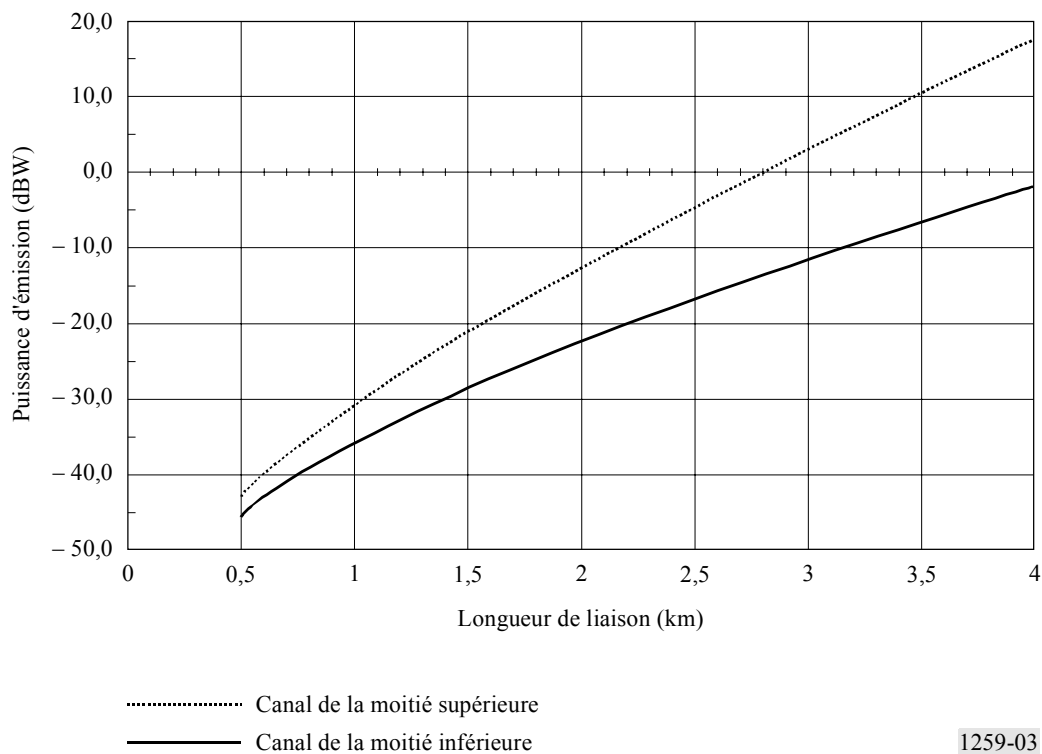
On peut considérer que la bande est celle de 55,20-55,78 GHz puisque le minimum d'absorption zénithale est le même que pour la bande 55,22-55,78 GHz.

4.2.1 Puissance maximale des liaisons du service fixe

Le plan des canaux des liaisons du service fixe, donné dans la Recommandation UIT-R F.1100, couvre la bande 54,25-57,2 GHz. On a donc utilisé un plan théorique révisé, composé d'une bande de fréquences allant de 55,2 à 57,2 GHz, d'une bande de garde inférieure de 68,5 MHz et d'un intervalle central de 70 MHz, l'espacement duplex étant égal à 966 MHz.

Les bandes utilisées par les liaisons sont disposées en deux moitiés, de façon qu'un canal «aller» de la moitié inférieure soit toujours associé à un canal «retour» de la moitié supérieure. Les calculs faits sur l'ensemble des liaisons à partir des paramètres types des équipements montrent que si l'on a un niveau de puissance de -10 dBW, la longueur maximale des liaisons est limitée à environ 2 km en raison du niveau d'affaiblissement élevé dans la moitié supérieure de la bande. La puissance d'émission nécessaire pour couvrir cette distance dans la moitié inférieure de la bande est égale à -23,2 dBW (si on autorise un affaiblissement de 3 dB à chaque extrémité de la ligne d'alimentation), en raison de la réduction de l'affaiblissement. La Fig. 3 montre la puissance d'émission nécessaire pour différentes longueurs de liaison.

FIGURE 3
Puissance d'émission en fonction de la longueur des liaisons



1259-03

4.2.2 Densité maximale de liaisons du service fixe

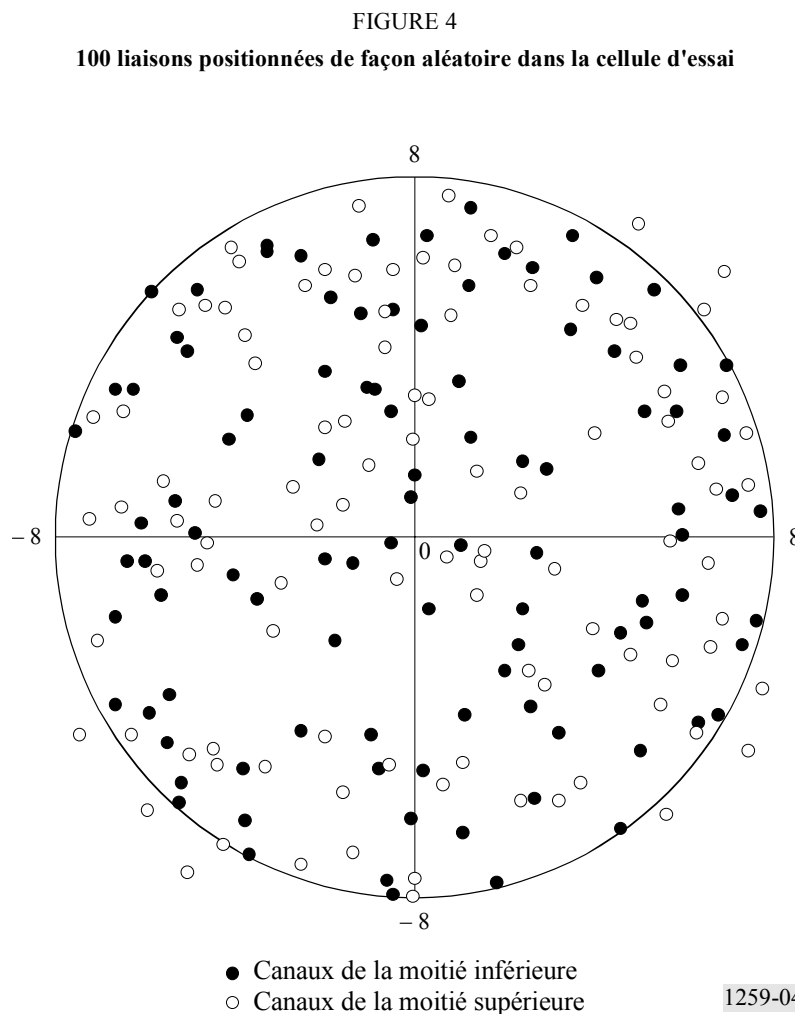
On a fait une simulation pour déterminer le nombre théorique maximal de liaisons du service fixe pouvant être utilisées dans une cellule de 16 km de diamètre. On n'a pris en considération que les critères de brouillage des liaisons voisines (brouillage en direction ou en provenance de ces liaisons). Cette simulation a permis de modéliser la situation dans laquelle les utilisateurs pourraient installer des liaisons sans tenir compte des limites de densité imposées.

4.2.2.1 Méthodologie de simulation

Les positions, longueurs et directions des liaisons ont été choisies de façon aléatoire mais la longueur maximale des liaisons a été fixée à 2 km. Pour la simulation, on a utilisé un modèle de propagation avec affaiblissement en espace libre. Le seuil de brouillage d'un seul brouilleur était égal à -10 dB (rapport I/N).

La simulation a positionné les liaisons dans la cellule d'essai; à chaque positionnement, elle a vérifié le brouillage en direction et en provenance de chaque autre liaison; elle a gardé la nouvelle liaison quand les niveaux de brouillage étaient inférieurs au seuil et a rejeté la liaison quand les niveaux de brouillage étaient supérieurs au seuil. Cette opération s'est poursuivie jusqu'à ce qu'on rejette consécutivement un nombre prédéterminé de liaisons. Une fois ce nombre obtenu, on a considéré que la densité maximale de liaisons dans la cellule avait été atteinte, compte tenu des brouillages interliaisons.

Le nombre de rejets autorisés a été fixé à 20; la simulation a été exécutée plusieurs fois. Dans chaque cas, on a positionné 100 ou 120 liaisons par cellule. La Fig. 4 donne une représentation graphique montrant une exécution de la simulation pour laquelle on a positionné cent liaisons dans la cellule d'essai.



Une bande dans laquelle 20 positionnements sur 21 sont rejetés sera considérée comme pleine. On estime à environ 150 la densité théorique maximale de liaisons bidirectionnelles de ce type dans la cellule. Cette hypothèse est corroborée par l'illustration de la Fig. 4, qui montre qu'on ne dispose plus de beaucoup de place dans la cellule pour positionner d'autres émetteurs dans la bande une fois qu'on en a déjà positionné 100.

En pratique, il serait même difficile d'atteindre cette valeur. Les liaisons sont concentrées autour des villes, où l'on atteint les limites d'encombrement, tandis que d'autres régions sont presque vides. D'autres limites peuvent également empêcher d'atteindre cette valeur théorique:

- liaisons dans le même canal hors cellule,
- liaisons dans des canaux adjacents,
- configuration des nœuds des liaisons.

4.2.2.2 Détermination des limites

On peut considérer comme prudent de fixer à 150 la densité maximale des liaisons dans le même canal. La p.i.r.e. maximale à partir du sol est égale à $-1,2 \text{ dB(W/15 MHz/cellule)}$ (Tableau 3). En divisant ce nombre par 150 et en le rapportant à différentes largeurs de bande, on obtient les limites données dans le Tableau 4.

TABLEAU 4

p.i.r.e. maximale à la verticale

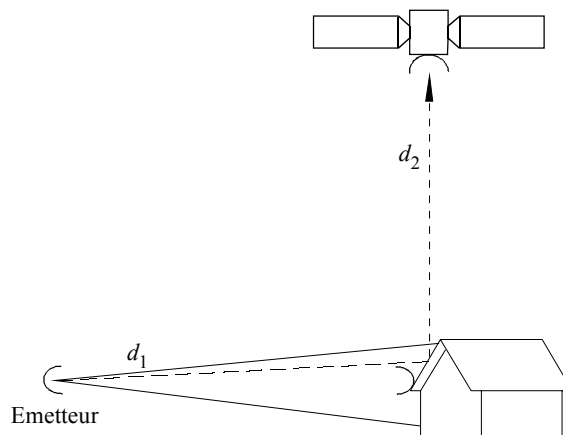
p.i.r.e. maximale vers le zénith	$-23,0 \text{ dB(W/15 MHz)}$
	$-13,3 \text{ dB(W/140 MHz)}$
	$-23,3 \text{ dB(W/14 MHz)}$
	$-34,7 \text{ dB(W/MHz)}$

En appliquant ces limites à chaque émetteur dans la bande 55,2-55,78 GHz, et en gardant en mémoire qu'il est possible de positionner au maximum 150 émetteurs, on peut être sûr de garder le brouillage dû à la propagation directe en dessous du seuil des détecteurs et de faciliter le fonctionnement des liaisons du service fixe.

4.2.3 Effets de propagation indirecte

La Fig. 5 illustre le cas de propagation indirecte le plus défavorable, c'est-à-dire une réflexion sur un toit. On suppose que l'angle d'élévation du toit est égal à 45° et que la normale au toit ainsi que le faisceau incident se trouvent dans un plan vertical. Pour la polarisation verticale, le coefficient de réflexion, σ , relatif à la réflexion spéculaire d'un toit peut atteindre -10 dB . Aux fréquences considérées ici, la région de Fresnel projetée sur un toit aura une largeur type de quelques mètres. On peut donc avoir une réflexion spéculaire dont le coefficient de réflexion est égal à -10 dB à partir d'un faisceau de liaison du service fixe. On suppose que la réflexion de Fresnel est totale et que le faisceau incident est réfléchi verticalement et reçu par l'ouverture du système de télédétection par satellite.

FIGURE 5
Réflexion sur un toit



L'effet de telles réflexions pourrait être plus important que celui qui est causé par le brouillage dû à la propagation directe, décrit précédemment. Toutefois, la probabilité de tels alignements de faisceaux est sans doute faible.

A la fréquence de 55,22 GHz, l'affaiblissement linéique au niveau de la mer est égal à 4,5 dB/km. Pour les petites valeurs de d_1 , il est possible d'ignorer l'absorption et l'affaiblissement géométrique sur le trajet d_1 .

La p.i.r.e. maximale est alors donnée par:

$$p.i.r.e.max = I_{th} - \sigma + 20 \log \left[\frac{4\pi d_2}{\lambda} \right] + \gamma_2 - G_s \tag{1}$$

où:

I_{th} : seuil de brouillage
 = -116 dB(W/100 MHz)

γ_2 : absorption gazeuse minimale
 = 32,2 dB (à 1 000 m d'altitude)

G_s : gain de l'antenne du système de télédétection
 = 45 dBi.

En rapportant ce résultat à différentes largeurs de bande, on obtient les limites de p.i.r.e. données dans le Tableau 5.

TABLEAU 5
p.i.r.e. maximale d'une liaison du service fixe

p.i.r.e. maximale	8,8 dB(W/15 MHz)
	18,5 dB(W/140 MHz)
	8,5 dB(W/14 MHz)
	-2,9 dB(W/MHz)

En gardant à l'esprit que de telles configurations de faisceaux ont de faibles probabilités d'exister, on peut être sûr qu'en appliquant ces limites à chaque émetteur du service fixe, le détecteur passif ne sera pas perturbé par des brouillages inacceptables dus à des mécanismes de propagation indirecte. Avec ces limites, les longueurs des liaisons pourront aller au maximum jusqu'à environ 1,5 km.

4.2.4 Effet de l'angle d'élévation de l'antenne d'une liaison du service fixe

Les systèmes de télédétection balayent latéralement des secteurs de l'espace (angle de balayage compris entre $\pm 50^\circ$) à partir du nadir. Aux limites de la région de balayage, le faisceau arrive sur la surface de la Terre avec un angle d'élévation de 30° . L'absorption et l'affaiblissement étant plus importants sur le trajet incliné, le niveau de brouillage sur ce trajet est normalement plus faible que sur le trajet vers le zénith ou vers le nadir. Si toutefois une antenne de liaison se trouvait à un angle élevé, le brouillage sur le trajet incliné pourrait être supérieur à celui sur le trajet vers le zénith ou vers le nadir.

On peut déterminer l'angle d'élévation pour lequel le brouillage sur le trajet b) est supérieur à celui sur le trajet a); ces trajets sont illustrés sur la Fig. 6.

Soit une liaison à 1 000 m d'altitude, transmettant à une fréquence de 55,22 GHz. Pour le trajet a) vers le zénith ou vers le nadir, l'affaiblissement en espace libre, FSL_a , est égal à 185,9 dB et l'absorption gazeuse minimale, γ_a , à 32,2 dB. Pour le trajet b) incliné, l'affaiblissement en espace libre, FSL_b , est égal à 190,7 dB et l'absorption gazeuse, γ_b , à 63,9 dB.

Si la puissance d'émission de la liaison est P_T , si le gain d'antenne de cette liaison pour un angle ϕ est $G(\phi)$ et si le gain d'antenne du système de télédétection par satellite est G_S , le brouillage dans chaque configuration est le suivant:

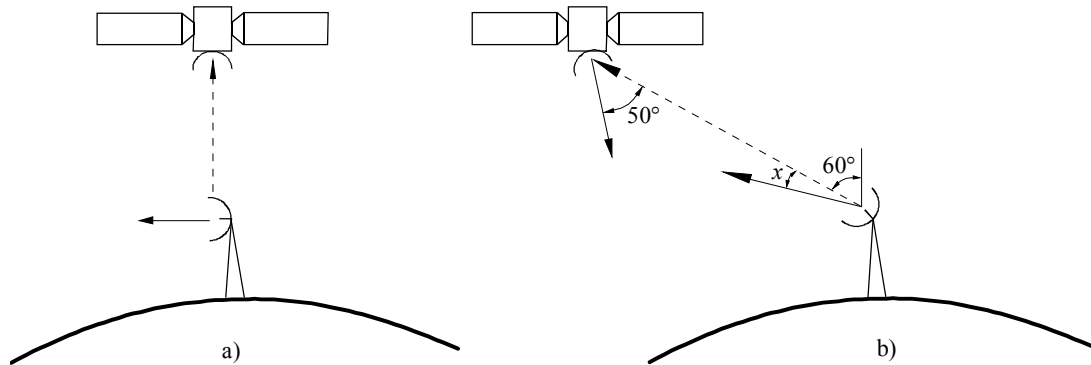
$$I_b = P_T + G(x) - FSL_b - \gamma_b + G_S \tag{2}$$

et

$$I_a = P_T + G(90) - FSL_a - \gamma_a + G_S \tag{3}$$

FIGURE 6

Trajet vers le zénith ou vers le nadir a) et trajet incliné b)



1259-06

En posant $I_a = I_b$ on obtient:

$$G(x) = G(90) - FSL_a + FSL_b - \gamma_a + \gamma_b \quad (4)$$

Pour une antenne «type» de performance élevée fonctionnant dans cette bande, on peut supposer que $G(90) = -10$ dBi. Donc:

$$G(x) = 26,5 \text{ dBi}$$

On pourra s'attendre à avoir un gain d'antenne de 26,5 dBi uniquement pour des angles situés à moins de 5° de l'axe de visée. Par conséquent, si l'angle entre l'axe de visée de l'antenne de la station de la liaison du service fixe et le faisceau dirigé vers le satellite dépasse 5° , on peut être sûr que le brouillage sur le trajet a) dépasse celui sur le trajet b).

Puisque le faisceau du système de télédétection par satellite arrive sur la Terre avec un angle d'élévation minimum de 30° , limiter l'angle d'élévation de l'antenne à 25° permettra de s'assurer que le niveau de brouillage en propagation directe ne dépassera pas celui qui est utilisé dans l'étude décrite au § 4.2.1.

5 Conclusions

Les conclusions peuvent être données bande par bande:

50,2-50,4 GHz	Le partage est impossible
54,25-55,2 GHz	Le partage est impossible
55,2-55,78 GHz	Le partage est possible si on applique les limites suivantes: p.i.r.e. maximale: $-2,9$ dB(W/MHz) p.i.r.e. maximale au zénith: $-34,7$ dB(W/MHz) ⁽¹⁾ Angle d'élévation maximal: 25°
55,78-58,2 GHz	Le partage est possible sans appliquer de limites au service fixe.

⁽¹⁾ En supposant qu'il n'est pas possible de faire fonctionner plus de 150 liaisons dans le même canal par cellule (16 km de diamètre) à cause du brouillage intraservice.

Les limites applicables à la bande 55,2-55,78 GHz permettront au service fixe de fonctionner avec des liaisons d'environ 1,5 km de longueur au maximum.

En raison de la sensibilité des détecteurs passifs au brouillage, les limites précédentes doivent être scrupuleusement respectées sur toute la surface de la Terre, ce qui soulève en pratique des questions complexes.